



**YAPI KABUKLARININ GÜNIŞİĞİ VE ENERJİ BAĞLAMINDA
ENİYİLENMESİNDE PARAMETRİK MODELLEME VE EVRİMSEL
ALGORİTMA KULLANIMI**

Feyza Nur AKSİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2019

Feyza Nur AKSİN tarafından hazırlanan “YAPI KABUKLARININ GÜNIŞİĞİ VE ENERJİ BAĞLAMINDA ENİYİLENMESİNDE PARAMETRİK MODELLEME VE EVRİMSEL ALGORİTMA KULLANIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Mimarlık Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Figen BEYHAN

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN

Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetim Ana Bilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 20/11/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans 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.

Feyza Nur AKSİN

20/11/2019

YAPI KABUKLARININ GÜNEŞİĞİ VE ENERJİ BAĞLAMINDA ENİYİLENMESİNDE PARAMETRİK MODELLEME VE EVRİMSSEL ALGORİTMA KULLANIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Feyza Nur AKSİN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2019

ÖZET

Günümüzde, enerji tüketiminin ve buna bağlı olarak sera gazı salınımlarının da hızla artması sonucunda çevreye geri dönüşü olmayan tahribatlar verilmektedir. Dünya genelinde “yapı sektörü” enerji kullanımı ve atık malzeme üretiminde üst sıralarda yer almaktadır. Bunun başlıca sebeplerinden birisi yapıların enerji verimliliğinin yeterli ölçülerde sağlanamamasıdır. Bilindiği gibi, geleneksel tasarım yöntemleri yapıların performansını değerlendirmede, eniyilenmiş tasarım çözümlerini elde etmede ve tasarım değişkenleri ile performans kriterleri arasındaki koordinasyonu kurmada yetersiz kalmaktadır. Gelişmekte olan hesaplama dayalı parametrik tasarım araçları ile birlikte eniyileme algoritmalarının kullanılması geniş bir tasarım alternatifi yelpazesi oluşturmakta ve böylece yapıların çeşitli performans verileri ölçülebilir ve eniyilenebilir hale gelebilmektedir. Bu bağlamda, bu araştırmanın amacı parametrik tasarım araçları ve literatürde en çok tercih edilen eniyileme algoritmalarından olan evrimsel algoritmalara dayalı eniyileme yöntemlerinin yapılarındaki güneşliği ve enerji performansını değerlendirmede nasıl bir araya getirilebileceğinin araştırılmasıdır. Parametrik tasarım ve evrimsel eniyileme algoritmalarının kullanımı ile birlikte yapı kabuğunun enerji ve güneşliği performansı bağlamında eniyilenebileceği hipotezi ile yürütülen araştırma “yapı kabuğu ve enerji etkinlik” ve “enerji etkin yapılar çevreler ve performatif mimarlık” konuları çerçevesinde sınırlandırılmıştır. Yapılan alan çalışmasında Ankara’da sıklıkla kullanılan bir konut tipinin yapı kabuğu simüle edilmiştir. Parametrik modellerin oluşturulmasında Rhinoceros ve Grasshopper yazılımı çeşitli eklentileri ile birlikte kullanılmış, yapılan güneşliği ve enerji simülasyonları sonucunda elde edilen performans metriklerinin iyileştirilmesine yönelik olarak bir eniyileme işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda mevcut yapı kabuğuyla, eniyilenmiş yapı kabuğu kıyaslanmış ve güneşliği performansının yaklaşık %40 iyileştiği, enerji tüketim oranının ise yaklaşık %28 oranında azaltıldığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar ışığında bu tez kapsamında denenen eniyileme çalışmasının, yapı kabuklarında güneşliği ve enerji performansını geliştirmede bir yöntem olarak kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

Bilim Kodu : 80103

Anahtar Kelimeler : Yapı kabukları, parametrik tasarım, performatif mimarlık, güneşliği ve enerji simülasyonu, evrimsel algoritmalar, eniyileme

Sayfa Adedi : 129

Danışman : Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

USING PARAMETRIC MODELLING AND EVOLUTIONARY ALGORITHM WITHIN
THE CONTEXT OF DAYLIGHT AND ENERGY OPTIMIZATION OF BUILDING
SKINS

(M. Sc. Thesis)

Feyza Nur AKSİN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2019

ABSTRACT

Today, as a result of the rapid increase in energy consumption and the increase of greenhouse gas emissions, irreversible damages are given to the environment. In the worldwide, “the building industry” is among the top of energy use and waste material production. One of the main reasons for this is that the energy efficiency of the buildings cannot be provided to an adequate level. As is known, traditional design methods fail to evaluate the performance of buildings, to obtain optimized design solutions and to ensure coordination between design variables and performance criteria. The use of optimization algorithms in conjunction with developing computational parametric design tools creates a wide range of design alternatives, making it possible to measure and optimize various performance data of buildings. In this context, the aim of this research is to investigate how parametric design tools and optimization methods based on evolutionary algorithms, one of the most preferred optimization algorithms in the literature, can be combined to evaluate daylight and energy performance in buildings. The research carried out with the hypothesis that with the use of parametric design and evolutionary optimization algorithms, building skins can be optimized in the context of energy and daylight performance is limited within the framework of “building envelope and energy efficiency” and “energy efficient built environments and performative architecture”. In the case study, the building skin of a frequently used residential type in Ankara was simulated. Rhinoceros and Grasshopper software were used together with various plugins to create parametric models and in order to improve the performance metrics obtained as a result of daylight and energy simulations, an optimization process was performed. As a result of the data obtained, the existing building skin and the optimized building skin were compared and it was observed that daylight performance improved by 40% and energy consumption rate was reduced by 28%. In the light of the obtained results, it has been demonstrated that the usability of the optimization study, which was tried within the scope of this thesis, as a method to improve daylight and energy performance for building skins.

Science Code : 80103

Key Words : Building skins, parametric design, performative architecture, daylight and energy simulation, evolutionary algorithms, optimization

Page Number : 129

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmam sürecinde, bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yanımda olan, tezime ve akademik gelişimime katkı sağlayan, bu süreçte karşıma çıkan problemlerle ilgili beni yönlendirip her koşulda destekleyen, anlayışlı ve hoşgörü tavrıyla beni her zaman cesaretlendiren çok kıymetli danışmanım Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK'a teşekkürü bir borç bilirim. Hayatımın her alanında maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen canım annem ve babam Gülten ve Mücahit SARIYILDIZ'a, ablam Zeyneb Betül TAŞKIN'a, sevgili eşim Mustafa AKSİN'e ve beni bu süreçte yalnız bırakmayan dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE	7
2.1. Yapı Kabuğu ve Enerji Etkinlik	7
2.1.1. Binalarda enerji tüketimi.....	7
2.1.2. Binalarda enerji korunumu.....	10
2.1.3. Çevresel koruyucu olarak yapı kabuğu	13
2.1.4. Güneş enerjisinin yapı kabuğu üzerine etkileri	18
2.1.4. Güneş ışığı ve enerji bağlamında performans metrikleri.....	23
2.2. Enerji Etkin Yapılı Çevreler ve Performatif Mimarlık	27
2.2.1. Hesaplamalı tasarım ve parametrisizm	27
2.2.2. Sayısal teknolojiler ve performatif mimarlık	41
3. MATERYAL VE METOT.....	61
4. ALAN ÇALIŞMASI	71
4.1. Genel Bilgiler ve İklimsel Analizler	71

	Sayfa
4.2. Mevcut Durum Analizleri	74
4.3. Enerji ve Güneşli Simülasyonuna Yönelik Olarak Gerçekleştirilen Parametrik Modelleme	75
4.3.1. Mekansal birimlerin üretimi ve zonlama	75
4.3.2. Yapı kabuğundaki cam oranlarının belirlenmesi ve gölgeleme elemanlarının oluşturulması	78
4.3.3. Duvar ve cam tiplerinin belirlenmesi	80
4.3.4. Enerji simülasyon modelinin kurulması.....	83
4.3.5. Güneşli simülasyon modelinin kurulması.....	85
4.4. Eniyileme Aşaması.....	87
5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	89
5.1. Optimum Çözüm Aralığındaki Bireylerin Karşılaştırılması.....	90
5.2. Uygunluk Fonksiyonu ve Optimum Çözüm Bireyleri ile Mevcut Durumun Kıyaslanması	95
5.3. Güneşli ve Enerji Bağlamında Ön Çıkan Optimum Bireylerin İncelenmesi	97
5.3.1. Denge bireyinin incelenmesi	97
5.3.2. Güneşli performansı bağlamında optimum bireyin incelenmesi	98
5.3.3. Enerji performansı bağlamında optimum bireyin incelenmesi	99
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	103
KAYNAKLAR	109
EKLER.....	119
EK-1. Birinci nesilde üretilen bireylerin değerleri	120
EK-2. İkinci nesilde üretilen bireylerin değerleri	121
EK-3. Üçüncü nesilde üretilen bireylerin değerleri	122
EK-4. Dördüncü nesilde üretilen bireylerin değerleri.....	123
EK-5. Beşinci nesilde üretilen bireylerin değerleri.....	124

Sayfa

EK-6. Altıncı nesilde üretilen bireylerin değerleri	125
EK-7. Yedinci nesilde üretilen bireylerin değerleri	126
EK-8. Sekizinci nesilde üretilen bireylerin değerleri	127
EK-9. Dokuzuncu nesilde üretilen bireylerin değerleri	128
ÖZGEÇMİŞ	129

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Aydınlatma kalitesi şeması	21
Çizelge 2.2. Bina enerji performansını etkileyen parametreler	45
Çizelge 2.3. Öne çıkan eniyileme araçlarının kıyaslaması	50
Çizelge 4.1. Yapı kabuğunda kullanılacak duvar tipleri ve katmanları	81
Çizelge 4.2. Yapı kabuğunda kullanılacak cam sistemleri, katmanları ve performans parametreleri	82
Çizelge 4.3. Algoritma ayarları.....	88
Çizelge 5.1. Nesillerde üretilen pareto-ön optimum çözüm bireyleri	92
Çizelge 5.2. Nesillerde üretilen pareto-ön optimum çözüm bireylerinin uygunluk değerleri ve mevcut durumla kıyaslanması.....	96
Çizelge 5.3. Denge bireyinin değer tablosu	97
Çizelge 5.4. 98,7 sDA(300/%50) değerine sahip bireylerin EUI değerleri	99
Çizelge 5.5. Enerji performansı en yüksek bireyin değer tablosu	99

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dünya genelinde enerji tüketimi.....	8
Şekil 2.2. Dünya karbon emisyonu	8
Şekil 2.3 Konut ve ticari binalarda yakıt türüne göre enerji tüketimi.....	9
Şekil 2.4. Lally'nin enerji şekil diyagramı.....	11
Şekil 2.5. Bina enerji kullanımı ve konfor şekilleri arasındaki etkileşim ve örnekleri...	12
Şekil 2.6. Yapı kabuğu gelişimi	13
Şekil 2.7. Mekanik iklim kontrolü için enerji kullanımı ve kullanıcı konforu arasındaki ilişki	16
Şekil 2.8. Enerji kullanımı ve yapı kabuğu arasındaki ilişki	16
Şekil 2.9. Yapı kabuğu tasarımı üzerinde etkisi olan parametreler	17
Şekil 2.10. Mekanda ısı konforu etkileyen faktörler	22
Şekil 2.11. Hesaplamalı tasarım döneminde üretken tasarım süreci	28
Şekil 2.12. Rhinoceros/Grasshopper yazılım indeksi	34
Şekil 2.13. Rhinoceros/Grasshopper yazılım diyagramı.....	34
Şekil 2.14. Disiplinlerarası tasarım çerçevesi	38
Şekil 2.15. Eniyileme algoritmaları	39
Şekil 2.16. Tasarım sürecindeki efor/etki eğrileri.....	40
Şekil 2.17. Simülasyon tabanlı eniyileme yöntemlerinin bina performans analizlerine uygulanması ile alakalı olarak yapılan literatür taramasında eniyileme algoritmalarının kullanılma sayıları	46
Şekil 2.18. Pareto-ön optimum çözüm seti	47
Şekil 2.19. Basit genetik algoritma	48
Şekil 2.20. Üretken evrimsel paradigma.....	48
Şekil 2.21. Deneme ve hata araştırması	51

Şekil	Sayfa
Şekil 2.22. Otomatik eniyileme	51
Şekil 3.1. OECD sınıflamasına göre ayrılan ülkelerin konut sektöründeki enerji tüketim miktarları.....	63
Şekil 3.2. Türkiye’de sektöre göre enerji tüketimi	64
Şekil 3.3. TÜİK verilerine göre hazırlanmış Ankara’da yıllara göre yeni yapılan konut sayıları.....	64
Şekil 3.4. Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi (ADNKS) sonuçlarına göre hazırlanan 2016 yılına ait Ankara ilçelerinin nüfus yoğunluğu	65
Şekil 3.5. Alan çalışmasının yapılacağı konut yapısı ve yakın çevresi	66
Şekil 3.6. Seçilen konut yapısının kat planı	67
Şekil 3.7. Alan çalışmasına yönelik hazırlanan metot şeması	68
Şekil 4.1. Grasshopper yazılımı üzerinde tanımlanan konut yapısı ve çevresi	71
Şekil 4.2. Hava durumu verilerine göre Ankara ilinin yıllık sıcaklık verileri	72
Şekil 4.3. Konut yapısına ve çevresine yönelik olarak hazırlanan sun path analizleri ...	72
Şekil 4.4. Işınım analizi için oluşturulan kodlama.....	73
Şekil 4.5. Yapı kabuğuna düşen yıllık ısıtım miktarları	73
Şekil 4.6. Güney-Batı yönünde konumlandırılan daire planı	74
Şekil 4.7. Alan çalışmasında kullanılan dairenin mevcut yapı kabuğu	74
Şekil 4.8. Alan çalışmasında kullanılan dairenin mevcut yapı kabuğuyla birlikte ortaya çıkan aylık enerji kullanım yoğunluğu	75
Şekil 4.9. Rhino programında modellenen ve Grasshopper arayüzüne tanımlanan mekansal birim zonları.....	76
Şekil 4.10. Zonlar arasındaki eş yüzeylerin tanımlanması	76
Şekil 4.11. Honeybee zonlarının oluşturulması	77
Şekil 4.12. Yapının programının seçilmesi.....	77
Şekil 4.13. Cam yüzeylerin yapı kabuğundaki oranlarının belirlenmesi	78
Şekil 4.14. Gölgeleme elemanlarının oluşturulması	79

Şekil	Sayfa
Şekil 4.15. Alan çalışmasında kullanılan dairenin yapı kabuğuna farklı cam oranı ve gölgeleme elemanlarının entegrasyonu ile oluşan yeni durumun görselleştirilmesi	80
Şekil 4.16. EnergyPlus malzeme kütüphanesinden verilerin toplanması	80
Şekil 4.17. Grasshopper arayüzünde duvarlar için oluşturulan EnergyPlus yapı nesneleri	81
Şekil 4.18. Cam sistemlerinin Grasshopper ortamına aktarılması	82
Şekil 4.19. Oluşturulan duvar ve cam tiplerinin zonların yapı elemanı olarak atanması	83
Şekil 4.20. Enerji simülasyon modeli	83
Şekil 4.21. Alan çalışmasında kullanılan dairenin çevresinin oluşturulması.....	84
Şekil 4.22. Yıllık EUI değerinin bulunması.....	85
Şekil 4.23. Güneş ışığı simülasyon modelinin kurulması	86
Şekil 4.24. sDA değerinin elde edilmesi.....	86
Şekil 4.25. Eniyileme sürecine katılacak parametreler (genler) ve performans amaçları.....	87
Şekil 5.1. Nesil 0 sonucunda elde edilen bireyler, pareto-ön bireyleri ve örnek olarak seçilen optimum birey	89
Şekil 5.2. Eniyileme ile birlikte üretilen farklı nesillere ait pareto-ön görünüşleri.....	91
Şekil 5.3. Nesillerde üretilen pareto-ön optimum çözüm bireylerinin parametre dağılımları	92
Şekil 5.4. Denge bireyinin parametreleriyle oluşan yapı kabuğu görüntüsü	97
Şekil 5.5. Denge bireyinin parametreleriyle oluşan yapı kabuğuyla birlikte ortaya çıkan aylık enerji kullanım yoğunluğu	98
Şekil 5.6. Enerji performansı bağlamında belirlenen optimum bireyin yapı kabuğu görüntüsü.....	100
Şekil 5.7. Enerji performansı bağlamında belirlenen optimum bireyin parametreleriyle oluşan yapı kabuğuyla birlikte ortaya çıkan aylık enerji kullanım yoğunluğu	100

Şekil	Sayfa
Şekil 6.1. Nesillerde üretilen pareto-ön optimum çözüm bireyleri performans metrik değerleri	105
Şekil 6.2. Nesillerde üretilen pareto-ön optimum çözüm bireylerinin uygunluk değerleri	105
Şekil 6.3. Nesillerde üretilen optimum çözüm bireylerinin performans metriklerinin mevcut durumdaki yapı kabuğunun performans metriklerine göre değişim yüzdeleri.....	106

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Luigi Moretti tarafından parametrik olarak tasarlanan stadyum	29
Resim 2.2. Zaha Hadid tarafından parametrik olarak tasarlanan Haydar Aliyev Kültür Merkezi	30
Resim 2.3. Grasshopper yazılım örneği	33
Resim 2.4. Revit parametrik modelleme örneği	35
Resim 2.5. Dynamo ile günışığı hesabı grafiği	36
Resim 2.6. Parametrik olarak tasarlanan Archsim ve DIVA günışığı modeli ve çıktıları	44
Resim 2.7. Samba Headquarters üç boyutlu kabuk tasarımı	52
Resim 2.8. Eniyileme için kullanılan parametrik cephe tasarım aracı	53
Resim 2.9. Samba Headquarters eniyilenmiş kabuk tasarımı çözümleri grafiği	53
Resim 2.10. Hanwha Headquarters binasının yeniden modellenmesi	54
Resim 2.11. Tasarım modelin oluşturulması	54
Resim 2.12. Geometriye bağlanmış veriler	55
Resim 2.13. Ana ve alt modüller	56
Resim 2.14. Birim-yapma aracı	56
Resim 2.15. Grove Towers	57
Resim 2.16. Günışığı ve enerji bağlamında Grove Towers cephe eniyilemesi	57
Resim 2.17. Sequis Tower projesi	58
Resim 2.18. Sequis Tower güneş ışınlı analizleri	58
Resim 2.19. BBVA Bancomer Operations Center	59
Resim 2.20. BBVA Bancomer Operations Center güneş odaklı yapı kabuğu eniyilemesi	59

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. Proje alanı.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

°	Derece
°C	Santigrat Derece
%	Yüzde
CO ₂	Karbondiyoksit
kWh	KiloWatt Saat
kBtu	Katrilyon Btu
lx	Lux
m	Metre
m ²	Metrekare
mm	Milimetre

Kısaltmalar

Açıklamalar

3D	Üç boyutlu
ASE	Annual Sunlight Exposure
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
cDA	Continuous Daylight Autonomy
CIE	International Commission on Illumination
DF	Daylight Factor
DA	Daylight Autonomy
DAm _{ax}	Maximum Daylight Autonomy
EUI	Energy Use Intensity

Kısaltmalar**Açıklamalar****HVAC**

Heating Ventilating and Air Conditioning

IES

Illuminating Engineering Society

LED

Light Emitting Diode

LEED

Leadership in Energy and Environmental Design

OECDOrganisation for Economic Co-operation and
Development**PV**

Photovoltaic

sDA

Spatial Daylight Autonomy

SHGC

Solar Heat Gain Coefficient

TÜİK

Türkiye İstatistik Kurumu

UDI

Useful Daylight Illuminance

US

United States

VT

Visible Transmittance

1. GİRİŞ

Tüm dünyada, enerjiye olan gereksinimin artması ve fosil yakıtların kullanımı ile oluşan çevre kirliliği nedeniyle yaşanan iklim değişikliği gibi konular, çevrenin sürdürülebilirliği ile ilgili endişeleri arttırmaktadır. Doğal kaynakların bilinçsiz tüketimi ve bu tüketime bağlı olarak ortaya çıkan sera gazı salınımları çevreye geri dönülemeyecek tahribatlar vermektedir. Yapı sektörü küresel ölçekteki toplam enerji tüketiminde büyük paya sahip sektörlerden biri olarak öne çıkmaktadır (Energy, 2017). Söz konusu sektörde primer olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır ve yapı çevrelerinin enerji tüketiminde büyük bir rol oynamasının sebebi ise bina tasarımlarındaki performans eksikliğidir.

Bütün bu sebeplerle birlikte yapı endüstrisi daha az enerji tüketmeye ve sürdürülebilir kaynaklardan maksimum fayda sağlamaya yönelik olarak alternatif tasarım arayışlarına başvurmaktadır. Binaların yaşam döngüsü boyunca tükettiği enerjiyi azaltan, çevreye ve insan sağlığına minimum zarar veren enerji etkin ve performansa dayalı tasarımlar ile bu sorunun çözümüne katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

Yapılardaki genel enerji tüketimi incelendiğine, ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinin temel belirleyici olduğu görülmektedir. Bu yükler doğrudan, iklim, kullanılan ekipman, yapı tipi, kullanıcı profili ve iç mekanla dış mekan ortamları arasında bir bariyer görevi gören yapı kabuğuyla ilişkilidir. Söz konusu faktörler içerisinde, tasarımcılar tarafından kontrolü sağlanabilecek olan kısım ise yapı kabuğunun tasarımıdır. Yapının yönlenmesi, biçimi, cephedeki açıklıkların yeri, boyutu, malzeme seçimi gibi etmenler doğrudan yapı kabuğu tasarımını şekillendirmektedir. Bu açıdan bakıldığında yapının kendisi, yapı kabuğu aracılığıyla iç ve dış mekanlardaki ortamlar arasında, ısı iletimi, geçirgenliği ve depolaması gibi sebeplerle bir enerji sistemi olarak çalışmaktadır. Enerji performansının yanı sıra, iç mekanlardaki günışığı miktarı, kalitesi, görsel konfor gibi yapıların günışığı performansı ile ilişkili parametreler de doğrudan yapı kabuğu tasarımı ile ilgilidir. Kullanıcıların psikolojik ve fizyolojik durumlarını etkileyen bu performans parametrelerinin erken tasarım aşamalarında alınacak tasarım kararları ile birlikte verimli bir şekilde sağlanması yapıların günışığı performansını artırırken, aynı zamanda elektrik kaynaklı aydınlatmaya olan bağlılığın azaltılmasını sağlayarak, enerji tüketiminin de azaltılmasını destekleyecektir.

Enerji verimliliği çeşitli teknolojik stratejiler ve büyük ölçüde erken tasarım aşamasında alınan kararlar ile birlikte sağlanabilmektedir. Enerji verimliliği ve performansı yüksek yapı tasarımı, çok disiplinli ve karmaşık bir sürece ihtiyaç duymaktadır. Buradaki esas problem, enerji ve genişliği performansını değerlendirmek, eniyilenmiş tasarım seçeneklerini üretmek ve tasarım değişkenleri ile performans metrikleri arasındaki ilişkiyi anlamak için geleneksel tasarım yöntemlerinin yetersiz kalmasıdır. Sınırlı performans değerlendirme yöntemleri yeterli verimliliği gösterememekte ve tasarımcıları sınırlandırmaktadır.

Parametrelere dayalı yazılım araçlarının ortaya çıkmasıyla parametrik tasarım, geniş bir tasarım alanı yelpazesinin yeni süreçlerinin değişimi ve gelişiminde belirleyici, etkileyici ve çığır açıcı bir konuma gelmiştir (Oxman, 2017). Güçlü parametrik araçlar, süreçsel olarak kontrol edilen bir ağ içerisinde hem geometrik modelleme hem de analiz fonksiyonları sağlamaktadır. Isı artışı, havalandırma ve güneş ışıınımı gibi performans verileri kolayca ölçülebilmekte ve diğer parametrelerle etkileşime girecek şekilde tanımlanabilmektedir (Tang, Anderson, Aksamija ve Hodge, 2012).

Geleneksel tasarım yöntemine göre parametrik tasarımın avantajı, tasarım alternatiflerini hızlı bir şekilde üretebilmesidir. Tasarım alternatiflerinin otomatik üretim ve denetimi, tasarım döngüsünü kısaltmakta ve tasarımın keşfine olanak tanımaktadır (Gerber, Lin, Pan ve Solmaz, 2012). Parametrik modeller, performansa dayalı tasarım kararlarına, oldukça etkin bir şekilde yanıt verebilmektedir.

Modelin en doğru çözümünü keşfetmenin zorluğu düşünüldüğünde, parametrik modelleme ile algoritmalara dayalı çok amaçlı eniyileme gibi hesaplama tekniklerinin entegrasyonu, daha iyi performans çözümleri için daha sistematik bir araştırmaya izin vererek daha iyi çözümler önermektedir (Turrin, von Buelow, Kilian ve Stouffs, 2011). Parametrik tasarım ve çok amaçlı eniyileme araçlarının geliştirilmesi ile birlikte erken tasarım aşamalarında performans değerlendirmesi yapılması mümkün kılınmakta ve tasarımcıları desteklemektedir.

Çok amaçlı eniyileme, yüksek performanslı yapı tasarımı için, karar verme sürecinde istenilen performans geri bildirimini sağlama, tasarım alternatiflerini ve bunların performans üzerindeki etkilerini değerlendirme ve ayrıca erken tasarım aşamasında tasarım

alternatiflerini çok amaçlı tasarıma göre birbiri arasında kıyaslamada tasarımcılara yardımcı olma gibi potansiyelleri bulunan bir yöntemdir (Lin ve Gerber, 2014).

Araştırmanın amacı

Bu araştırmanın genel amacı, tasarımcıların yapıların enerji ve güneşliği performansı geri bildirimlerini elde etme ve buna yönelik olarak erken tasarım aşamasında karar verme sürecini desteklemeye yönelik bir yöntem ve çerçeve sunmaktır.

Bu amaca ulaşabilmek için,

- Erken tasarım aşamasında, bina performansı eniyilemesine yönelik sınırlılıkların ve problemlerin araştırılması,
- Bu sınırlılıklar ve problemlere yönelik olarak performans tabanlı tasarımlar için, parametrik modelleme teknikleri ve eniyileme algoritmalarının birlikte nasıl kullanıldığının, bir başka ifade ile yüksek performanslı tasarım çözümleri üretebilmek için bu araçların nasıl bir araya getirildiğinin araştırılması,
- Hızlı bir şekilde performans değerlendirmesi geri bildirimi sağlamak ve çoklu tasarım alternatiflerini parametrik olarak yönetilebilmek için hesaplamalı tasarım araçlarının nasıl kullanıldığının araştırılması da yapılmıştır.

Araştırma sorusu ve hipotezi

Araştırmada genel olarak “Yapı kabuklarının güneşliği ve enerji bağlamında eniyilenmesi, parametrik tasarım ve algoritmalara dayalı eniyileme teknikleri kullanılarak sağlanabilir mi?” sorusunun cevabı aranmış ve bu çerçevede “parametrik tasarım ve evrimsel eniyileme algoritmalarının kullanımı ile birlikte yapı kabuklarına yönelik olarak, enerji ve güneşliği performansı bağlamında bir eniyileme süreci geliştirilebilir” hipotezi sorgulanmıştır.

Araştırmanın önemi

Bu araştırma tasarımcıların efektif olarak daha geniş bir tasarım seçenekleri alanına sahip olmasına ve daha yüksek performanslı tasarımlar için daha optimum çözümler elde edilmesine yönelik olarak bir bakış açısı sunmaktadır. Yapıların tasarımı sırasında ortaya

çıkan sorunları, çok sayıda tasarım alternatifi ile birlikte hızlıca keşfetme ve böylelikle sonuca yönelik kararları daha kısa sürede almaya yönelik bir çerçevede ilerlemektedir. Ayrıca tasarımcıları, tasarım sürecinde kullanılabilecek etkili hesaplama ve eniyilemeye dayalı yöntemlere doğru yönlendirmektedir.

Araştırmanın sınırlılıkları ve varsayımları

Yürütülen araştırma “yapı kabuğu ve enerji etkinlik” ve “enerji etkin yapılı çevreler ve performatif mimarlık” konuları çerçevesinde sınırlandırılmıştır

Günümüzde görsel programlama ara yüzü ile birlikte, parametrik ilişkiler kurarak geometrik modellemeyi ve performans tabanlı parametrik bina tasarımını destekleyen mevcut birçok araç bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında ise gerek mimarlık çevreleri tarafından tasarımda en çok tercih edilen parametrik modelleme aracı olması, gerek çeşitli yazılım ve eklentilerle birlikte güneşiği ve enerji simülasyonlarını desteklemesi ve gerekse de eniyilemede en çok kullanılan eniyileme algoritmaları olan evrimsel algoritmalara dayalı eniyileme eklentilerine sahip olması sebebiyle Rhino programı Grasshopper yazılımı ile birlikte kullanılmıştır. Ladybug ve Honeybee eklentileri simülasyon modellerini kurmak ve enerji modelini OpenStudio üzerinden EnergyPlus ile, güneşiği modelini ise Radiance ve Daysim ile simüle etmek için, Octopus eklentisi ise evrimsel algoritmalara dayalı çok amaçlı eniyileme işlemini gerçekleştirmek için kullanılmıştır.

Araştırmada, yapı sektörü içerisindeki enerji tüketim oranlarında önemli bir paya sahip olan konut yapıları ve konut yapıları içerisinde de Ankara kentinin kimliğini belirleyecek kadar yaygın olarak kullanılan “apartman” tipi konutlar, birbirine benzer plan tipine, malzeme seçimine ve yapım yöntemine sahip olduğu varsayılarak yapı kabuklarının güneşiği ve enerji bağlamında eniyilenmesine yönelik olarak incelenmiştir.

Yapılan alan çalışmasında;

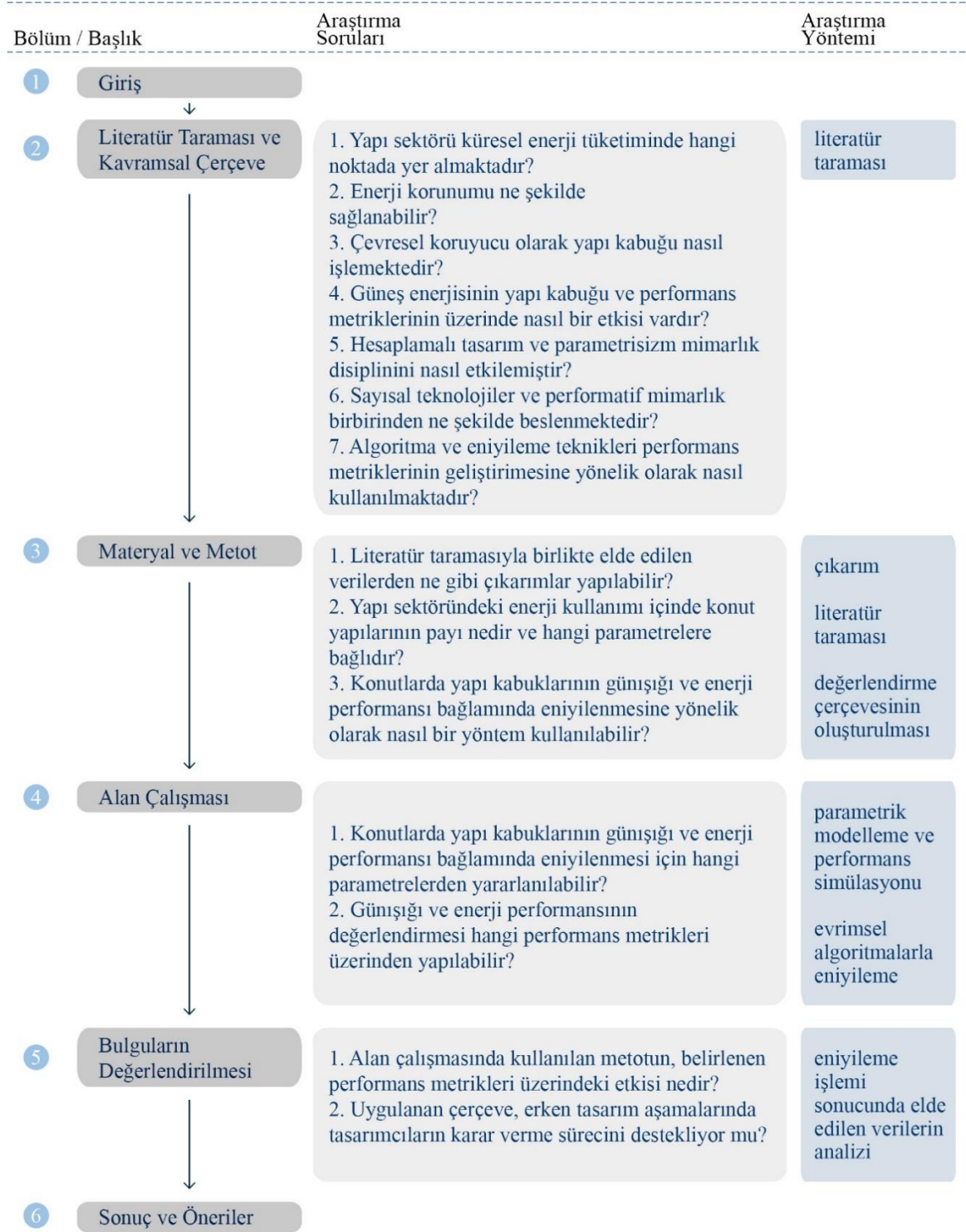
- Ankara ilinde konutlarda soğutma sistemlerinin çok yoğun olarak kullanılmadığı varsayılarak soğutma işleminin başlayacağı hava derecesi buna göre ayarlanmış,
- Metrekare başına düşen aydınlatma yoğunluğu, aydınlatmada LED kullanımı olduğu varsayılarak hesaplanmış,

- Metrekare başına düşen kişi sayısı ise seçilen dairede dört kişilik bir aile yaşadığı varsayılarak belirlenmiş ve tüm bu girdilerle birlikte analiz çalışmaları yürütülmüştür.

Araştırmanın yöntemi

Tez çalışması, genel olarak tanımlayıcı (*descriptive*) ve alan çalışması (*case study*) yöntemleri ile gerçekleştirilmiş ve toplam altı ana bölüm olarak sunulmuştur. Şekil 1.1. tez akış şemasında da gösterildiği gibi;

- Birinci bölümde; araştırmanın amacı, hipotezi, sınırlılıkları ve yöntemi açıklanmış,
- İkinci bölümde; “yapı kabuğu ve enerji etkinlik” ve “enerji etkin yapılı çevreler ve performatif mimarlık” konuları kapsamında literatür taraması yapılarak, tezin temellerinin oturtulduğu kavramsal bir çerçeve çizilmiş,
- Üçüncü bölümde, materyal ve metot detaylı olarak anlatılmış,
- Dördüncü bölümde, gerçekleştirilen alan çalışması ile veriler toplanmış,
- Beşinci bölümde, yapılan alan çalışması üzerinden elde edilen bulgular değerlendirilmiş,
- Altıncı bölümde ise, değerlendirilmeler sonucunda araştırma sorusu yanıtlanarak gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.



Şekil 1.1. Tez akış şeması

2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölüm, mimarideki güncel araştırma ve uygulama eğilimlerinden biri olan, yapıların günışığı ve enerji performansının eniyilenmesi üzerine genel bir bakış sunmaktadır. Literatür taraması, “yapı kabuğu ve enerji etkinlik” ve “enerji etkin yapılı çevreler ve performatif mimarlık” olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir.

Binalarda enerji tüketimi ve korunumu konularına değinilerek başlayan bölüm, yapı kabuğu ve enerji ilişkisinin güneş enerjisi açısından değerlendirilmesi, sayısal mimari, parametrik tasarım ve modelleme, performatif mimarlık, eniyileme metotları gibi çeşitli konular ve bunların güncel mimari tasarımlarda kullanım örnekleri incelenerek sonuçlandırılmıştır.

2.1. Yapı Kabuğu ve Enerji Etkinlik

Günümüzde, doğal kaynak ve enerji tüketiminin hızla artması ve aynı oranda zararlı gaz salınımlarının da yükselmesi sonucunda çevreye geri dönüşü olmayan tahribatlar verilmektedir. Dünya genelinde yapı sektörü enerji kullanımı ve atık malzeme üretim miktarlarında üst sıralarda yer almaktadır. Bu durumun önüne geçilebilmesi için öncelikle yapılarda enerji tüketimine neden olan parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir.

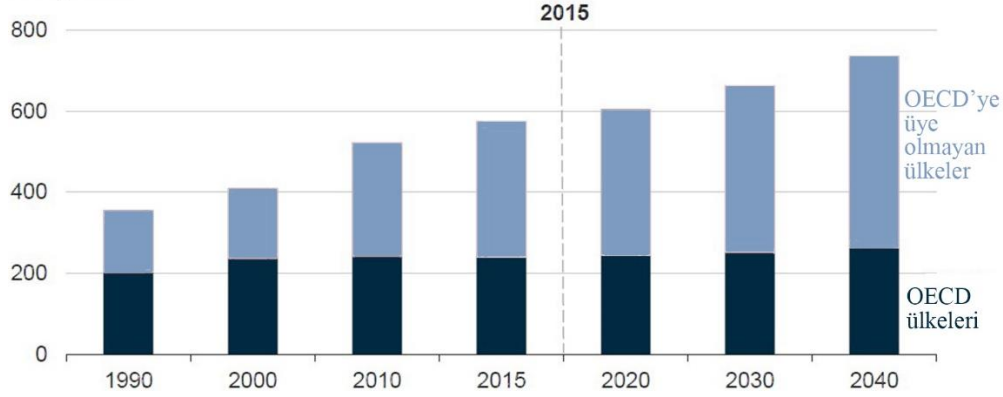
Yapı kabuğu, yapıların enerji etkinlik açısından değerlendirilmesinde, yapının en önemli bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Yapı kabuğu, yapının iç ortamını dış ortamdan ayırıp korurken, bina dinamiklerini de büyük ölçüde etkilemektedir. Bu bağlamda çalışmanın bu kısmında, yapı kabuğu ve enerji etkinlik ilişkisinin kavranabilmesi için, “binalarda enerji tüketimi, binalarda enerji korunumu, çevresel koruyucu olarak yapı kabuğu, güneş enerjisinin yapı kabuğu üzerine etkileri ve günışığı ve enerji bağlamında performans metrikleri” başlıkları ayrı ayrı olarak incelenmiştir.

2.1.1. Binalarda enerji tüketimi

Günümüzde yaklaşık olarak sekiz milyara ulaşan dünya nüfusu (www.worldpopulationreview.com), hızla artmaya devam etmekte ve su, kömür, petrol, doğalgaz gibi sınırlı doğal kaynaklara olan talep de aynı oranda artmaktadır. Zaman içinde

bu eğilim, kaynakların kademeli olarak tükenmesine yol açabilecekken, daha yoğun insan popülasyonuna sahip olacak gelecek nesiller için de yeni zorluklar ortaya çıkaracağı düşünülmektedir (Ghoreishi, 2015: 1).

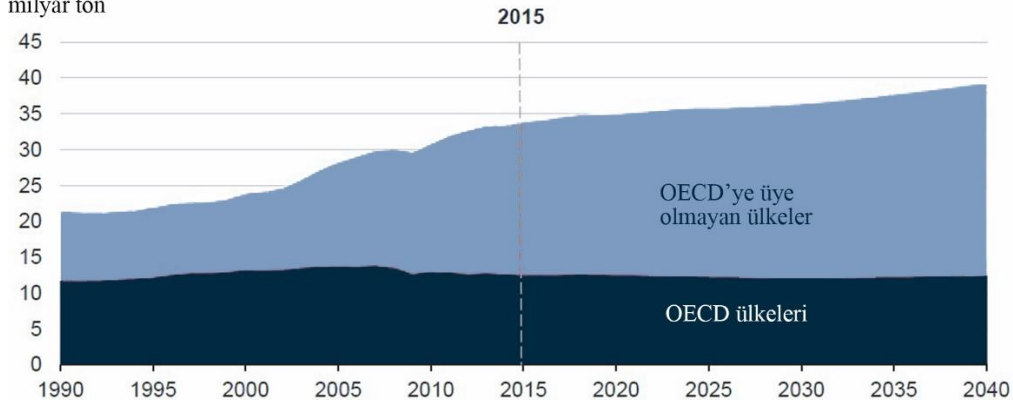
Dünya enerji tüketimi
katrilyon Btu



Şekil 2.1. Dünya genelinde enerji tüketimi (Energy, 2017)

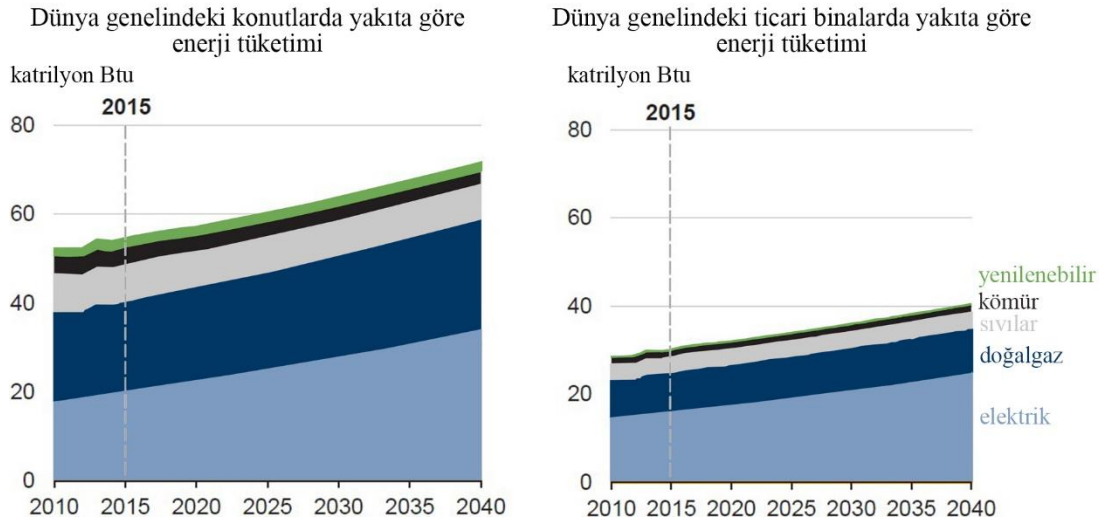
Dünya genelinde enerji tüketimi, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, yıllık olarak sürekli büyüme göstermekte ve karbondioksit başta olmak üzere, çevredeki pek çok sera gazının emisyon miktarını artırmaktadır. Şekil 2.2’de verilen grafikte görüldüğü üzere, enerji kullanımına bağlı olarak son 25 yılda hızla artan CO₂ emisyonu ise, Karizi (2015: 11-12)’nin de belirttiği gibi yoğun iklim değişikliklerine, küresel ısınmaya ve çeşitli hastalıklara neden olarak ve doğal çevreye geri dönüşü olmayan zararlar vererek, çevreyi ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Enerji ile ilişkili CO₂ emisyonu
milyar ton



Şekil 2.2. Dünya karbon emisyonu (Energy, 2017)

Günümüzde yapı sektöründeki enerji tüketimi, küresel enerji tüketiminin yaklaşık %20 ile %40'ı arasında bir oranı oluşturmaktadır. Dolayısıyla yapı sektöründe kullanılan enerjinin doğrudan küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine katkı sağladığı söylenebilir. Binalar genellikle, konut ve ticari binalarda yakıt türüne göre enerji tüketimini gösteren Şekil 2.3'te de görülebileceği gibi, kaynağı yenilenebilir olmayan yüksek miktarda enerjiyi tüketmektedir. Toplumların iç mekanlarda daha fazla zaman geçirmeye başlaması, binanın ısıtma, soğutma, aydınlatma, güç ve teçhizat gibi bina servislerine olan talebini artırmaktadır. Başta HVAC olmak üzere bu sistemlerin günlük döngü içerisinde sürekli olarak çalışması enerji tüketimine büyük ölçüde katkı sağlamaktadır (Vong, 2016: 20).



Şekil 2.3 Konut ve ticari binalarda yakıt türüne göre enerji tüketimi (Energy, 2017)

Enerji üretimi ve karbon emisyonlarının çevresel etkileriyle ilgili olarak ortaya çıkan küresel kaygılar, binaların genel enerji tüketim oranlarına olan dikkati artırmıştır. Pek çok ülkede yerel düzeyde, enerji üretimi ve tedariki için kullanılan yenilenebilir olmayan kaynakların en aza indirilip, ithal yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasıyla enerji tüketimini azaltmak mümkün görülmektedir (Rahman, 2014: 11). Ortaya konulan istatistiksel gerçekler, enerji açısından daha verimli ve kullanıcı konforunu artıran binaların tasarlanmasının önemine dikkat çekmektedir.

Enerji verimli bina tasarımları yapabilmek için, enerjinin öneminin, enerji tüketiminin hangi parametrelerden kaynaklandığının ve bunların hangi yöntemlerle engellenebileceğinin

incelemesinin de yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda öncelikle binalarda enerji korunumunun nasıl sağlanacağı tasarımıda önem kazanmaktadır.

2.1.2. Binalarda enerji korunumu

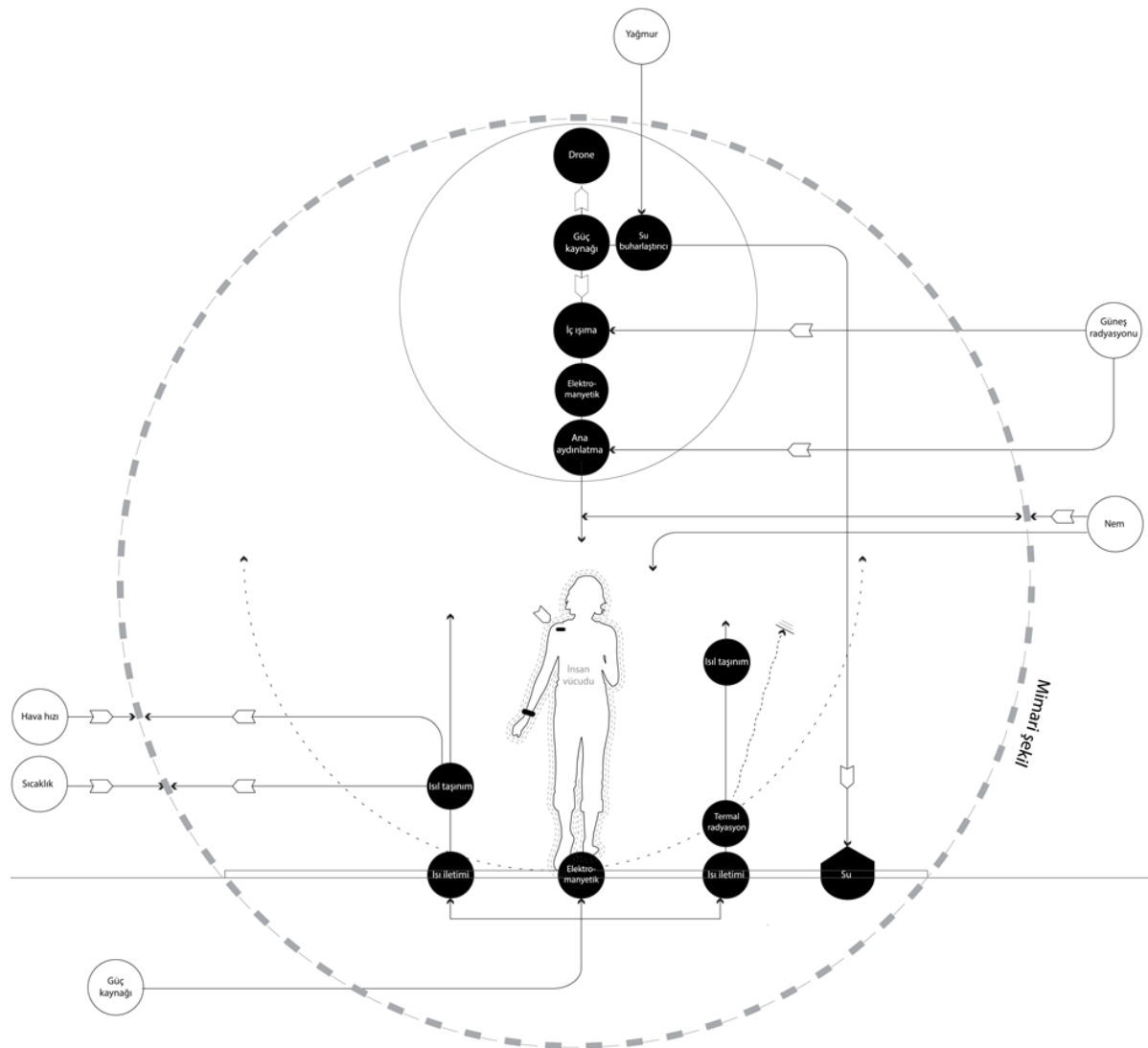
Günümüzde çevresel sorunlarla ilgili farkındalık ve duyarlılığın artmasıyla birlikte yapı sektörü de binaların doğal çevre üzerindeki yıkıcı etkilerini düşünmeye, verimli enerji kullanımı ve çevreye minimum seviyede zarar verecek tasarımlar üzerine yoğunlaşmaya başlamıştır (Rahmani Asl, 2015: 1). Yapı sektöründeki bu eğilimle birlikte, iklim değişikliğinin çevresel sonuçlarını daha kapsamlı bir şekilde irdelemek ve kaynakların etkin bir biçimde kullanabileceği tasarımlar gerçekleştirmek de mimarın sorumlulukları arasına girmiştir. Gelecekte mimarlığın hangi noktaya ulaşacağı tartışılmaya devam ederken, Sean Lally mimarlığın gelecekte, Şekil 2.4'teki enerji şekil diyagramında görselleştirildiği üzere, enerji ve mikroklimaların tasarımı olacağını ileri sürmektedir (Peters ve Peters, 2018: 9).

Enerji çalışmaları öncelikle, binalarda enerji performansına katkı sağlayan parametrelerin neler olduğunu belirlemekle başlamaktadır. Bina bileşenleri ve enerji tüketen ekipmanı düzgün bir şekilde tanımak bu noktada oldukça önemlidir. Daha sonra, bu elemanların ne kadar enerji kullandığını ve enerji korunum potansiyellerini öğrenmek gerekmektedir. Bu nedenle asıl hedef, binalardaki dönüşümsel enerji korunum potansiyelini bilmektir (Shapiro, 2016: 3).

Günümüzde çeşitli tasarım araçlarıyla, daha iyi performansa sahip binalar tasarlamak mümkündür (Peters ve Peters, 2018: 4). Karizi (2015: 12)'in aktarımına göre, yapılan araştırmalar ve çalışmalar, mevcutta var olan ve uygun maliyetli ekipman ve teknolojinin tasarıma entegre edilmesi ile birlikte, binalarda enerji kullanımının %10-%30'unun azaltılabileceğini gösterirken, disiplinler arası olarak gerçekleştirilen çeşitli araştırma fikirlerinin ve sonuçlarının binalara uygulanabilmesi durumunda bu oranın iki katına çıkacağı düşünülmektedir.

Peters (2018b: 18)'in da belirttiği gibi, bina yaşam döngüsü içerisindeki enerji kullanımında tahmini en zor ve en önemli olan enerji tüketimi, binanın kullanıma hazır hale geldiğinde kullanıcılar tarafından tüketilecek olan enerji miktarıdır. Bina işletimi, bina yaşam döngüsü içerisinde en çok enerjinin tüketildiği kısım olmakla beraber, ilk etaptaki inşa sürecinde

harcanan enerjiden kat kat fazladır. Bu noktada enerji korunumunu en üst seviyede sağlamak için, tasarımın bulunduğu bağlamın tarih, kültür ve estetik bilgisine sahip tasarımcılar, kullanıcıların binayı nasıl kullanacaklarını tahmin etmeli ve tasarım önerilerini ona göre gerçekleştirmelidirler.

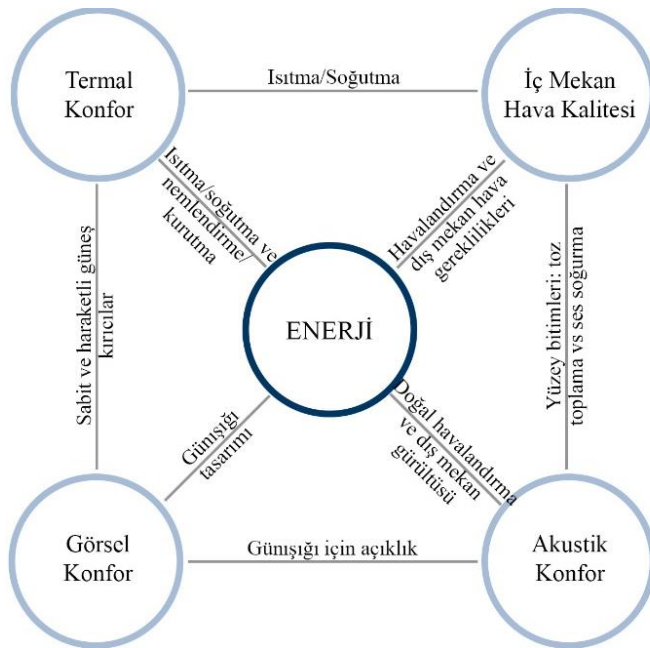


Şekil 2.4. Lally'nin enerji şekil diyagramı (Peters ve Peters, 2018: 10)

Binalarda enerji korunumunun sağlanması, küresel ölçekte ortaya konulan enerji kullanımı hedeflerine de yüksek oranda katkı sağlayacaktır. Shapiro (2016: 3), bu hedefleri çevresel hedefler, ekonomik hedefler, politik hedefler ve sağlık ve konfor hedefleri olarak dört gruba ayırmış ve şu şekilde sıralamıştır:

- a) Çevresel hedefler: karbon emisyonlarının azaltılması, fosil yakıtlara olan bağımlılığın ve yol açtığı çevresel kirliliğin azaltılması
- b) Ekonomik hedefler: enerji maliyetlerinin azaltılması, gayrimenkul değerinin artırılması ve ekonomik gelişme
- c) Politik hedefler: yerel olmayan yakıtlara bağımlılığın azaltılması, yakıtlara bağlı ortaya çıkan çatışmanın azaltılması, elektrik gücü üzerindeki yoğunluğun azaltılması
- d) Sağlık ve konfor hedefleri: kirliliğin azaltılmasına bağlı olarak insan sağlığının iyileştirilmesi, iç mekan hava kalitesinin yükseltilmesi, parlama, sıcak ve soğuk iç mekan alanları ve ışık kirliliğinin azaltılmasıyla konforun artırılması

Yapı kabuğu ise, iç mekan ortamının ve tamamlayıcı mekanik enerjiye olan talebin temel belirleyicisi (Rahman, 2014: 16) olarak binalardaki enerji korunumunun en önemli bileşenleri arasında yer almaktadır. Şekil 2.5'te de görülebileceği üzere yapı kabuğu tarafından sağlanan konfor koşullarıyla enerji arasında yoğun bir etkileşim bulunmaktadır.

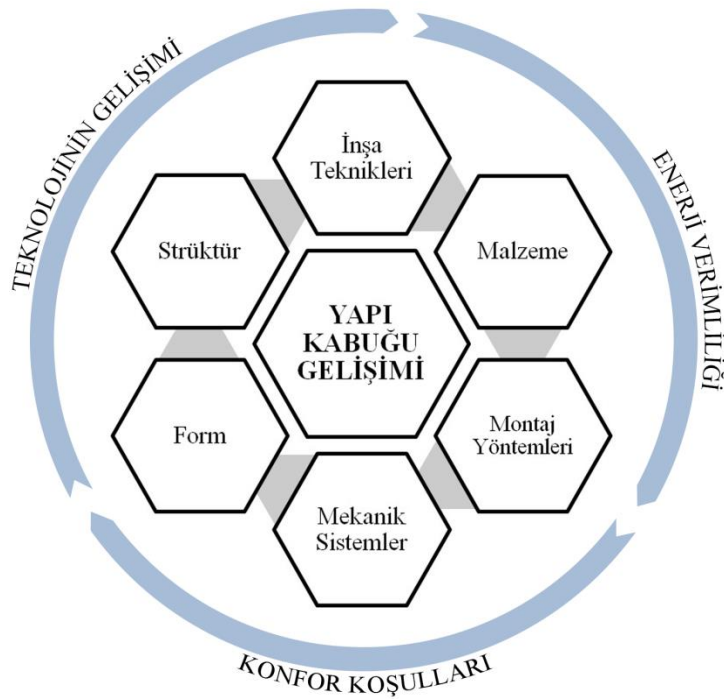


Şekil 2.5. Bina enerji kullanımı ve konfor şekilleri arasındaki etkileşim ve örnekleri (Carlucci, Pagliano, O'Brien ve Kapsis, 2015: 76)

Bu noktada, yapı kabuğunun çevresel koruyucu olarak nasıl bir görev üstlendiği bir sonraki başlıkta daha detaylı olarak incelenmiş ve enerji etkinlikle yapı kabuğu arasındaki ilişki aktarılmıştır.

2.1.3. Çevresel koruyucu olarak yapı kabuğu

Binanın yapısal, finansal ve estetiksel özelliklerini taşıyan yapı kabuğunun birincil işlevi, iç mekan ve dış mekan ortamlarını birbirinden ayırarak doğal bir bariyer görevi görmektir (Spastri, 2014: 3). Günümüzde yapı kabuğu; barınak, koruma ve strüktür hizmeti vermenin ötesine geçmiş ve iç mekan iklimsel konforunu düzenleyen bir bileşen haline dönüşerek, güneş ışıınımı, nemlilik, hava akışı gibi etmenlerin akışını kontrol etmeye başlamıştır (Erickson, 2013: 19).



Şekil 2.6. Yapı kabuğu gelişimi (Hassan, 2017: 56)

Şekil 2.6’da yapı kabuğu gelişiminin, teknoloji, enerji verimliliği ve konfor koşulları bağlamında hangi faktörlere bağlı olduğu gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, inşaat teknikleri, malzemeler, montaj yöntemleri, mekanik sistemler, form ve strüktür geçmişten günümüze yapı kabuğu gelişiminin ayrılmaz birer parçası olmuştur.

Yapı kabuğu bileşenleri

Yapı kabuğu, iç mekan ve yapının dış çevresi arasında fiziksel ayırıcı görevi görmektedir ve iki ortam arasındaki hava, su, ısı, ışık gibi etmenlerin akışını sağlamak için, çeşitli bileşenler

kullanılmaktadır (Vong, 2016: 30). Yapı kabuğunu oluşturan bu bileşenler dış duvarlar, döşemeler, pencereler, kapılar ve çatı olarak sıralanabilir (John, Clements-Croome ve Jeronimidis, 2005).

Dış duvarlar

Dış duvarlar yapı kabuğunun genellikle, yüzey alanı olarak yüksek orana sahip bileşenleridir ve duvarlardan estetikten ödün vermeden yapı içerisinde ısı ve akustik konfor sağlaması beklenmektedir. Duvarın ısı direnci (R-değeri), özellikle yüksek yapılarda, enerji tüketimini önemli ölçüde etkilediği için oldukça önemlidir. Günümüzde, enerji verimliliğini ve yapılarda konfor seviyesini artırmak için, pasif güneş duvarları, hafif beton duvarlar, havalandırmalı ya da çift cidarlı duvarlar ve gizli ısı depolu duvarlar gibi çeşitli duvar teknolojileri kullanılmaktadır (Sadineni, Madala ve Boehm, 2011).

Döşemeler

Yapı kabuklarının bir diğer bileşeni olan döşemeler, mekanların ısı korunumunda ve dolayısıyla enerji korunumunda oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Isı, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığın olduğu alanlara doğru hareket ettiğinden, özellikle bodrum katlarda zemine oturan döşemelerin ve döşeme altı boşluklarının yalıtılması gerekmektedir (Friedman, 2012: 70-71).

Pencereler ve kapılar

Pencereler ve kapılar yapılarda, ısı konfor ve ideal aydınlatma seviyelerini sağlamak için kritik bir rol oynamaktadırlar (Sadineni ve diğerleri, 2011). Yirminci yüzyılın başlarında elektriğe bağlı aydınlatmanın benimsenmesi ve yapay aydınlatma kullanımının artması, özellikle 1950 ve 1970 yılları arasında yapı kabuklarında pencere alanlarının azalmasına katkıda bulunmuş, ancak 1980'lere gelindiğinde, ısı transferini azaltmak ve güneş ışınımı iletiminin eniyilemesini sağlamak için, hava geçirmez çift camlı pencerelerin ya da özel kaplamalarla desteklenmiş yalıtımlı pencerelerin kullanımı, gerek konut gerekse de ticari binalarda pencerelerin, cephe alanının %60'ına kadar olan kısmını kaplamasına neden olmuştur. 1980'lerden günümüze kadar gelen süreçte ise, cephenin yaklaşık %90'ına kadar

olan kısmının pencere alanı olarak kullanıldığı tasarımlar, ısıtma ve soğutmaya bağlı enerji tüketimini yüksek oranda artırmıştır (Athienitis ve O'Brien, 2015: 1).

Warner (1995)'ın aktarımına göre pencereler aracılığıyla gerçekleşen üç tip ana enerji akışı bulunmaktadır. Bunlar;

1. Güneş ışığı kaynaklı olmayan, iletim, konveksiyon ve ışıının sebep olduğu ısı kayıpları ve kazanımları,
2. Güneş ışığından ışıının şeklinde ısı kazanımı,
3. Tasarlanmış (havalandırma) ve tasarlanmamış (sızma) hava akışıdır.

Bu enerji akışı içerisinde enerji korunumunu sağlamak için, yapı kabuklarında pencere ve kapı kullanımı enerji verimliliğini en üst seviyeye çıkaracak şekilde tasarlanmalıdır.

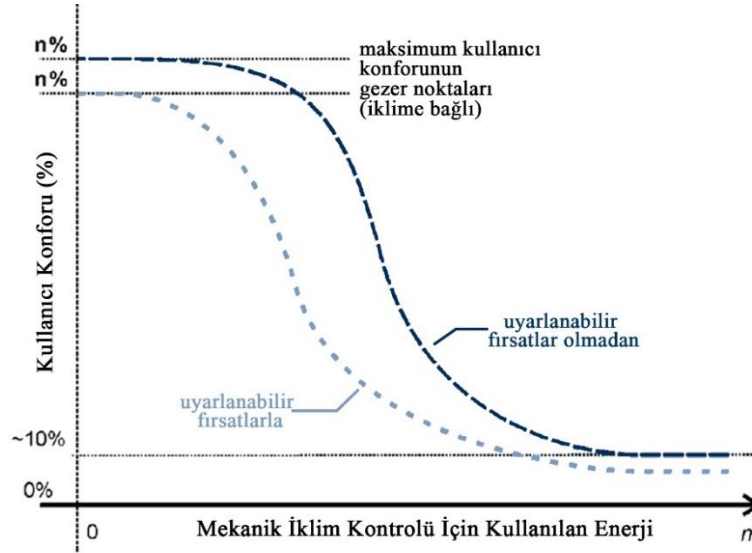
Çatı

Çatılar da güneş ışıını ve diğer çevresel değişikliklere karşı duyarlı olması ve buna bağlı olarak, iç mekan koşullarını ve kullanıcı konforunu direk etkilemesinden dolayı yapı kabuklarının oldukça önemli bir parçasıdır. Çatılar, özellikle geniş çatı alanına sahip yapılarda, büyük miktarda ısı kaybı ve kazancı oluşturmaktadır. Bu sebeple, çatı tasarımı için iklim şartlarının doğru bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Çatıların yapılarda enerji verimliliğine katkı sağlaması için havalandırmalı ve mikro havalandırmalı çatılar, güneş yansıtıcı/soğuk çatılar, yeşil çatılar, fotovoltaiik çatılar, ısı çatı yalıtım sistemleri gibi çeşitli çatı sistemleri yoğun olarak kullanılmaktadır (Sadineni ve diğerleri, 2011).

Enerji etkin yapı kabuğu

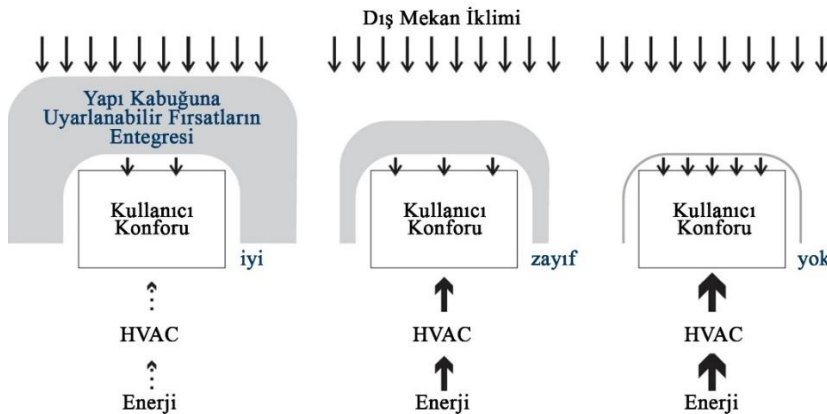
Mekanik ve yapay sistemler, dışarıdaki yoğun hava koşullarına rağmen iç mekanda konforlu ortamlar oluşturabilmekte ve buna bağlı olarak bina, dış biyoklimatik akışlardan bağımsız olarak idealleştirilmiş konfor ortamına ulaşabilmektedir. Ancak bununla birlikte, iç mekanları giderek doğal ortamdan uzaklaştıran ve yapay bir hale sokmaya başlayan ve yüksek oranda enerji tüketimine sebebiyet veren mekanik sistemler ve yapı kabuğu, kullanıcılar üzerinde fizyolojik ve psikolojik problemler de dahil olmak üzere birçok

istenmeyen etkiye katkıda bulunmaktadır (Krietemeyer, 2013: 21-23). Şekil 2.7’de mekanik iklim kontrolü için enerji kullanımı ve kullanıcı konforu arasındaki ilişki gösterilirken, mekanik iklim kontrolünün arttığı oranda kullanıcı konforunun azalmasına vurgu yapılmaktadır.



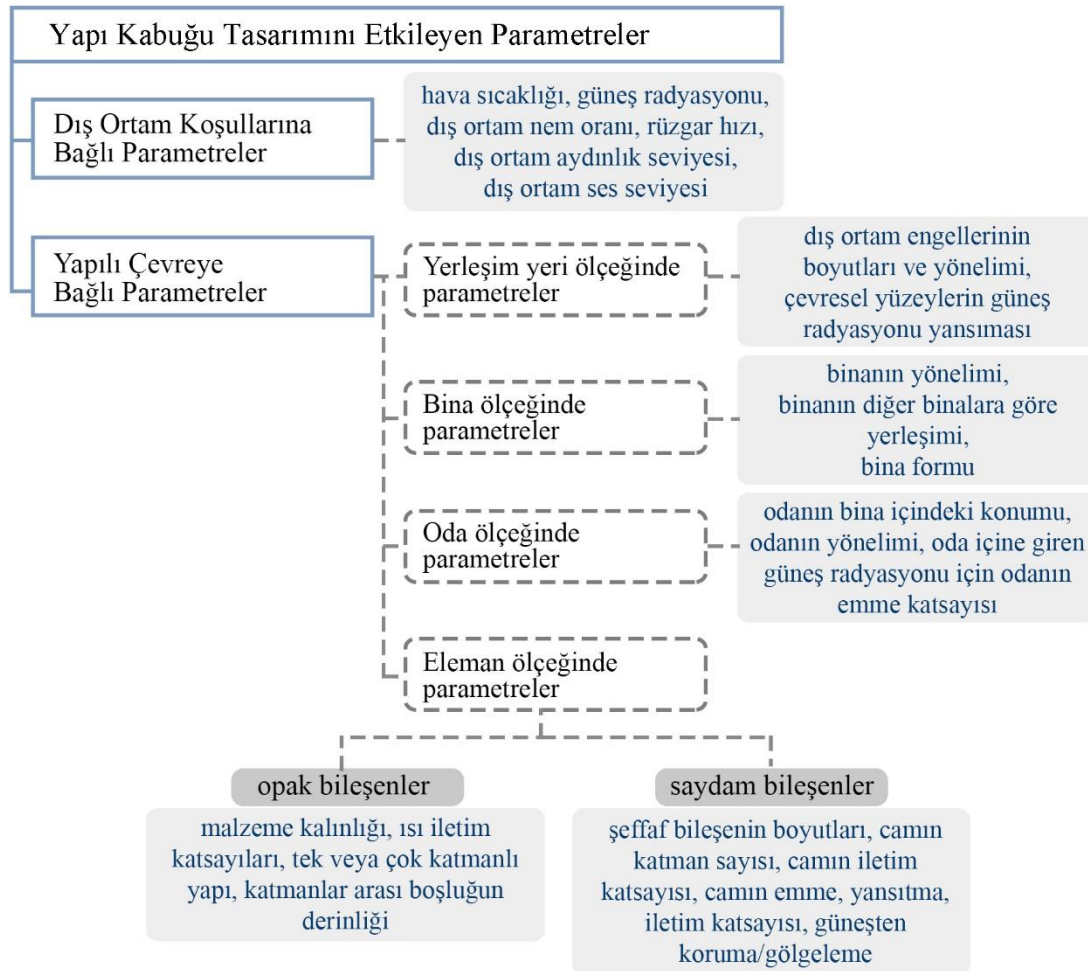
Şekil 2.7. Mekanik iklim kontrolü için enerji kullanımı ve kullanıcı konforu arasındaki ilişki (Erickson, 2013: 6)

İç mekan ortam kalitesi ve konforu, kullanıcıların memnuniyeti, verimliliği ve sağlıklarıyla doğrudan ilişkilidir. Yüksek performanslı binalar önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlarken, kullanıcı konforunu da eş zamanlı olarak artırmaktadır (Chan, 2015). Enerji kullanımı ve yapı kabuğu arasındaki ilişkinin gösterildiği Şekil 2.8’de, geliştirilmiş yapı kabuğu tasarımıyla beraber, HVAC sistemlerine olan bağımlılığın azaldığı ve buna bağlı olarak kullanıcı konforunun arttığı görülmektedir.



Şekil 2.8. Enerji kullanımı ve yapı kabuğu arasındaki ilişki (Erickson, 2013: 6)

Yapı kabuğu, binanın bütüncül enerji performansının sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bina enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını azaltmak için, uygun tasarım stratejileri ile yapı kabuğu performansını geliştirmek oldukça önemlidir. Bununla beraber, binalar için en uygun yapı kabuğu tasarımını bulmak çok da kolay değildir. Bütün binalar, bağlamı ve yerel iklimiyle birlikte özelleşmektedir. Pencere, cam tipi, gölgeleme şekli, yalıtım gibi kabuk tasarım parametrelerinin yerel iklimle uyumlu olabilmesi için, uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir (Shan, 2016: 1). Şekil 2.9’da verilen yapı kabuğu tasarımını etkileyen parametrelerde de görüldüğü gibi dış ortam koşullarına bağlı parametreler kadar yapıyı çevreye bağlı olan parametreler de yapı kabuğunun yerel iklimle uyumlu olması için tasarımda büyük bir öneme sahiptir.



Şekil 2.9. Yapı kabuğu tasarımı üzerinde etkisi olan parametreler (Oral, Yener ve Bayazit, 2004)

Etkin bir şekilde enerji tasarrufu sağlayan bir kabuk tasarımı için, iç mekan ve dış ortam iklim koşullarının mutlaka bilinmesi gerekmektedir. Gelecek bina tasarımları için enerji

verimliliğini bir güç olarak kullanmada yapı kabuğu, binanın bütün enerji kullanım yükünü azaltmak için ilk sırada yer alan savunma sistemidir ve kullanıcı konforunu en üst seviyeye çıkaran ısı konfor, aydınlatma, hava kalitesi, akustik gibi etmenlerin de temel belirleyicisidir (Erickson, 2013: 19).

Bu bağlamda bir sonraki kısımda, dış ortam koşullarını oluşturan ve iç mekandaki kullanıcı konforunu belirlemede en önemli parametrelerden biri olan güneşin yapı kabuğu ile olan etkileşimi üzerine odaklanılmaktadır.

2.1.4. Güneş enerjisinin yapı kabuğu üzerine etkileri

Enerji verimliliğini ve insan konforunu geliştirmek için kriterler belirlerken, biyoklimatik özelliklerle birlikte ilerlemenin önemini kavramak oldukça kritiktir. Güneş insanlığın varoluşundan günümüze kadar her çağda, en verimli yenilenebilir ve tükenmeyen enerji kaynağı olarak öne çıkmıştır (Walker, 2013: 1). Isıtma, soğutma ve aydınlatma gibi binalarda enerji tüketimine en büyük katkıyı veren yükler de aslında doğrudan güneş enerjisi ile ilintilidir. Güneş enerjisinin yapı kabuğu üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi için güneşten kazanım, güneşten korunum ve günışığı performansı başlıkları ön plana çıkmaktadır.

Güneşten kazanım

Son 30 yılda, yapay aydınlatmayla birlikte ortaya çıkan enerji kullanımını azaltmak için yapı kabuğundaki düzenlemelerle birlikte, doğal günışığının kullanımının artırılması da dahil olmak üzere, çeşitli tedbirler dikkate alınmaya başlanmıştır. Doğal ışık kullanımı, sürdürülebilir çözümlere yardımcı olurken aynı zamanda enerji maliyetlerini de azaltmaktadır (Mohsenin, 2015: 1). Binalarda günışığı kullanımının artması, elektrik aydınlatmasının kullanımının azaltılmasını sağlarken, insan sağlığı üzerinde de oldukça olumlu etkilere sahiptir (Krietemeyer, 2013: 36).

Edwards ve Torcellini (2002)'nin aktarımına göre, günışığının farklı işlevlere sahip binalarda kullanımının etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda birçok fayda ön plana çıkmaktadır. Örneğin, hastanelerde günışığı kullanımı hastaların ve çalışanların fizyolojik ve psikolojik durumlarını olumlu şekilde etkilerken, ofis binalarında kullanımı verimliliği ve maliyet

tasarruflarını desteklemekte ve okullarda kullanımı ise sağlık koşullarını, öğrenci devamlılığını ve akademik performansı geliştirmektedir.

Güneşten korunum

Tasarımcılar tarafından, binada doğal ışık kullanmak için tasarlanan geniş alana sahip camlar, eğer düzgün bir şekilde kontrol edilemezse, genellikle binaya aşırı ısınma ve buna bağlı olarak da soğutma yükünün artırımını beraberinde getirmektedir (Mohsenin, 2015: 1). Krietemeyer (2013: 39-40)'in de belirttiği gibi günışığı kullanımının bina enerji kullanımı ve insan sağlığı üzerinde birçok olumlu etkisi olmasına rağmen, iç mekanda ideal ortam oluşturmak ve ısı konforu sürdürülebilmek için bunun da dengelenmesi gerekmektedir. Günışığı kaynaklı ısı kazanımını kontrol etmek için, tasarımda günışığı performansı parametreleri arasındaki dengeler düzgün bir şekilde sağlanmalı ve tasarımın kurgusu bu şekilde geliştirilmelidir.

Günışığı performansı

Günışığının mimari tasarımın ayrılmaz bir parçası olduğu ve kullanıcıların sağlığı ve konforu üzerindeki önemi, geçmişten günümüze teori ve pratik bağlamında mimarlık disiplinde deneyimlenmiştir. Günışığını binalarda kullanma fikri yeni olmamakla birlikte, modern öncesi ve erken modern zamanlarda inşa edilen çoğu binada elektriğe ulaşımın yetersiz kalmasına bağlı olarak, iç mekan aydınlatması için oldukça yoğun bir şekilde kullanılmıştır (Gagne, 2011: 25). Ancak günışığının enerji tasarrufu ve sürdürülebilirlik stratejisi olarak binalarda kullanılması, son 20-30 yıldır yeni bir kavram olarak ortaya çıkmaktadır (Yang ve Nam, 2010).

Günışığı, iç mekan kalitesinin artırılması için mimarlar tarafından kullanılabilecek doğal bir tasarım kaynağı olup, kullanıcı ile mekan arasında bir bağlantı oluşturmaktadır. Tasarımda günışığının doğru şekilde kullanılması, El Sheikh (2011: 54-55)'in de değindiği gibi, yapı kabuğunda yer alan açıklıkları artırmakla alakalı değil, parlama, ısı kazanımı, ışık seviyesi gibi etmenlerin doğru bir şekilde harmanlanması ile ilgilidir. Lam (1985: 4), iç ortam iklimsel konforunu düzenlemek, tasarımın işlevsel ve programatik ihtiyaçlarına cevap vermek, ortaya çıkan enerji ve yapım maliyeti seviyelerini en aza indirmek gibi temel

tasarım amaçlarının, g n ş ğ  performansını ayarlama da belirleyici olması gerektiğini belirtmiştir.

Yapı sektöründe genel olarak mimarlar ve mühendisler, binalarda kullanılan g n ş ğ  tasarımı ve performansının uygulanabilirliğini denetlemek için çeşitli simülasyonlar ve onlara bağlı olarak ortaya çıkan çeşitli analizler kullanmaktadır. Chan (2015: 19-20), kullanılan bu g n ş ğ  simülasyon analizlerinin amaçlarından bazılarını; ısıtma, soğutma ve aydınlatmanın kontrolüyle kazanılacak enerji tasarrufu potansiyelini anlamak, kullanıcılar için görsel ve ısı konfor koşullarını değerlendirmek ve gelişmiş cephe kontrol sistemleri tasarlayabilmek için simülasyon sonuçlarını kullanmak olarak sıralamıştır.

Binalardaki g n ş ğ na bağlı performansın detaylı olarak incelenebilmesi için g n ş ğ  miktarı, g n ş ğ  kalitesi ve görsel konfor, ısı konfor, g n ş ğ na bağlı enerji verimliliği gibi çeşitli başlıklar ayrı ayrı değerlendirmelidir.

G n ş ğ  miktarı

Başarılı bir g n ş ğ  performansının sağlanmasıdaki ilk hedef, tasarımın işlevsel özelliklerine göre yeterli miktarda doğal ışık sağlamaktır (Ghobad, 2013: 15). İdeal g n ş ğ  miktarını sağlamak ve iç mekan konforunu artırmak için, pencereler, saçaklar ve gölgeleme elemanları gibi uygun g n ş ğ  sistem ve stratejilerini tasarlamak, oldukça önemli bir rol oynamaktadır (Karizi, 2015: 2).

G n ş ğ  kalitesi ve görsel konfor

Görsel konfor; aydınlık seviyesi, parlaklık dağılımı, parlama, ışık rengi gibi parametrelerle birlikte tanımlanırken (Woldekidan, 2015: 14), g n ş ğ nca belirlenen kalite kavramı, g n ş ğ nın tasarlanan mekanda dağılımı ve aynı zamanda, kullanıcıların mekana dair oluşan genel algısını ve mekanla ilgili memnuniyetini belirleyen etmenlerden biri olan yüzeylerin parlaklığı ile de yakından ilişkilidir. Yüzeylerin yansıtma özelliği ile ortaya çıkan yüzey parlaklığı aydınlatmanın bir ürünüdür (Ghobad, 2013: 16).

Kullanıcıların mekanla ilgili genel algısını ve memnuniyetini belirleyen bir diğer kavram parlamadır. Parlama, bir mekanda görsel rahatsızlık oluşturan, kullanıcılara bağlı olarak da

değişen bir insan algısıdır. Ghobad (2013: 16)’ın aktarımına göre Baker ve Steemers (2002), parlamayı, “görüş alanı içindeki ışığın gözlerin odaklandığı parlaklıktan daha parlak olma durumu” olarak tanımlamıştır. İç mekanlardaki yüksek günışığı seviyeleri görsel alanda aşırı parlama yapabileceği ya da yüksek parlaklık aralığı oluşturabileceği için her zaman ideal görsel koşullarına uymayabilmektedir (Krietemeyer, 2013: 39-40). Reinhart ve Wienold (2011) parlama kavramını, parlamanın büyüklüğüne göre ‘görmeyi engelleyici parlama’ ve ‘rahatsız edici parlama’ olarak iki kategoride tanımlamaktadır. Görmeyi engelleyen parlama, bir kişinin ışık fazlalığına bağlı olarak görüşünü tamamen engelleyen parlama türüken, rahatsız edici parlama ise var olan parlama nedeniyle oluşan yorucu göz kamaşması durumudur. Rahatsız edici parlamanın tanımını yapmak, kişinin iç mekandaki genel memnuniyetine ve öznel fikirlerine bağlı olduğu için, daha zordur (Reinhart ve Wienold, 2011).

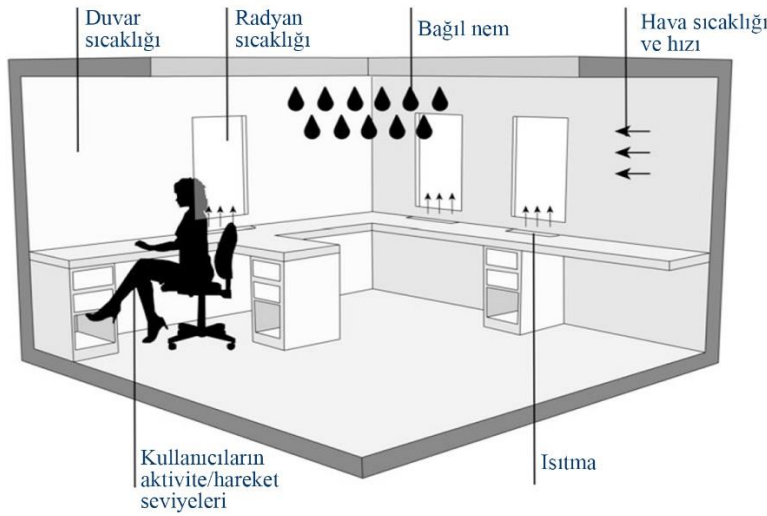
Krietemeyer (2013: 41), bina kullanıcılarına kaliteli günışığını yeterli miktarda sağlamak için, yapı kabuğunun mutlaka dış alan görüşünü engellemeden, parlama ve aşırı parlaklığı azaltacak şekilde tasarlanması gerektiğini belirtmiştir. Veitch (2001)’e göre Çizelge 2.1.’de gösterilen parametrelerin dengesiyle belirlenen aydınlatma kalitesi, El Sheikh (2011: 58)’in de belirttiği gibi, görme eylemini ve iş verimini desteklemesi, kullanıcılar arasındaki iletişimi ve etkileşimi artırması, sağlık koşullarını üst seviyeye taşınması ve mekanın tasarımsal ve estetiksel duruşunu oluşturması gibi etmenlerle yakından ilişkilidir.

Çizelge 2.1. Aydınlatma kalitesi şeması (Veitch, 2001)



Isıl konfor

Günüşiği performansının temelini oluşturan bir diğer parametre de ısı konfordur. 1966'da Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE) ısı konforu ilk defa, "ısı konfor, ısı çevreyle ilgili ısı memnuniyeti ifade eden akıl koşuludur" olarak tanımlamıştır. Isıl konfor, kullanıcıların hem sağlığı hem de verimliliği için oldukça önemlidir. Konfor bölgesi; hava sıcaklığı, nem oranı ve hava akışının belirli koşullarda olduğu bir aralığı ifade etmektedir. Bu koşullar ise; vücut içi sıcaklık ve cilt sıcaklığının birbirlerini nötrleyici etki oluşturması ve metabolizma tarafından üretilen ve tüketilen ısıнын birbirine eşit olup ısı dengesinin yerine getirilmesidir (Rahman, 2014: 21). Mekandaki ısı konfor, şekil 2.10'da da görülebileceği gibi, hava sıcaklığı, ortalama ısıma sıcaklığı, hava akışı, havadaki su buharı miktarı gibi çevresel ve cilt sıcaklığı, ter oranı, cilt ıslaklığı gibi fizyolojik ve aynı zamanda da psikolojik etmenlere bağlıdır (Ghobad, 2013: 18).



Şekil 2.10. Mekanda ısı konforu etkileyen faktörler (Friedman, 2012: 159)

Çoğu araştırmacı, ısı konforun binalardaki kullanıcı üretkenliği ve memnuniyeti üzerinde önemli bir etkisi olduğu konusunda anlaşılmaktadır. Isıl konfor için varolan ısıtma, havalandırma ve klima sistemlerinin büyük bir çoğunluğu tek bir sıcaklık kontrolü döngüsüne ya da bazı durumlarda, bir sıcaklığa ve ona bağlı nem kontrolü döngüsüne dayanmaktadır. Ancak, ısı konfor, görüldüğünden daha kompleks bir kavramdır ve kullanıcıların ısı memnuniyetini sağlamak için daha fazla parametreye ihtiyaç duymaktadır (Woldekidan, 2015: 13).

Binaların harcadığı enerjinin büyük kısmının konfor gereksinimlerini karşılamak için ortaya çıktığı düşünüldüğünde, ısıl konfor performansının direk olarak enerji verimliliğiyle bağlantısı görülmektedir. Binaların ısı değişimi, ısı kaybı ve ısı kazancı, bina koşullarına göre değişebilmektedir. Ancak genel olarak ısı kayıpları ve kazanımları, tek katlı binalarda, %45 oranında dış duvarlara ve pencerelere, %42 oranında çatı ve taban döşemesine ve %13 oranında hava sızıntısına dayanırken; çok katlı binalarda ise, %70 oranında dış duvarlara ve pencerelere, %13 oranında çatı ve bodrum döşemelerine ve %17 oranında ise hava sızıntısına dayanmaktadır (Al-Din, Iranfare ve Surchi, 2017).

Güneş ışığına bağlı enerji verimliliği

Mimaride yüksek performanslı güneş ışığı kullanımı, enerji tasarrufu ve aydınlatmanın elektriksel yükünün azaltılması, ısı çıkışının ve girişinin azaltılması dolayısıyla soğutma ve ısıtma yüklerinin de azaltılması, güneş ışığının pasif güneş tasarımı ile entegrasyonu gibi mekanizmalar aracılığıyla çevre ile bağlantılı birçok yarar sağlamaktadır (Grady, 2012: 1-2). Güneş ışığı tasarımındaki temel amaç elektrik kaynaklı aydınlatmayı, ısıtma ve soğutma yüklerini artırmadan, güneş ışığı aydınlatmasıyla değiştirebilmektir (Ghobad, 2013: 18). Yapay bir aydınlatma sisteminin, binalardaki toplam enerji tüketiminin yaklaşık %25-%40'lık arası bir dilimini oluşturduğu düşünüldüğünde, güneş ışığının enerji verimliliğini desteklemede ne kadar önemli bir rolü olduğu ortaya çıkmaktadır (Wong, 2017). Bodart ve De Herde (2002), Ihm, Nemri ve Krarti (2009), Kolokotroni, Robinson-Gayle, Tanno ve Cripps (2004), Li ve Lam (2003) gibi araştırmacıların yaptığı çeşitli çalışmalar, binanın birincil enerji tüketiminin, güneş ışığı ve aydınlatma performansının tasarımıyla düzgün ve yeterli miktarda kurgulanmasıyla birlikte azaltılacağını ortaya koymuştur.

2.1.5. Güneş ışığı ve enerji bağlamında performans metrikleri

Çeşitli performans metrikleri, iç mekanlardaki çalışma düzlemindeki ışık miktarını değerlendirmek için araştırmacılar tarafından tanımlanmıştır. Bunların en yaygın olanları kısa başlıklar halinde açıklanmıştır.

Aydınlık

Aydınlık (*illuminance*) bir yüzeyin birim alanındaki ışık miktarını ölçen performans metriğidir ve “lux” ile ifade edilir. Aydınlık, iç mekandaki parlaklık seviyesini değerlendirmek için en sık kullanılan ölçümdür. Farklı mekanlar için tavsiye edilen aydınlatma seviyeleri Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu (*IES- Illuminating Engineering Society*) tarafından belirlenmektedir (Fang, 2017). Tavsiye edilen veya öngörülen aydınlık değerleri, görsel göreve, kullanıcıların yaşına, sosyo-kültürel ve ekonomi gibi çeşitli faktöre bağlıdır.

Günişliği faktörü

Günişliği faktörü (*daylight factor*), CIE (*International Commission on Illumination*) tarafından belirlenen bulutlu gökyüzü koşulları altında, iç mekan aydınlatmasının dış mekan aydınlatmasına olan oranını ölçmektedir. Günişliği faktörünün ölçülmesi ve hesaplaması kolaydır, konsepti ise sezgiseldir. Bu nedenle bir binanın günişliği durumunu değerlendirmek için kullanılan ölçümlerin başında gelmektedir. Ancak DF binanın konumuna veya yönüne göre değişmeyen sabit bir gökyüzü koşulunda değerlendirildiğinden, statik bir gün ışığı ölçümü olarak kabul edilmektedir ve birçok günişliği tasarım problemi DF tarafından saptanamamaktadır (Reinhart, Mardaljevic ve Rogers, 2006).

Günişliği otonomisi

Günişliği otonomisi (*daylight autonomy*), mekanda günişliği tarafından sağlanan aydınlığın, minimum seviyede gerekli olan aydınlık seviyesinin üzerinde olduğu yıl içindeki saatlerin sayısının, bir yıl içerisindeki mekanın kullanıldığı toplam saat sayısına oranıdır (Reinhart ve Walkenhorst, 2001). DA dinamik bir günişliği aydınlatma ölçütüdür. Dinamik günişliği performansı ölçümlerinin statik ölçümlere göre var olan avantajlarından ilki, günişliğinin düzensiz meteorolojik olaylarla birlikte günlük değişimlerinin özellikleri ve miktarını değerlendirmesidir (Reinhart ve diğerleri, 2006).

Sürekli günışığı otonomisi

Sürekli günışığı otonomisi (*continuous daylight autonomy*), günışığı otonomisi ile benzerlik göstermektedir, ancak aydınlatmanın gerekli minimum seviyenin altında olduğu zamanlara da kısmi kredi sağlamaktadır (Rogers, 2006: 7). Örneğin; bir alanın minimum aydınlatma gereksinimi 300 lux iken belirli zamanlarda bu değer 150 lux'e düştüğünde, DA bu değere 0 kredi verirken, cDA bu değere 0,5 kredi vermektedir. Buradaki amaç, aradaki keskin geçişin, bir uyumluluk haline dönüştürülmesidir (Fang, 2017).

Maksimum günışığı otonomisi

DAm_{ax} (maksimum günışığı otonomisi) hedeflenen alandaki parlama koşullarının gerçekleştiği kullanım saatlerinin yüzdesini ölçen dinamik bir günışığı metriğidir. Parlama eşiği genellikle tasarım aydınlığının 10 katı olarak ayarlanmıştır (Reinhart ve diğerleri, 2006).

Mekansal günışığı otonomisi

Günışığı performansının hem mekansal hem de zamansal özelliklerini dikkate almaktadır. Mekansal günışığı otonomisi (*spatial daylight autonomy*), bir yıldaki belirli bir saat dilimi için minimum günışığını karşılayan alanın yüzdesidir (Heschong ve diğerleri, 2012).

Yani çalışma saatlerinin (örneğin 08:00-18:00) belirli bir bölümü için minimum yatay günışığı aydınlık seviyesini karşılayan, bir analiz alanının (zemin ya da çalışma düzlemi) yüzdesidir. Bu performans metriğine aydınlık seviyesi (örneğin 300 lux) ve yıllık zaman oranı (örneğin %50) alt indis olarak dahil edilmiştir. Bu örnek dahilinde sDA 300/%50 olarak ifade edilir (Shan, 2016).

Yeşil binaların değerlendirilmesine yönelik olarak geliştirilen farklı sertifika sistemlerinin en çok uygulananlarından birisi olan LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) kapsamında, LEED US sertifika sisteminin ortaya koyduğu temel günışığı sağlama kriterleri içerisinde, sDA günışığı performans metriği sDA 300/%50 olarak önerilmektedir (Verso, Fregonara, Caffaro, Morisano ve Peiretti, 2014).

Yararlı günışığı aydınlığı

Yararlı günışığı aydınlığı (*useful daylight illuminance*), yıl içindeki günışığı tarafınca sağlanan aydınlığın yararlı olduğu bir aralığa sahip saat sayısının bir yıl içerisindeki mekanın kullanıldığı toplam saat sayısına oranıdır (Nabil ve Mardaljevic, 2005).

UDI günışığı seviyesinin ne çok karanlık ne de çok parlak olduğu bir seviyeyi belirlemeyi amaçlamaktadır. UDI genellikle üç seviyede değerlendirilmektedir. Bunlar;

- Çok karanlık olarak kabul edilen $UDI < 100$ lux,
- Yararlı olarak kabul edilen $100 < UDI < 2000$ lux ve
- Çok parlak olarak kabul edilen $UDI > 2000$ lux değer aralıklarıdır (Reinhart ve diğerleri, 2006).

Yıllık günışığı alımı

Yıllık günışığı alımı (*annual sunlight exposure*), yatay bir çalışma düzleminde, yıl boyunca belirtilen bir süre kapsamında, belirli bir doğrudan güneş ışığı aydınlık seviyesini aşan alanların yüzdesidir (Heschong ve diğerleri, 2012). ASE metriği doğrudan güneş ışığına potansiyel bir görsel rahatsızlık kaynağı olarak bakmaktadır. IES mekanlar için, yılda 250 saati aşan bir süre boyunca, en fazla 1000 lux doğrudan güneş ışığına maruz kalan alanların oluşturulmasını önermektedir.

Binaların enerji performansını değerlendirmek için, hesaplanmış ya da ölçülmüş bina performans metriklerini, bina bileşenlerinin enerji ile ilişkili özelliklerini ya da bina sistemlerinin enerji tüketimini temsil edebilen bazı referans değerlerle karşılaştırmak gereklidir (Borgstein, Lamberts ve Hensen, 2016). Bina performansını, enerji kullanım yoğunluğu (EUI) gibi normalleştirilmiş tüm bina enerji tüketimi metriklerine dayanarak değerlendirme yöntemi giderek yaygınlaşmaktadır.

Enerji kullanım yoğunluğu

Enerji kullanım yoğunluğu, ASHRAE 90.1-2010 Standartı'na göre, binalarda enerji kullanımını temsil eden bir ölçüm birimidir. EUI her yıl için birim alan başına düşen enerji

tüketimini belirtir ve birimleri (kBtu/ft²) veya (kWh/m²)’dır. EUI aynı zamanda bir binanın mutlak enerji kullanım performansını ölçmek için en yaygın olarak kullanılan ve kabul gören ölçü birimidir (Ghobad, 2013).

Genel olarak, daha düşük EUI bir binanın daha iyi bir enerji performansı sergilediğini göstermektedir. Bina enerji kullanım yoğunluğu, hava durumu, teçhizat yükleri, kullanıcı programları gibi iç ve dış faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

2.2. Enerji Etkin Yapılı Çevreler ve Performatif Mimarlık

Bilgisayara dayalı tasarıma geçiş ve bilgisayarların işletim yeteneğindeki gelişme, mimari tasarım sürecinde kullanılan bilginin miktarında artışa neden olmuştur. Oluşan bu bilgi zenginliği mimarlığa, tekil parametre seviyesinden sıyrarak, birçok parametre arasındaki ilişkileri tanımlayan algoritmalar ve programlara dayalı bilgi hiyerarşisi üzerine kurulu yeni bir boyuta geçme imkanı sağlamaktadır. Tasarımcıların tasarım sürecinde parametre ve algoritma kullanması ile birlikte, var olan kurallar sistemi yeniden değerlendirilmeye başlanmıştır. Böylelikle, geleneksel bilgi birikiminin aksine, dijital kodlara dayanan, farklı tasarım araç ve metotlarını içeren yeni bir veri tabanı üretilmektedir (Grobman, 2012: 9).

Düşük enerji tüketimine sahip bina tasarımının gereksinimlerini karşılamak için, yenilikçi bir tasarım metodu ve bütünleşik tasarım sürecine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada dijital modelleme, mimari tasarım alanını büyük ölçüde etkilemiştir ve bu dijital modelleme çeşitlerinden biri de parametrik modelleme olarak öne çıkmaktadır. Bu çerçevede, yapılarda enerji performansı değerlendirildiğinde, enerji etkin yapılı çevreler ve performatif mimarlık konusu, “hesaplamalı tasarım ve parametrisizm” ve “sayısal teknolojiler ve performatif mimarlık” olarak iki alt başlık halinde çalışmanın bir sonraki kısmında incelenmektedir.

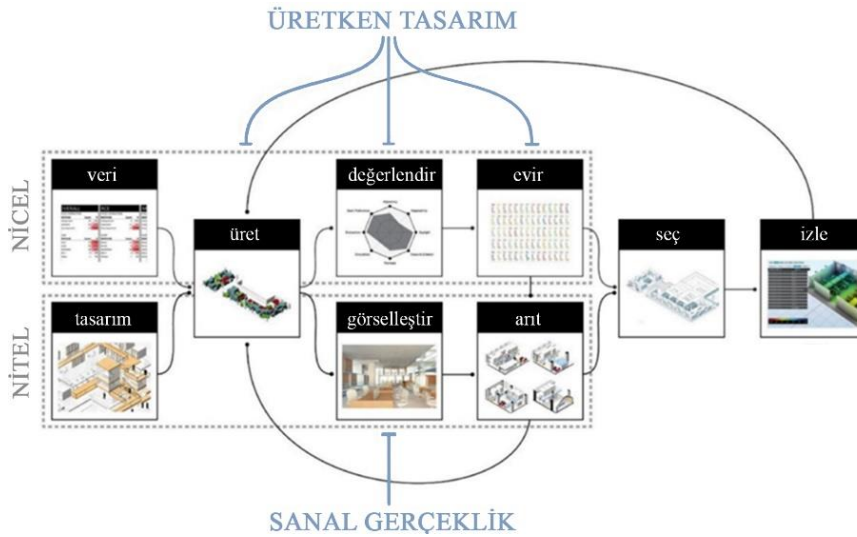
2.2.1. Hesaplamalı tasarım ve parametrisizm

Hesaplama, aynı anda birden çok seçeneği düşünme, geniş veri tabanları arasında bağlantı kurma, birçok performans parametresinin ilişkisi içinde tasarımı analiz etme, kendi tasarım araçlarını oluşturma ve dijital imalat ve robotik montaj yoluyla inşa sürecinde devreye girme gibi konularda tasarımcının becerisini artırarak mimarlık pratiğini yeniden tanımlamakta

(Peters ve Peters, 2018: 10-11) ve Şekil 2.11’de görüldüğü gibi üretken tasarım sürecini desteklemektedir.

1963 yılında Ivan Sutherland mimari tasarımda kullanılmak üzere, sadece geometri çizimi yapan değil aynı zamanda tasarımdaki farklı elemanlar arasında bağlantılar kuran ve basit strüktürel analizleri hesaplayabilen ilk bilgisayar programını üretmiştir. Tasarım yazılımı mimari pratikle buluştuğunda, yalnızca sanal bir çizim panosu işlevi görmüş olsa da kullanıcı-bilgisayar etkileşimini kolaylaştırmış ve mimarlık disiplini içerisinde bilgisayar kullanımında önemli bir adım atılmıştır (Peters ve Peters, 2018: 3). Peters ve Peters (2018: 3)’in aktarımına göre, bilgisayar destekli tasarım (CAD) tarihsel olarak, iki boyutlu çizim, bina bilgisi modellemesi (BIM) ve tasarımcı tarafından geliştirilen algoritmanın tasarım modelini ürettiği hesaplamalı tasarım dönemi olarak üç dönemden oluşmaktadır.

Hesaplamalı tasarım ve parametrisizm konuları bu çalışma kapsamında, “parametrik tasarım yaklaşımları” ve “tasarımda algoritma kullanımı ve eniyileme” başlıkları altında incelenmektedir.



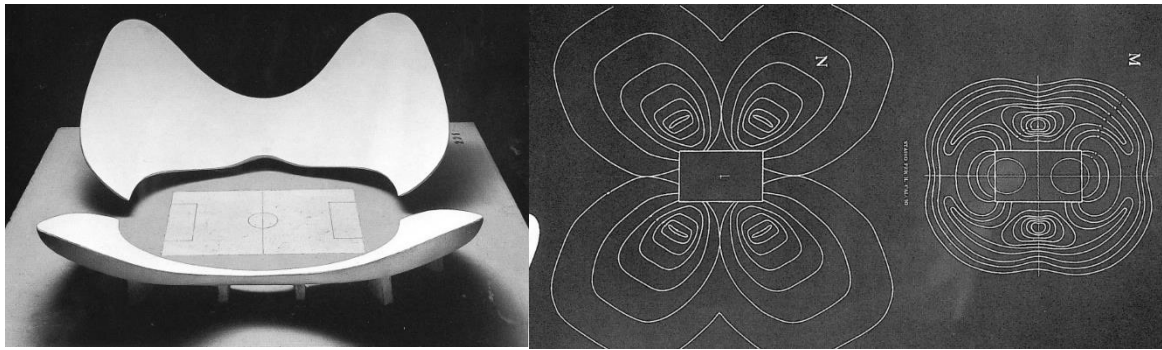
Şekil 2.11. Hesaplamalı tasarım döneminde üretken tasarım süreci (Bernstein, 2018: V)

Parametrik tasarım yaklaşımları

Matematiksel olarak, parametreler olarak bilinen bağımsız değişkenlerin belirli işlevlerini ifade eden bir dizi denklemler kümesi olarak tanımlanan parametrik terimi (Weisstein, 2002; aktaran Wonoto, 2017: 19), on dokuzuncu yüzyılın ortalarında hesaplama sistemleri

tarafından, matematikten özümsemiş ve programlanabilir algoritma ve yöntemlere adapte edilmiştir. İlk belgelenen bilgisayar programları 1843 yılında Ada Lovelace tarafından, Charles Babbage'in önerilen analitik motoru için yazılmıştır ve onun algoritmalarına dayanmaktadır. Bu algoritmalar, Ada'nın 'destek (*backing*)' adını verdiği bir dizi döngüde bulunan değişken parametrelere dayanmaktadır ve döngülerin ve şartlı atlamaların ilk kullanımlarıdır (Frazer, 2016: 19).

Parametrik mimari konsepti ve kavramının kullanılması, gerçek hesaplama süreçlerinin kullanımının uygulanabilirliğine önayak olmuş ve 1940 yılında İtalyan mimar Luigi Moretti'nin '*Architettura Parametrica*' adlı araştırmasıyla birlikte ortaya çıkmıştır. Parametrik tasarım hakkında kapsamlı bir şekilde yazılar yayınlayan ilk mimar olan Moretti parametrik mimarlığı, birçok parametreye bağlı boyutlar arasında bir ilişki oluşturma amacı olan mimarlık çalışması olarak tanımlamaktadır (Bucci ve Mulazzani, 2002; aktaran Wonoto, 2017: 20). Moretti, 1940-1942 yılları arasında başta bilgisayarların yardımı olmadan '*Architettura Parametrica*' araştırması kapsamında mimari tasarım ve parametrik denklemler arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Ancak daha sonra 1960'a kadar 610 IBM bilgisayarının da yardımıyla, Resim 2.1'de görülen, parametrik olarak tasarlanmış spor stadyumunun modellerini 1960 yılında 12. Milan Trienali'nde sergilemiştir (Frazer, 2016: 19). Daha sonra yukarıda da belirtildiği üzere 1963 yılında Sketchpad sistemini oluşturan Ivan Sutherland gibi dijital tasarımın öncüleri, mimari tasarım için parametrik sistemi geliştirmiştir.



Resim 2.1. Luigi Moretti tarafından parametrik olarak tasarlanan stadyum
(www.danieldavis.com/)

Günümüzde parametrik tasarım temel olarak Moretti'nin 1940 yılında yaptığı tanımdan çok farklı olmamakla beraber, terminoloji değişmiş ve mimarlık disiplinde yaygın bir şekilde

kullanılmaya başlanmıştır. Eltaweel ve Yuehong (2017)'in parametrik tasarım ve genişliğini konu alan literatür taraması çalışmalarında da belirtildiği üzere, yapı sektöründeki teknoloji kullanımı farklı disiplinleri bünyesinde barındırmakta ve bu disiplinlerin her biri diğer disiplinlerle karmaşık seviyelerde ilişkilendirilmektedir. Bu seviyede bir etkileşim sebebiyle de ortak olarak kullanılacak veri tabanı parametrik olarak yönetilmelidir.

Parametrik tasarım sistemlerinin gelişmesi ve mimarlık disiplininde yayılmasıyla birlikte, mimarların bina tasarımına olan yaklaşımı, yeni fikirleri deneme şekilleri değişmiş ve mimari tasarımdaki sınırlar aşılmaya başlanmıştır (Makris, 2013: 1). Genel olarak parametrik modelleme, mimarların parametreleri ve Resim 2.2'de görüldüğü gibi kompleks formları tanımlamak için ilişkileri kullanmasını sağlarken (Su, 2015: 19), bu değişik parametreler ve onlar arasındaki ilişkilere göre sınırları belirlenen bir tasarım alanının keşfini mümkün kılmaktadır (Azhar ve Brown, 2009). Hernandez (2006)'in aktarımına göre parametrik tasarımla ilerletilen tasarım sürecindeki seçenekler sonsuz olduğu için, geleneksel tasarım süreçlerindeki tekillik yerini çokluğa bırakmaktadır.



Resim 2.2. Zaha Hadid tarafından parametrik olarak tasarlanan Haydar Aliyev Kültür Merkezi (www.inexhibit.com)

Parametrik tasarım, bilgisayar bilimiyle paralel programlama teknolojilerini benimsemekte ve programlama esnekliği sunarken, oluşturduğu grafiksel kullanıcı ara yüzü ve görsel kodlar sayesinde tasarımcılar için geleneksel programlamadan daha kullanışlı hale gelmektedir (Fang, 2017: 3). Wang (2012: 17)'e göre güncel tasarım pratiğinde parametrik modellemenin önemli bir yönü, özellikle tasarımcıların noktalar, çizgiler, yüzeyler ya da binaya ilişkin yönelim, bağlam, hava gibi verileri, özelleştirilmiş yöntemlerde, parametreler aracılığıyla kullanılmasına vurgu yapmasıdır; parametrik modelleme yaklaşımının temel özelliği, belirlenen tasarım alanı içerisinde, tasarımın konsept aşamasından final haline kadar gelen süreçte, tasarımın parametrik olarak değiştirilmesine olanak tanınmasıdır.

Parametrik tasarım, her biri tasarımcılar tarafından belirlenen ilişkiler kullanarak sınırsız sayıda tasarım üretme kapasitesine sahiptir. Tek bir parametrenin değiştirilmesiyle yeni bir tasarım seçeneği ya da tasarım çözümü sunarken, farklı bir parametrenin değiştirilmesi ise farklı bir çözüm ortaya koymaktadır. Parametrelerin tasarımcı tarafından sınırlanması, olası çözüm sayısını sınırlamakta ve bu tanımlanan bir dizi parametrik ilişkinin ortaya koyduğu çözümlere “çözüm kümesi” denilmektedir. Örneğin her biri beş farklı değer alacak olan üç parametreden oluşan bir tasarımın $5 \times 5 \times 5 = 125$ olası çözümü bulunmaktadır (Makris, 2013: 9-10).

Parametrik tasarım sistemlerinin kullanımı, tasarımda yapılacak değişiklikler ve revizyonlar için gerekli zaman ve harcanan eforu azaltabilmektedir. Aynı zamanda verimli bir şekilde, değişen parametre değerlerinin etkilediği sonuçlar ve potansiyel tasarım çözümü üzerinde sonraki etkiler için tasarım ekiplerinin iletişime geçmesine ortam hazırlayarak, yapısal alternatiflerin kurulumuna yardımcı olmaktadır (Rolvink, van de Straat ve Coenders, 2010). Geyer ve Buchholz (2012), parametrik tasarım sistemlerini;

- Tasarım nesnesini; tasarımı, kullanımı ve gereksinimleriyle açıklar,
- Birbirine bağlı strüktürleri, öge akışlarını ve parametrik hesaplamaları modeller,
- Alternatiflerin sistem performansını belirler, performans değerlendirmesine izin verir ve tasarımın varyasyonlarını sistematik olarak açıklar,
- Böylece çözüm alanlarının sistematik keşfine izin verir,
- Ön koşulları, gereksinimleri, kullanımı ve sistemin bağımlılıklarını açık bir şekilde tanımlayarak kararlar verir, şeklinde özetlemiştir.

Parametrik tasarım, aynı zamanda binanın performans parametrelerine dayalı üretken form oluşumunu ve bileşenlerin süreçte geçirdikleri değişikliklere göre otomatik olarak güncellenmesini mümkün kılmaktadır (Aish ve Woodbury, 2005). Günümüzde tasarım çevrelerinde, çok amaçlı tasarım eniyilemesi için yeni model inşa etmedeki yüksek seviye karmaşıklık sebebiyle, simülasyon teknolojileri ve ileri modelleme tekniklerini kullanmak ve tasarıma entegre etmek için yapı parametrelerinin tasarıma girdilerini kolaylaştıran bir ara yüze sahip, otomatik olarak çoklu tasarım seçenekleri sunan ve bunları aynı zamanda değerlendirip en ideal performans fonksiyonlarını elde eden BIM, parametrik modelleme ve eniyileme algoritmaları gibi araçlara yönelik büyük bir talep bulunmaktadır (Rahmani Asl, 2015: ii). Bu talebe karşılık olarak, parametrik ilişkiler kurarak geometrik modeller üretmeyi sağlayan, performans tabanlı parametrik bina tasarımını, görsel programlama ara yüzü kullanarak daha erişebilir yapan, mevcut bazı yazılımlar bulunmaktadır (Rahmani Asl, 2015: 18). Bunların öne çıkanları ve en çok tercih edilenleri, Bentley Systems tarafından geliştirilen Generative Component, CATIA® ile birlikte çalıştırılabilen Digital Project™, Rhinoceros ile birlikte kullanılan Grasshopper ve Bina Bilgi Modellemesi (BIM) topluluğu içinden de GraphiSoft ArchiCAD ve Dynamo/Revit olarak sıralanabilir (Wang, 2012: 23).

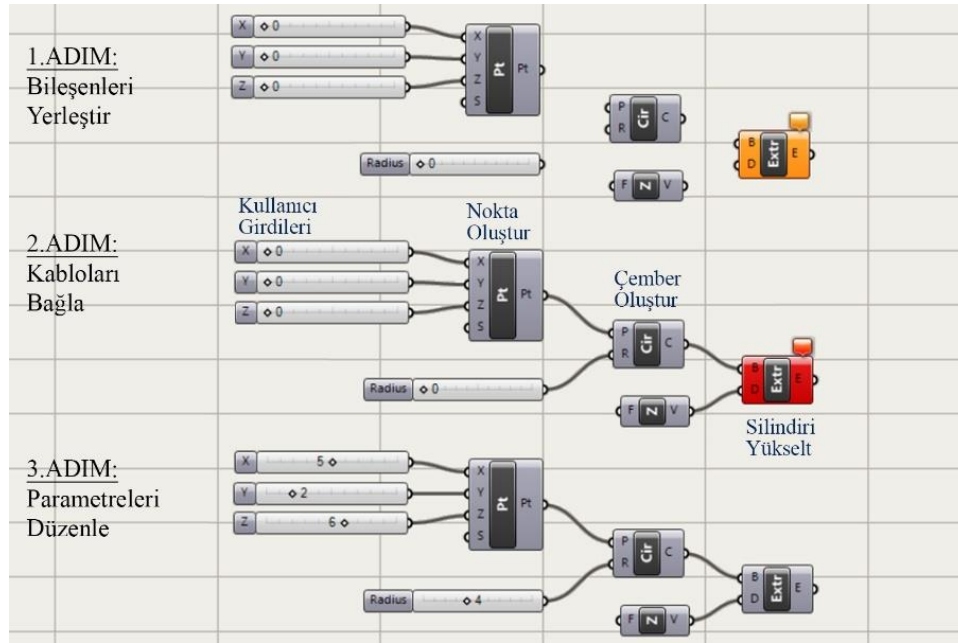
Bu çalışmada yukarıda sıralanan çeşitli yazılımlar içerisinde, günümüzde mimarlık çevreleri tarafından, tasarımlarda en çok tercih edilen parametrik modelle aracı olan Rhinoceros/Grasshopper ve BIM programları içerisinde ön plana çıkan Revit/Dynamo detaylı olarak incelenmiştir.

Rhinoceros/Grasshopper

Rhinoceros, Robert McNeel ve Ortakları tarafından geliştirilmiş, genellikle mimari, endüstriyel tasarım, mücevher tasarımı, gemi tasarımı, otomotiv tasarımı, grafik tasarım alanlarında yaygın olarak kullanılan bir 3D modelleme yazılımıdır.

Grasshopper ise, David Rutten tarafından geliştirilen ve Rhinoceros programı ile birlikte kullanılabilen görsel bir programlama dilidir. Algoritmik olarak yapabilecekleri ile birlikte Grasshopper, Rhino içinde kullanılan komutlara ek olarak kullanıcılara daha fazla seçenek imkanı sunmaktadır. Başlangıçta belirli bir tasarımın geçmiş aşamalarını takip etmek için oluşturulan programlama dili, daha sonra tasarım üzerinde değişiklikler yapmaya imkan veren bir modelleme uygulamasına dönüşmüştür. Bu da, çoklu yinelemenin, modeli

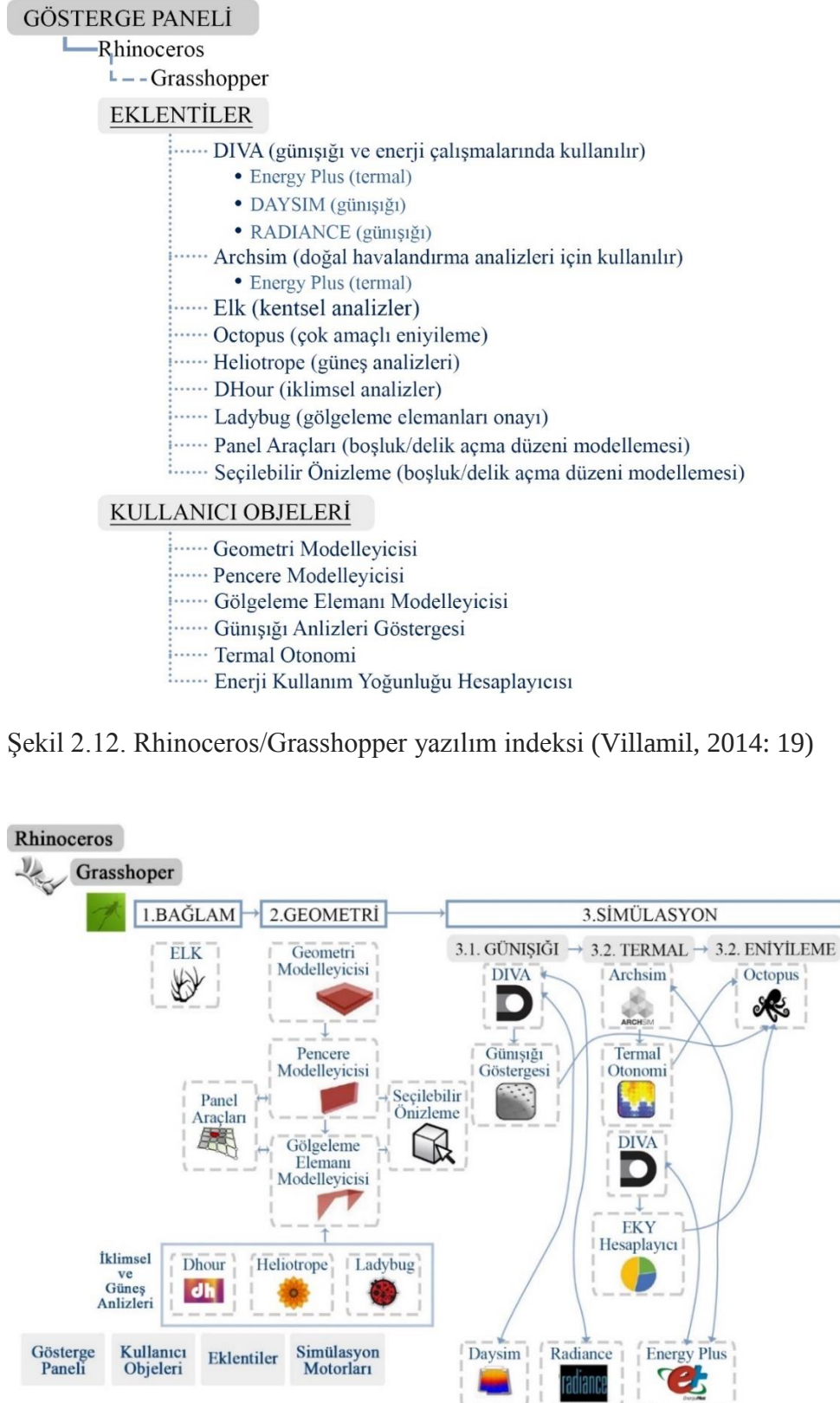
oluşturan özelliklerin değerlerini gerçek zamanlı olarak ayarlayabilerek yürütülmesine imkan sunmaktadır (Villamil, 2014: 20). Grasshopper, parametrik modellemenin düzgün bir şekilde yürütülmesi için oluşturulan, Resim 2.3'te de görülebilen, geometrik görsel yazılımına bağlı olarak birçok mimar tarafından kullanıcı dostu olarak kabul edilmektedir (Wonoto, 2017: 22).



Resim 2.3. Grasshopper yazılım örneği (Makris, 2013: 34)

Grasshopper, bina formu, bina strüktürü, çevresel analiz ve mekanik gibi alanlarda kullanılan eklentilerle birlikte geliştirilebilen bir yazılım olarak öne çıkmaktadır. Şekil 2.12'deki yazılım indeksi ve Şekil 2.13'deki yazılım diyagramından bir kısmının da görülebileceği üzere, Grasshopper, Ladybug, Honeybee, Diva gibi eklentiler bina performans analizleri için kullanılırken, enerji modeli ve simülasyonlar aracılığıyla parametrik bina modeli ve bina performansı arasında bir bağlantı oluşturmaktadır. Enerji modelini üretme aşamasında, iklimsel veri, bina formu, malzemeler, mekanik sistemlerin girdileri ve işletimi gibi veriler gerekiyken, model üzerinde yapılan analizlerle elde edilen çıktılar ise genellikle enerji tüketimi, ısı ve görsel konfor ve güneş ışığı ölçümlerini kapsamaktadır (Fang, 2017: 5-6). Aynı zamanda Galapagos ve Octopus gibi eklentilerle, simülasyonlar aracılığıyla elde edilen performans metrikleri, ortaya konulan parametreler kapsamında eniyilenebilmektedir. İki eklenti de eniyileme işlemi için evrimsel eniyileme algoritmalarını kullanmakta,

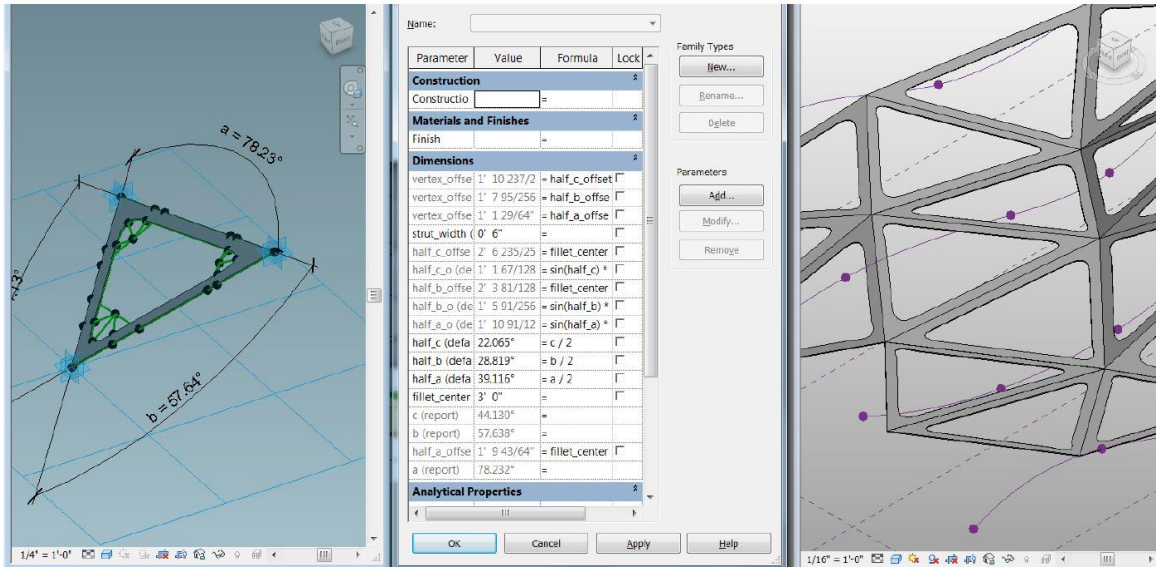
Galapagos tek amaçlı eniyileme problemleri için tercih edilirken, Octopus eklentisi çok amaçlı eniyileme problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır.



Şekil 2.13. Rhinoceros/Grasshopper yazılım diyagramı (Villamil, 2014: 26)

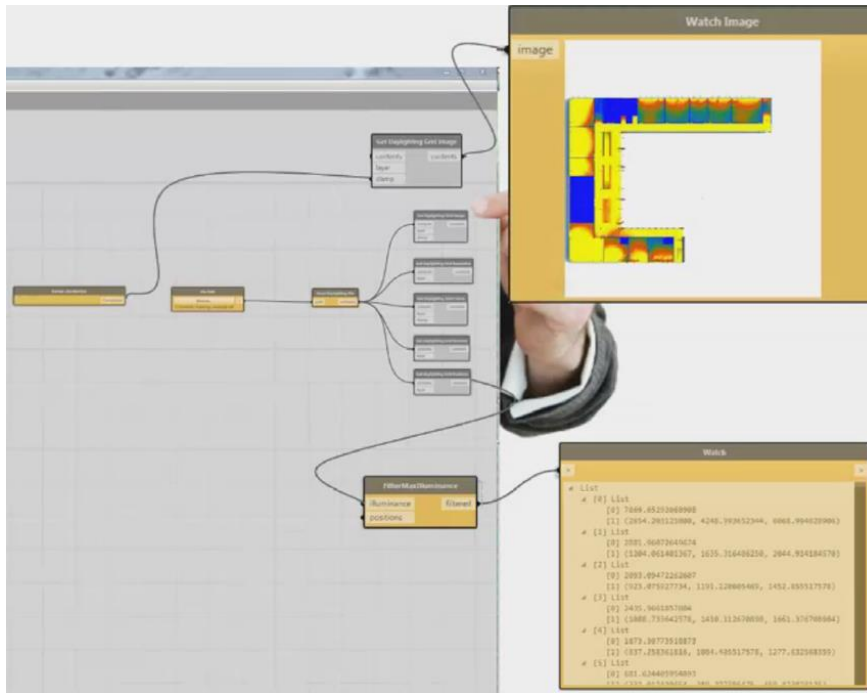
Revit/Dynamo

Mevcut BIM programları tarafından sunulan parametrik ilişkiler, genel tablonun bütünlüğünü korurken tasarım seçeneklerinin değerlendirmesine izin vererek üretken süreci kolaylaştırmaktadır. Parametrik olarak tanımlanan bağlantıların birlikte çalışması sayesinde, tasarım birden çok durum arasından değişebilmekte aynı zamanda da yapısal detayların özelliklerini koruyabilmektedir (Goldman ve Zarzycki, 2014: 6). BIM programları içerisinde ön plana çıkan Revit yazılımı, binaların ve altyapıların tasarımı ve inşası için çeşitli bilgiler içeren parametrik üç boyutlu modellerin üretimine yönelik bir uygulamadır. Bu akıllı modellerden, planlar, kesitler, cepheler, perspektifler, detaylar gibi bir bina tasarımının gerektirebileceği bütün dokümanları elde etmek mümkündür. Modeller sadece geometrik özellikleri içermemekle birlikte, aynı zamanda tasarımın başından sonuna, kullanım da dahil olmak üzere, tasarım sürecinin her aşamasında bina hakkındaki verilerle ilgili bilgilendirme yapılmasını sağlamaktadır. Diğer iki boyutlu CAD ve üç boyutlu BIM araçlarının aksine Revit, çift yönlü ve çok kullanıcılı çalışma ortamına sahip bir programdır. Programda, katmanlar ve vektörlerin yerine, Resim 2.4'teki gibi projeler, bileşenler, parametreler gibi terimler kullanılmaktadır. Geleneksel CAD araçlarıyla karşılaştırıldığında, Revit proje koordinasyonu ve sürecin yönetimi için proje verilerinin daha kolay girilmesini, yönetilmesini ve dışa aktarılmasını sağlamaktadır (Kim, Kirby ve Krygiel, 2016: 22-25).



Resim 2.4. Revit parametrik modelleme örneği (Clayton, 2014: 35)

Dynamo ise, Revit ile birlikte kullanılan görsel bir programlama arayüzü eklentisidir ve aynı zamanda Dynamo Studio adıyla tek başına da kullanılabilir. Dynamo ile kullanıcılar, tasarımları ve projeyi ve *family* dosyalarını eş zamanlı etkileyen, düğüm tabanlı (*node-based*) diyagramlarla otomasyon metotları oluşturabilmektedir. Bu sayede Dynamo ile birlikte üretilen geometri ve veriler esnek hale gelmektedir. (Kim ve diğerleri, 2016: 843). Aynı zamanda, “düğüm (*node*)” adı verilen grafiksel öğelerin kullanımıyla ile birlikte kod yazımına gerek kalmadan programlar oluşturulabilmekte ve bu sayede mimarlar, tasarımcılar ve mühendisler gibi görsel yönelimi yüksek kullanıcılar için daha uygun bir programlama yaklaşımı ortaya konulmaktadır. Her birinin giriş ve çıkışlara sahip olduğu, düğümler Dynamo’da belirli bir görevi üstlenmektedir. Resim 2.5’te de görülebileceği üzere, bir düğümden gelen çıkışlar “kablolar (*wires*)” kullanılarak diğer girişlere bağlanmakta ve oluşturulan programlar bu kablolar üzerinden aktararak sonuç ürüne ulaşılmaktadır (www.archsmarter.com).



Resim 2.5. Dynamo ile genişliği hesabı grafiği (Bernstein ve Jezyk, 2014: 88)

Tasarımda algoritma kullanımı ve eniyileme

Dijital medyanın üretken ve yaratıcı potansiyeli mimarlık disiplinine sürekli yeni boyutlar açmaktadır. Son yıllarda mimari tasarımın geldiği noktada, yüksek seviyede karmaşık ve hesaplamalı çözüm gerektiren tasarım girdileri için dijital tabanlı işlem gücü ve algoritmalar

kullanılmaktadır (Almusharaf, 2011: 61). Algoritma, bir sorunun çözümü için, sonlu sayıda adım biçiminde iyice tanımlanmış, sonlu bir kurallar kümesi olarak tanımlanmaktadır (www.tdk.gov.tr). Algoritmaların farklı tasarım parametrelerini ve değişkenlerini sayısal olarak üretilip kullanabilmesi, tasarımcılara süreçteki durumları değerlendirme ve bunlara uygun çözümler üretme imkanı sağlayarak tasarım üzerindeki kontrol seviyesini üst seviyelere çıkarmaktadır. Bu nedenle, bir algoritma biçimsel olanın çok ötesinde, tasarımın karmaşıklığıyla etkili bir şekilde ilgilenebilmekte ve bunu mimari özelliklere çevirebilmektedir (Dino, 2012).

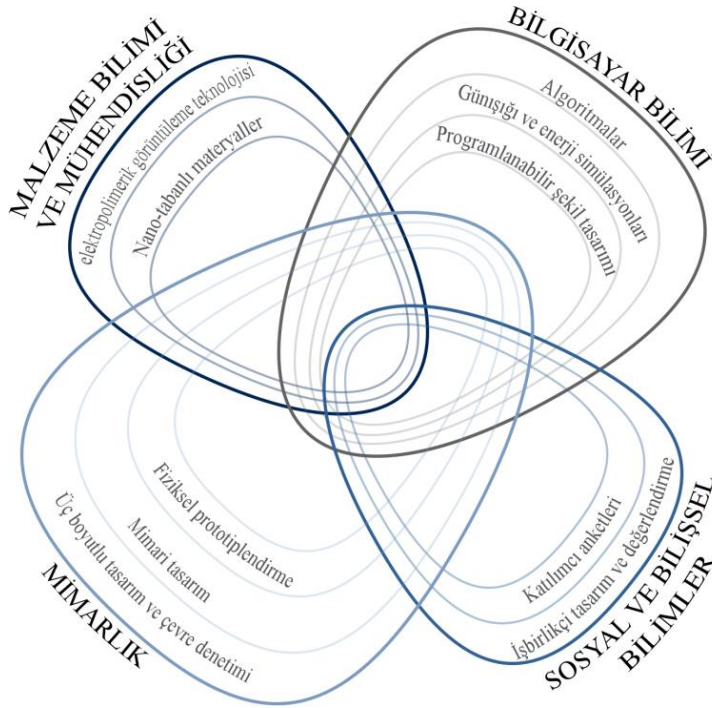
Matematiksel programlama gibi alanlarda kullanılan geleneksel eniyileme düzeni, belirli bir fonksiyonun en düşük veya en yüksek değerini bulan bir algoritmadır. Bu algoritma herhangi bir sayıda parametreye bağlı olabilmekte ve bu parametreler kısıtlanmamış ya da bir veya daha fazla kısıtlamaya tabi tutulmuş olabilmektedir. Bu kısıtlama dizisi, problemin araştırma alanını tanımlamakta ve tanımlı araştırma alanı içindeki parametre değerlerinin arasında oluşturulan herhangi bir kombinasyon en iyi çözüm olarak kabul edilmektedir. Bu durumda var olan problemin benzersiz bir çözümü olması mutlak değildir (Gagne, 2011: 33).

Eniyileme, 1950'lerden beri mühendislik alanlarında karar verme modellerinde, öncelikle malzeme maliyeti ve yük taşıma kapasitesini ayarlama daha sonra ise mekanik sistemlerin binalar için nasıl kullanılacağını algoritmalarla belirlemede yararlı olmuştur (Choudhary ve Michalek, 2005). Eniyileme işlemini yapmak için eniyileme aracı, tasarımcı tarafından ortaya konulan sınırlar içerisinde bir veya daha fazla parametreyi otomatik olarak değiştirmekte ve yeni çözümler üretmektedir. Tasarımcı tarafından belirlenen tasarım hedeflerinin her biri, tasarım çözümlerinin uygunluk değerini hesaplayan uygunluk fonksiyonu tarafından sayısal olarak ölçülebilir olmalıdır (Makris, 2013: 10).

Günümüzde birçok çeşidi geliştirilmiş, matematiksel bir teknik olan eniyileme, özetle hedefteki işlevin en iyi değerlerini bulma yöntemidir (Govindarajan, 2011: 12). Mimari tasarımda, eniyileme birçok alanda kullanılabilmekte ve bu alanlar çok çeşitli parametreler içerebilmektedir. Performans alanları; enerji tüketimi, hem doğal hem de yapay aydınlatma, ısı transferi, doğal havalandırma, mekanik sistemler, malzemeler ve yapı gibi çeşitli başlıkları kapsamaktadır. Olası parametrelerin sayısı, tek bir parametreden tüm bir binayı tanımlayan kapsamlı bir parametreler kümesine kadar değişebilmektedir. Mimari problemler için var olan kısıtlar, çeşitli kodlara ve yönetmeliklere, programa bağlı gereksinimlere,

tasarım amacına, müşteri isteklerine, bütçe vb. konulara bağlı olabildiği gibi; hava durumu, yer koşulları, yapısal yükler ya da mevcut inşaat teknolojileri gibi dış etkenlere de bağlı olabilmektedir (Gagne, 2011: 34-35).

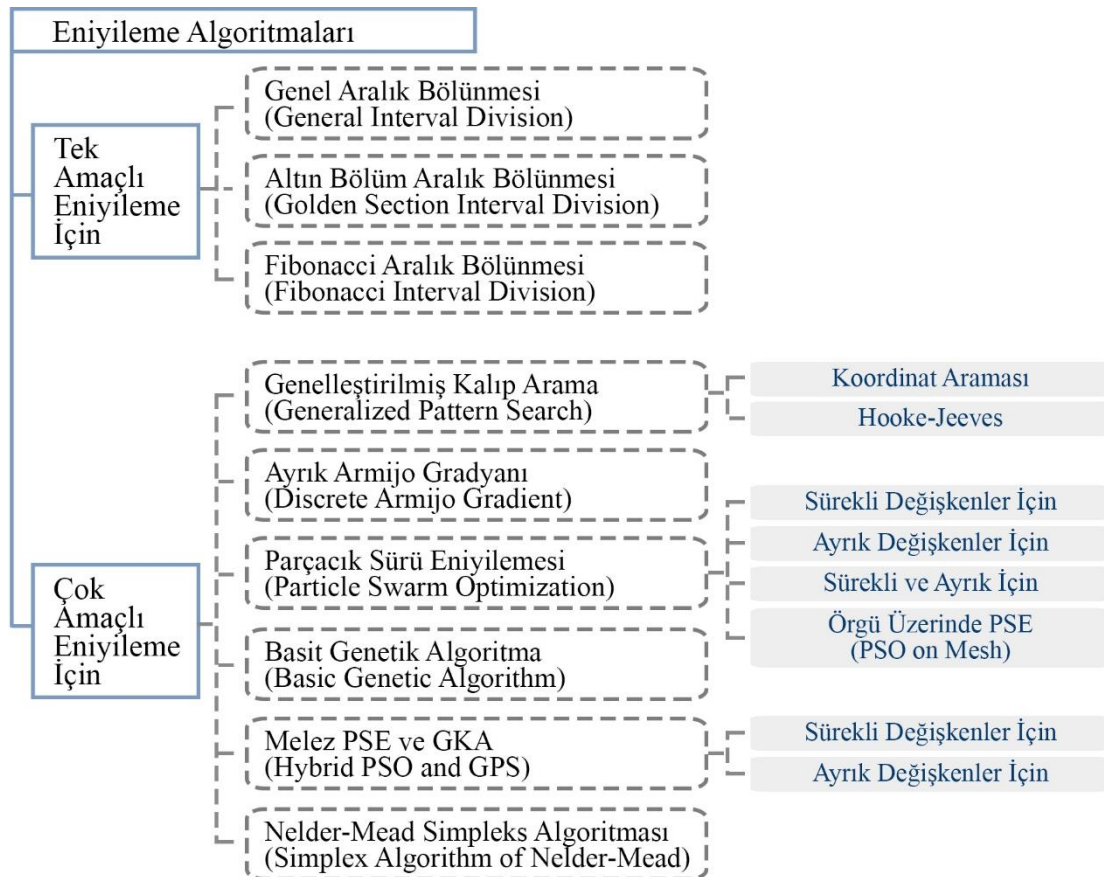
Tek bir tasarım hedefi olduğunda problem tek amaçlı eniyileme problemi olarak tanımlanırken, birden fazla tasarım hedefi ortaya konulduğunda buradaki probleme çok amaçlı eniyileme problemi adı verilmektedir (Shan, 2016: 7). Çok amaçlı eniyileme, belirlenen bir dizi hedefler kümesini en iyi duruma getirecek ya da en aza indirecek tasarım çözümleri bulmaya çalışmaktadır (Makris, 2013: 11). Çok amaçlı eniyileme, çok amaçlı problemi matematiksel olarak formüle çevirmeyle ve hesaplamalı araçlara dayanarak tanımlanmış eniyileme algoritmaları ile otomatik olarak ideal olanı arayarak yapılmaktadır. Bu süreçteki matematiksel yaklaşım, belirlenen koşullar altında ve verilen ölçüm yönteminin uygulanmasıyla daha fazla iyileştirmenin yapılamayacağı bir durumu temsil etmektedir (Lin, 2014: 32).



Şekil 2.14. Disiplinlerarası tasarım çerçevesi (Krietemeyer, 2013: 10)

Mimari tasarım gerek karmaşık bir karar verme sürecine sahip olması gerekse de çeşitli girdiler ve problemler için en ideal çözümleri bulmaya çalışması sebebiyle esasında çok amaçlı bir eniyileme sürecidir (Radford ve Gero, 1987; aktaran Su, 2015: 1). Tasarımdaki

karmaşıklıkla ve Şekil 2.14’te görülen multidisipliner sürecin yönetimine bağlı olarak, sistematik bir problem çözücü sürece ihtiyaç duyulduğundan, pek çok araştırmacı çok amaçlı eniyilemeyi tercih etmektedir (Gagne, 2011: 35). Çok amaçlı eniyileme, nesnel vektörlerin ya da girdi ölçütlerinden elde edilen bir dizi ideal sonucun üretilme sürecidir. Bu nesnel vektörler, her bir hedef vektörle ilişkili birçok olası girdi ve haritaları test eden bir analiz algoritmasından geçirilmektedir (MacKnight, 2018: 10). Araştırmacıların bina eniyileme sürecindeki temel amaçlarından biri, daha az zaman ve simülasyon çabasıyla birlikte optimum çözümlere ulaşmak için, simülasyon tabanlı eniyileme metodolojisini kullanmaktır. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi için simülasyon programları ile onlara uyumlu olarak çalışacak optimizasyon algoritmalarının kombinasyonu doğru bir şekilde kurulmalıdır (Shan, 2016: 6-7). Eniyilemede kullanılan algoritmaları Şekil 2.15’teki gibi özetlenebilir (Wetter, 2004; aktaran Rahman, 2014: 35).

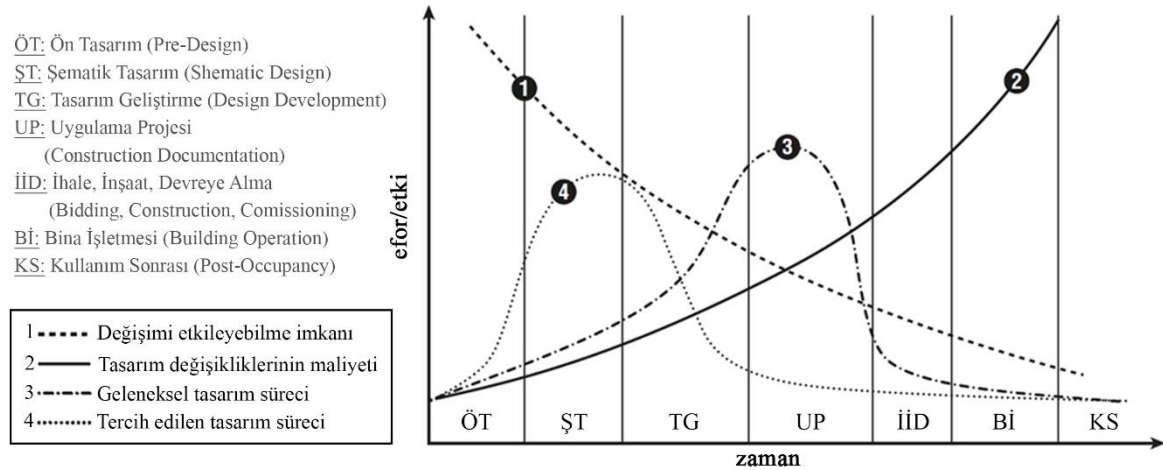


Şekil 2.15. Eniyileme algoritmaları (Wetter, 2004; aktaran Rahman, 2014: 35)

Rahman (2014: 33), eniyileme algoritmaları içerisinde doğru seçimi yapabilmenin öncelikle;

- Fonksiyonun yapısı (doğrusal, doğrusal olmayan, dışbükey, sürekli, yerel minima gibi)
- Analitik birincil ve ikincil türevlerin kullanılabilirliği
- Problemin boyutu (bağımsız parametrelerin sayısı)
- Problem kısıtlamaları (bağımsız parametreler ve / veya bağımlı değişkenler) gibi hususlara bağlı olduğunu belirtmiştir.

Bina tasarımındaki eniyileme problemi, otomotiv, imalat sanayi, denizcilik endüstrisi gibi alanlardaki eniyileme problemleriyle karşılaştırıldığında daha özeldir. İklim ve çevresel durum her bir bina için özeldir ve bu da gerçek inşa sürecinden önce büyük ölçekli deneme modeli üretimini imkânsız hale getirmektedir. Erken tasarım aşamasında, enerji performansı, maliyet, çevresel etki, ısıl konfor gibi tasarım amaçlarını gerçekleştirebilmek için birçok karar almak gerekmektedir. Bu nedenle, eniyileme çalışmaları çoğunlukla, tasarım kararlarının birçoğunun alındığı evre olan erken tasarım evresinde yapılmakta (Negendahl ve Nielsen, 2015) ve bu sayede Şekil 2.16’da görülen, tasarımın ileri zamanlarında değişiklik yapılmasıyla ortaya çıkabilecek yüksek maliyeti de engellemiş olmaktadır.



Şekil 2.16. Tasarım sürecindeki efor/etki eğrileri (Kim ve diğerleri, 2016: 5)

Son yıllarda ise bina tasarım sürecindeki simülasyon ve algoritmalara dayalı eniyileme çalışmalarında, binanın çevresel performansının hesaplanması üzerine odaklanılarak, enerji etkin bina tasarımının gerekliliklerinin karşılandığı verimli bir süreç ortaya konulmaktadır (Nguyen, Reiter ve Rigo, 2014). Bu bağlamda, çalışmanın bir sonraki kısmı “sayısal teknolojiler ve performatif mimarlık” başlığında, performans tabanlı tasarım ve bina enerji performansının eniyilenmesi konuları detaylı olarak incelenmiştir.

2.2.2. Sayısal teknolojiler ve performatif mimarlık

Gelişen sayısal teknolojiler, nasıl çalıştığımızdan, ne şekilde üretim yaptığımıza kadar birçok durumu etkilemektedir. Bu açıdan bakıldığında yaratıcılık ve teknolojinin kesişimi özellikle tasarımcılar için kritik bir hale gelmekte ve geleceğe yönelik önemli bir fırsat olarak öne çıkmaktadır (Goldman ve Zarzycki, 2014: 15). Genellikle dijital medya, tasarım sürecinin başlangıcında, tasarımla ilgili bilgi verme yeteneğine sahiptir ve bununla birlikte tasarımcılar, teknik ve performans kriterlerini tasarım düşüncesinin erken aşamalarında tasarıma entegre etme ve algoritmik ve/veya iteratif olarak tasarım etkilerini test etme imkanı elde etmektedir (Goldman ve Zarzycki, 2014: 4).

Performans geçmişten günümüze mimari söylemde süregelen bir kavram olarak, mimarlık disipliniyle bütünleşmiş durumdadır ve son yıllarda bu kavramın yapıları çevredeki enerji tabanlı güncel sorunlara verebileceği potansiyel katkıdan dolayı çok daha ön plana çıkmıştır. Araştırmacıların, akademisyenlerin ve kuramcılarının konuya olan ilgilerinin arttığının kanıtı olarak, mimarlık alanındaki çok sayıda önemli yayında kullanılan performans, performatif, performalizm, performalist kelimeleri gösterilebilir (Ng, 2013: 4).

Grobman (2012: 10)'ın aktarımına göre performans kavramı, bilgisayar kodunun ikili sayısal karakteriyle ilgilidir ve ölçülebilir deneysel performansa odaklanmaktadır. Daha geniş boyutta ele alındığında ise kavramın tanımını, performansın üç boyutunu içermektedir. Bunlar; doğrudan güç, sıcaklık, ışık miktarı gibi ölçülebilir performansa odaklanan *deneysel boyut*, zihinsel işlevlerle ve süreçlerle bağlantılı ve performansın mekana entegre edilmesine odaklı *zihinsel/bilişsel boyut* ve son olarak da insan algısına ve pasif algı fikrine odaklı *algısal boyuttur*.

Sayısal teknolojiler ve performatif mimarlık ilişkisinin daha detaylı olarak aktarımı için, performans tabanlı tasarım, parametrik tasarım ve bina enerji performansının ilişkisi, bina enerji performansının eniyilenmesi ve parametrik ve performans tabanlı tasarımın yapı kabuğunda kullanım örnekleri bu çalışmada alt başlıklar halinde incelenmektedir.

Performans tabanlı tasarım

Hens (2016: 55)'in aktarımına göre, performansa dayalı tasarıma olan ilgi 1970'lere kadar

dayanmaktadır. Performansa dayalı tasarım aslında, performans kavramının yukarıda belirtilen üç boyutuyla da ilgilidir. Ancak kişisel yorumlamayla, tasarım sürecinin farklı aşamalarında belirli bir performans boyutu diğerlerine tercih edilebilmektedir. Her ne kadar tek bir performans boyutuna odaklanmak mümkün olsa da, tasarımın tek boyutlu olarak geliştirilmesi yetersiz bir bilgi temeline dayanmasına ve işlevini tam olarak sürdürememesine neden olmaktadır (Grobman, 2012: 10-11).

Günümüzde, küresel çevre sorunlarının ve bina performans simülasyon araçlarına erişimin eş zamanlı olarak ilerlemesi, binaların tasarım metotları üzerinde önemli bir etki oluşturmuştur. Binaların enerji performansı, özellikle son yıllarda enerji etkinlikle ilgili gerçekleşen gelişmelerle birlikte, tasarım sürecinde verilen kararların ardında önemli bir güç haline gelmekte ve tasarımcıların bu süreçte çeşitli alternatifleri değerlendirmesiyle bu girdinin tasarımlara entegre edilmesi beklenmektedir (Malkawi, 2004).

Bina performansı günümüzde, farklı bina tiplerinin bulunması, malzeme ve yapım tekniklerindeki artış sebebiyle, daha karmaşık bir hal almıştır. Ancak çevresel etmenlere karşı barınma, havalandırma, güneşiği, akustik, gibi temel fiziksel unsurlar aynıdır (Cook, 2008: 2). Athienitis ve O'Brien (2015: 3)'ın da belirttiği gibi yüksek enerji performansına sahip binaların ana hedefi, tasarımın girdilerine uygun, konfor düzeyi optimum seviyede olan mekanların oluşumunu sağlayacak enerji sistemlerinin entegre bir şekilde çalışmasıdır. Entegre bir bütün olarak oluşturulan sistemin davranışını tahmin etmek sadece performans analizlerine değil, aynı zamanda performans bilgilerine ve simülasyon desteği ile birlikte çevrenin etkileşimine bağlıdır (Beyhan ve Alagoz, 2019).

Bina performans analizi ile ilgili öne çıkan on soruyu ve cevaplarını tartıştığı çalışmasında de Wilde (2019), "Bina performansı teriminin şuandaki anlayışı nedir?" sorusu altında bina performansının ne olduğuna dair çeşitli yayınlardaki ortak anlayışın, belirli bir binanın davranışıyla birlikte kullanıcı ihtiyaçlarının karşılaştırılması ve kontrastını sağlayan bir konsept ya da bir binanın işlevlerini ne kadar iyi yerine getirdiğini ölçmenize olanak sağlayan konsept olduğunu aktarmıştır.

Performans tabanlı bina tasarımı için en önemli başlangıç noktası, gereksinimlerin doğru tanımlanması ve kullanıcı ve müşterinin önceliklerinin doğru tanımlanacağı geniş bir perspektif geliştirmektir. Performans tabanlı tasarımın bir diğer önemli aşaması ise,

belirlenen performans hedefi için tasarım modelinin üretilmesidir (Sayın ve Çelebi, 2019). Bu şekilde geliştirilen bir tasarım süreci aynı zamanda çeşitli tasarım alternatiflerinin parametrik olarak keşfedilmesini ve seçenekler içinden de en iyi alternatifin seçilmesini gerektirmektedir (Rahmani Asl, 2015: 16).

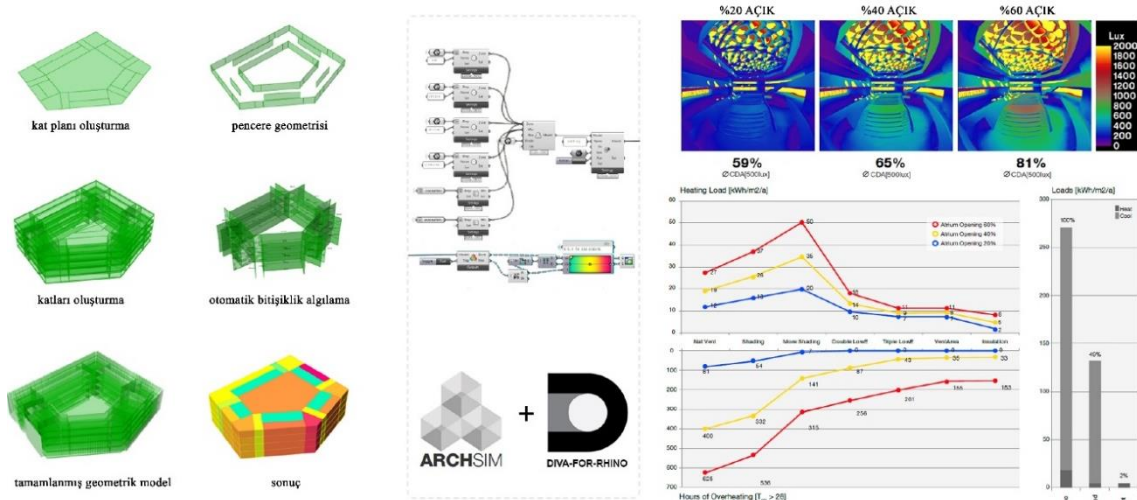
Parametrik tasarım ve bina enerji performansı ilişkisi

Mimari tasarım süreci, sayısal düşünme aracılığıyla önemli ölçüde geliştirilmiştir. Son yıllarda, çok miktarda uygulamayla birlikte, parametrik metodolojinin açık söylemi tasarım düşüncesi ve süreci üzerinde önemli bir etkiye sahip olmuştur (Yuan, 2016: 93).

Parametrik alana yönelik olarak yapılan çalışmalar, parametrik tasarımların binanın çevresel performansını artırmaya yönelik olarak katkı sağlamada oldukça önemli bir potansiyeli olduğunu göstermektedir. Şuanda var olan birçok parametrik modelleme tabanlı tasarım estetik form üretimine odaklanmış olsa da, performans tabanlı tasarım alanında oldukça önemli bir potansiyel bulunmaktadır. Tasarımcılar, parametrik modeli, bina tasarımının farklı alanlarındaki enerji simülasyonu, yapısal analiz, akustik simülasyon gibi çeşitli performans analiz süreçlerine entegre edebilmektedir (Rahmani Asl, 2015: 16). Goldman ve Zarzycki (2014: 10)'e göre parametrik ilişkiler tasarımda geometrik özelliklerin ötesine geçmeli ve bina performansı, kullanıcı davranışı gibi veri türlerini de içermelidir ve bu tür veriler, inşa edilebilirlik ve kullanıcı deneyimleri göz önünde bulundurularak form ve mekan oluşturma sürecine dahil edilmelidir.

Performans odaklı mimari kavramı, nedensellik ve kontrol sorusunu ortaya çıkarmaktadır. Bütünleşik mimariler, koşullu etkilere izin verirken, çok yönlü neden-sonuç ilişkilerini dikkate alarak, karmaşık çok seviyeli etkileşimlere karar vermeyi zorlaştırmaktadır (Hensel, 2013: 55). Parametrik tasarım, potansiyel olarak var olan ideal tasarım alternatiflerini tanımlamak ve değerlendirmek için daha fazla geri bildirim izin verirken, performans hedefleri ve kısıtları da dahil çok sayıda kriteri tasarıma entegre etmeye olanak sağlamaktadır. Parametrik tasarım teknolojisinin bu avantajları, tasarım kriterlerinin titizlikle belirlenerek daha yüksek performanslı bina tasarımı elde etmek için ortaya birçok potansiyel seçenek çıkarmaktadır. Tasarım aşamasında değerlendirme ve inceleme için kullanılabilecek çeşitli analizler ve simülasyonlar sürekli olarak genişlemektedir (Lin, 2014: 18).

Performans simülasyonları, Resim 2.6’da da görülebileceği üzere, sürdürülebilir bina tasarımları için büyük katkılar sağlamaktadır. Parametrik modelleme, parametreler tanımlayarak ve tanımlanan parametreler arasında ilişkiler kurarak tasarımın amacını doğrudan gerçekleştirmektedir. Parametrik tasarım hava durumu verileri gibi bina enerji performansı üzerinde büyük etkisi olan fiziksel parametreleri kullanarak bir bina formu oluşturabilmektedir. Daha iyi ya da daha uygun bina performansı elde etmek için, parametrik modelleme ve parametrik simülasyonlar birlikte kullanılmaktadır (Yan, 2014: 60).



Resim 2.6. Parametrik olarak tasarlanan Archsim ve DIVA güneşli modeli ve çıktıları (www.es.aap.cornell.edu/)

Binanın dış çevreyle bağlantılı performansının eniyilenebilmesi için Chronis, Liapi ve Sibetheros (2012)’un aktarımına göre öncelikle iklimsel koşulların girdilerine sahip bir dijital veri tabanı geliştirilmeli daha sonra bu veri tabanı ile binanın geometrisi arasındaki bağlantıyı sağlayacak parametrik bir model oluşturulmalı ve son olarak da oluşturulan modelin kullanımı için bir algoritma geliştirilmelidir.

Yukarıda da belirtildiği üzere, parametrik tasarım ve bina performans değerlendirme araçlarını birleştirerek, yapısal performans, aydınlatma performansı ve enerji performansı gibi performans ölçütlerine dayanan tasarım seçenekleri belirlemek mümkündür. Parametrik modellemede bilgisayar programlamada olduğu gibi, belirli bir amaç, onlara karşılık gelen kodlarla tanımlanmış bir dizi talimat tarafından başarıyla tamamlanabilmektedir. Tasarım seçeneklerinin otomasyonu ile birlikte zamandan tasarruf sağlanırken, bina performansı eniyilemesi gerçekleştirilebilmektedir (Fang, 2017: 4-5).

Bina enerji performansının eniyilenmesi

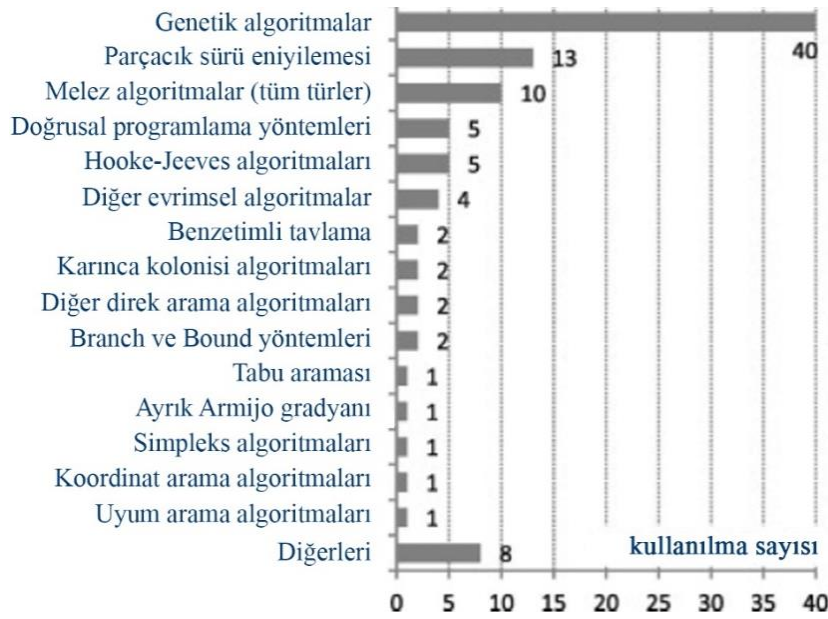
Tasarım alternatiflerinin parametrik olarak keşfedilmesi ve erken tasarım evresinde bina performansının eniyilenmesi, tasarımcılar için hala oldukça zorlu bir görevdir (Lin ve Gerber, 2014a). Binalarda enerji performansı eniyilemesi yapılmasının, tipik binalarla kıyaslandığında; genellikle %30 ile %50 arasında değişen enerji maliyeti tasarrufu, bakım maliyetlerinde azalma, ticari binalar için daha yüksek net işletme geliri elde edilmesi, sürdürülebilir sistemlerle tasarlanan yeşil binalara özel olarak sağlanabilen vergi indirimlerinden yararlanma, gayrimenkul sektörü içinde uzun vadede satış değeri de dahil olmak üzere avantajlı bir konuma gelme, bina kullanıcılarının uzun vadede üretkenlik açısından gelişme göstermeleri, sağlık açısından yararlar, sürdürülebilirliğe ve çevre etkilerine karşı olan duyarlılığının gösterilmesi gibi birçok avantajı bulunmaktadır (Farias, 2013: 34-35).

Bina enerji performansı, sadece tekil bina bileşenlerine (iç ve dış duvarlar, pencereler, döşemeler, vb.) veya tesisat sistemine (ısıtma, havalandırma, iklimlendirme, aydınlatma, vb.) dayalı değil, bunların entegre bir bütün olarak dinamik etkileşimine dayalıdır (Harputlugil ve Kılınç, 2016: 6). Dolayısıyla, Stevanović (2013)'in de belirttiği gibi, bina enerji performansını üst seviyelere taşımak için, bina performansının hangi parametrelerden etkileneceğinin belirlenip, farklı farklı enerji etkin tasarım stratejilerinin uyumlu bir şekilde bir arada kullanılması gerekmektedir. Özdemir (2005), bina performansını etkileyen parametreleri Çizelge 2.2'deki gibi özetlemiştir.

Çizelge 2.2. Bina enerji performansını etkileyen parametreler (Özdemir, 2005)

BİNA PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELER	
İKLİME İLİŞKİN PARAMETRELER	BİNAYA İLİŞKİN PARAMETRELER
<u>DIŞ İKLİMSSEL DEĞİŞİKLİKLER</u> Güneş Işınımı Dış Hava Sıcaklığı Dış Hava Nemliliği Rüzgar <u>İÇ İKLİMSSEL DEĞİŞİKLİKLER</u> İç Hava Sıcaklığı İç Hava Nemi İç Hava Hareketi İç Yüzey Sıcaklığı	<u>BİNANIN BULUNDUĞU YER</u> <u>BİNANIN YÖNELİMİ</u> <u>DİĞER BİNALARA GÖRE KONUMU</u> <u>BİNA FORMU</u> <u>BİNA KABUĞUNUN ÖZELLİKLERİ</u> <u>GÜNEŞ KONTROLÜ</u> <u>DOĞAL HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ</u>

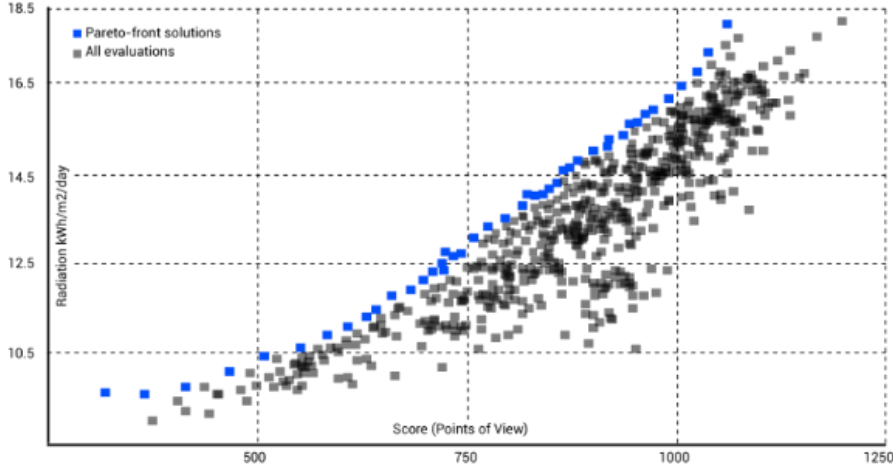
2008 yılından bu yana yapı sektöründe, binaların enerji performansı eniyilemesi problemlerine yönelik tasarım çözümleri elde etmek için, bina enerji performansı eniyileme araçlarına ve algoritma kullanımına olan ilgi giderek artmaktadır (Shan, 2016: XIII). Sayısal eniyileme metotları, bina enerji performans analizlerine adapte edilmesiyle birlikte oldukça popüler bir hale gelmiş ve bina formu, yapı kabuğu tasarımı, ısıtma, soğutma, havalandırma ve yenilenebilir enerji üretimi gibi çeşitli problemler üzerinde uygulanmaya başlanmıştır (Evins, 2013). Nguyen ve diğerleri (2014)'nin yaptığı, simülasyon tabanlı eniyileme yöntemlerinin bina performans analizlerine uygulanması konulu literatür taramasında, çeşitli eniyileme algoritmalarının kullanım sayıları şekil 2.17'deki gibi özetlenmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere, genetik algoritmalar, parçacık sürü eniyilemesi, hooke-jeeves ve melez algoritmalar gibi eniyileme algoritmaları, bina eniyileme problemlerinde sıklıkla kullanılan algoritmaların başında gelmektedir. Bu algoritmaların tercih edilmesinin sebebi, daha az simülasyon zamanıyla optimum çözümleri bulma da büyük bir potansiyele sahip olmalarıdır.



Şekil 2.17. Simülasyon tabanlı eniyileme yöntemlerinin bina performans analizlerine uygulanması ile alakalı olarak yapılan literatür taramasında eniyileme algoritmalarının kullanılma sayıları (Nguyen ve diğerleri, 2014)

Nguyen ve diğerleri (2014) çok amaçlı bina eniyileme problemleri için kullanılan en yaygın yöntemleri ise, skalerleştirme (*scalarization*) ve pareto eniyilik (*pareto optimality*) yaklaşımları olarak belirlemiştir. Skalerleştirmede her bir kritere farklı ağırlık faktörleri atanmakta ve amaç fonksiyonu kriterlerin ağırlıklı toplamı olmaktadır. Pareto eniyilik yaklaşımı ise, bir dizi optimum çözümün yani pareto-ön (*pareto-front*) setinin incelendiği

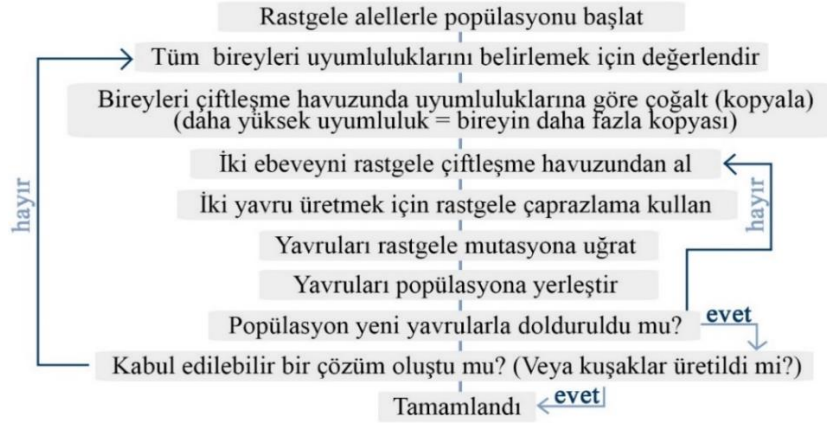
daha sonra uygun çözümlerin belirlendiği bir kavramdır. Bu yaklaşım çok amaçlı eniyileme veya pareto eniyilemesi olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.18’de bir örneği gösterilen pareto-ön optimum çözüm seti, herhangi bir problem için sonsuz sayıda pareto noktası ile oluşturulabilmektedir.



Şekil 2.18. Pareto-ön optimum çözüm seti (www.parametric.support)

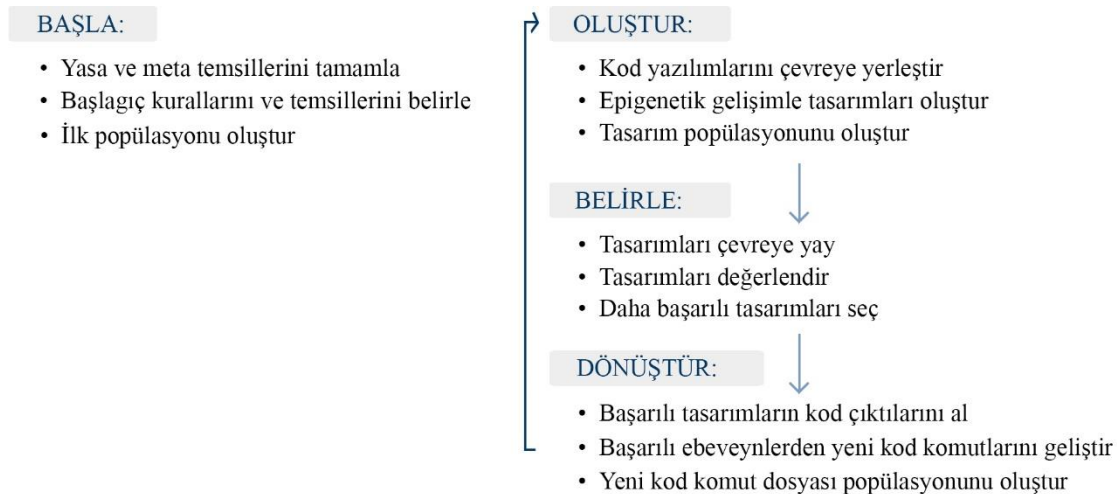
Evins (2013) ise, sürdürülebilir bina tasarımında hesaplamalı eniyileme yöntemlerinin kullanımına odaklandığı literatür taraması çalışmasında, çalışmaların %53’ünün tek amaçlı eniyileme, %8’inin çok amaçlı eniyilemede kullanılan ağırlıklı toplam yaklaşımı, %39’unun ise çok amaçlı eniyileme kullandığını aktarmış ve genetik algoritmanın en yaygın eniyileme algoritması olduğunu belirtmiştir.

Genetik algoritma John Holland tarafından 1970’li yıllarda ortaya atılmıştır. Frazer (1995: 78), genetik algoritmayı evrimsel mimarlığın en önemli bileşenlerinden biri olarak görmektedir. Ona göre genetik algoritma, Şekil 2.19’da da görülebileceği üzere, tekrarlama, seçim ve morfogenez ilkelerinin var olduğu bir yapay yaşam biçimidir ve hedefi yapılı çevreyi bu ilkelerle doğadaki gibi dengede tutabilmektir. Bilgisayar ortamında algoritma ve kodlar, canlıların yapısında bulunan genlerin görevini üstlenmektedir. Şekil 2.20’deki düzende ilerleyen sistemde yapay bir ortam oluşturulmakta ve doğal seçim süreciyle birlikte zengin alternatifler üretilmekte ve daha iyiler hayatta kalmaktadır. Genetik algoritma, öne çıkan evrimsel algoritmalar arasında yer almaktadır.



Şekil 2.19. Basit genetik algoritma (Bentley ve Corne, 2002: 12)

Evrimsel yöntemlerde tek bir çözüm ya da tek bir optimum çözüm bulunmamakta ancak sürekli olarak bir deney ortamı bulunmaktadır. Doğada alternatifler içinde daha az başarılı olan deneyler sürekli olarak ortadan kaldırılmayla karşı karşıyadır. En önemlisi doğa dünyadaki tüm zaman dilimlerinde var olmuştur. Tasarımcılar, doğal tasarım sürecindeki zaman ölçeğinde çalışmamaktadır. Bunun yerine tasarımcılar, mekanı sıkıştırmak ve gerçek prototiplere kendilerini teslim etmeden önce sanal prototipleme ve değerlendirme yapmak için bilgisayarı kullanabilmektedirler. Bu da, tasarımdaki evrimsel paradigmanın altında yatan varsayımdır (Frazer, 2002: 254). Genetik algoritmalar dışında, memetik algoritmalar (*memetic algorithms*), parçacık sürü eniyilemesi (*particle swarm optimization*), karınca kolonisi algoritmaları (*ant-colony algorithms*) ve kurbağa sıçrama algoritması (*frog leaping algorithms*) gibi algoritmalar evrimsel tabanlı eniyileme algoritmaları içerisinde yer almaktadır (Elbeltagi, Hegazy ve Grierson, 2005).



Şekil 2.20. Üretken evrimsel paradigma (Frazer, 2002: 256)

Genetik algoritma, bina enerji performansının eniyilenmesi için,

- Sürekli ve ayırık değişkenleri aynı anda idare edebilmesi,
- Çok işlemcili bilgisayarlarda paralel simülasyonlara izin vermesi,
- Çok amaçlı problemleri çözmek için uygunluğu,
- Süreksizliğin, çok modluluğun ve kısıtlanmış problemlerin idaresindeki güçlülüğü,
- Yüksek simülasyon başarısızlık oranlarına karşı dayanıklı olması gibi sebeplerle oldukça uygundur ve sıklıkla tercih edilmektedir (Nguyen ve diğerleri, 2014).

Parçacık sürü eniyilemesi (*particle swarm optimization*) yöntemi ise, bir kuş ya da balık sürüsünü taklit etmekte ve bu hareketi eniyilemeyi gerçekleştirmek için basitleştirmektedir. Tasarım alanındaki çözümlerin hareketleri, bireysel konumlarına ve sürü içindeki en iyi pozisyonlara dayanmaktadır. Doğrudan arama, türev içermeyen ya da kara kutu metodları olarak da bilinen örüntü aramanın (*pattern search*) öne çıkan örneği Hooke-Jeeves algoritmasıdır. Bu yöntem, her boyutta adımlarla, tek seferde bir teorik parametreye dayanan bir deneme yürütmektedir. Adımın büyüklüğü uygulanan boyutta daha fazla gelişme göstermediği sürece yarıya indirilmektedir. Bu süreç, adımlar yeterince küçük kabul edilinceye kadar devam etmektedir. örüntü arama süreksiz ve farklılaşan problemlerde uygulanabilmektedir (Shan, 2016: 12-13).

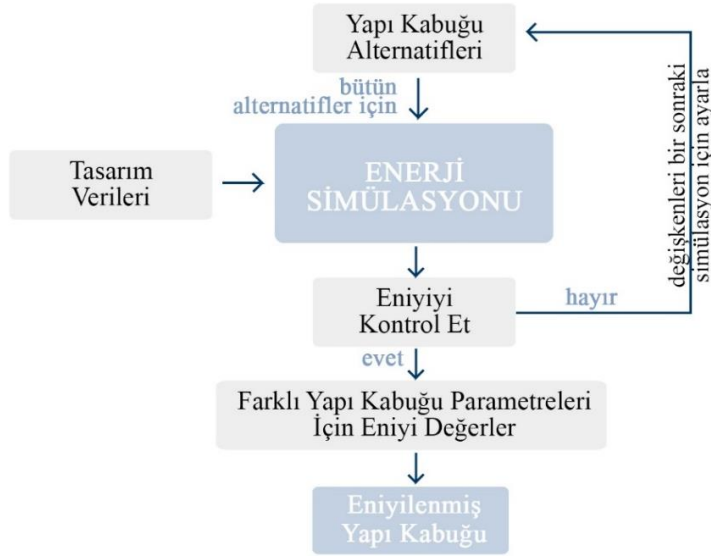
Yukarıda bahsedilen çeşitli algoritmaları kullanan ve binalarda enerji verimliliği, enerji tüketimi, ısıl konfor, aydınlatma, havalandırma ve iç mekan hava kalitesi, akustik gibi çeşitli performans parametrelerine odaklanan bina performans eniyileme araçları, Attia, Hamdy, O'Brien ve Carlucci (2013) tarafından bağımsız ve simülasyon tabanlı olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır. Bağımsız eniyileme araçlarına MATLAB Toolbox, GenOpt, ThermalOpt, Topgui, ParadisEO gibi yazılımları örnek veren Attia ve diğerleri (2013), simülasyon tabanlı eniyileme araçlarına ise TRNOpt, BeOpt, Opt-Plus, GENE_ARCH, ParaGen gibi örnekler vermiştir. Nguyen ve diğerleri (2014) ise, bina performans eniyilemesinde kullanılabilecek eniyileme programlarına, BeOpt, GENE_ARCH, GenOpt, jEPlus, MATLAB Toolbox, MultiOpt 2, Opt-E-Plus ParadisEO, TRNOpt yazılımlarını örnek göstermiştir. Çizelge 2.3'te farklı kaynakların değerlendirilmesi sonucu öne çıkan eniyileme araçlarının kıyaslaması gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Öne çıkan eniyileme araçlarının kıyaslaması (Attia ve diğerleri, 2013; www.buildingenergysoftwaretools.com; Han, Huang, Zhang ve Zhang, 2018)

Yazılım	Açık Kaynak	Eniyileme Bloku	Simülasyon Motoru	Açıklama
Grasshopper				
Honeybee Ladybug IEC Bear	Ücretsiz Deneme	Galaspagos/ Octopus	E+/OpenStudio Radiance/DAYSIM Viper/DIVA	Enerji, güneşliği ve diğer bina performanslarının eniyilemesini genetik algoritmaları kullanarak gerçekleştirir
Design Builder	Ücretsiz Deneme	Design Builder	E+/Radiance	Çok sayıda değişkeni eniyileyebilir ve iki amaç fonksiyonu altında <u>eniyi</u> kombinasyonu bulur
Opt-E-Plus	+	Opt-E-Plus	E+	Enerji kullanımı açısından en uygun bina tasarımını tanımlamak için çeşitli arama yöntemlerini kullanır, tasarım seçeneklerini en uygun enerji tasarrufu seçeneği ile karşılaştırma
GenOpt	+	GenOpt	E+/TRNSYS/ DOE-2 vd.	Profesyonel eniyileme yazılımı, yerel ve küresel eniyileme ve eş zamanlı simülasyon imkanı sunar
jEPlus	+	jEPlus	E+	jEES ile birlikte eniyilemeyi gerçekleştirir
BEOpt	+	BEOpt	DOE-2/TRNSYS	Bütün enerji tasarrufu stratejileri arasında en uygun maliyetli olanı bulabilir

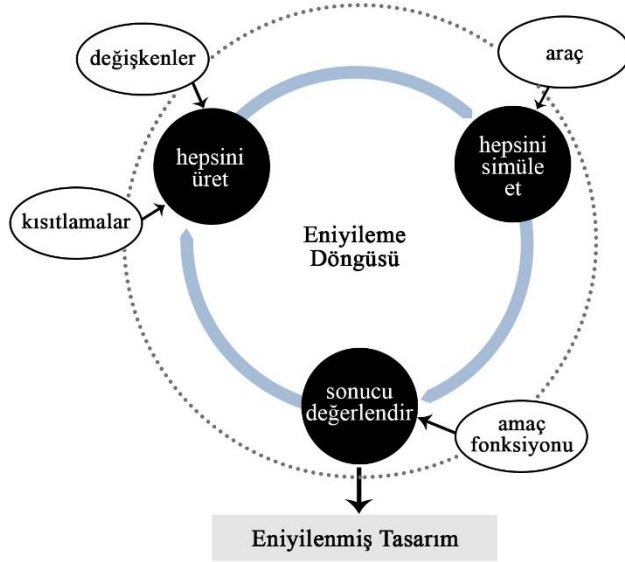
Bir bina için ideal koşulların sağlanması için tasarımda oluşan problemlerle baş etmenin en yaygın yollarından biri Şekil 2.21’de görülen, birden fazla tasarım alternatifinin birbiriyle karşılaştırmalı olarak hesaplanmasıdır. Bu tasarım alternatifleri, her seferinde yalnızca binanın performansını etkileyen belirli bir parametrenin değiştirilip diğer parametreler sabit tutulmasıyla elde edilmektedir. Böylece belirli bir değere ulaşmaya çalışılırken en ideal değer bulunmuş olmakta ve son olarak da analizlerle birlikte tasarımın yönü belirlenmektedir (Rahman, 2014: 30).

Bu problemlere yaklaşmanın başka bir yolu da, Şekil 2.22’de görülen eniyileme yöntemini analiz teknikleriyle birleştirip, tasarım çözüm alanının tamamı içerisinde en etkili sonuçlara ulaşmak için tanımlanan değişkenlerin en iyi kombinasyonunu üretecek olan ideal çözüme ulaşmaktır. Bilgisayar teknolojileri, çok boyutlu eniyileme tekniklerini kullanarak otomatik olarak ideal ya da ideale en yakın çözümleri üretip, değerlendirebilmektedir (Rahman, 2014: 31-32).



Şekil 2.21. Deneme ve hata araştırması (Rahman, 2014: 31)

Çalışmanın bir sonraki kısmında, bina enerji performansının eniyilenmesi konusunun güncel mimari tasarımlarda ve yapı kabuğu özelinde nasıl uygulamaya konulduğu çeşitli örneklerle incelenmiştir.

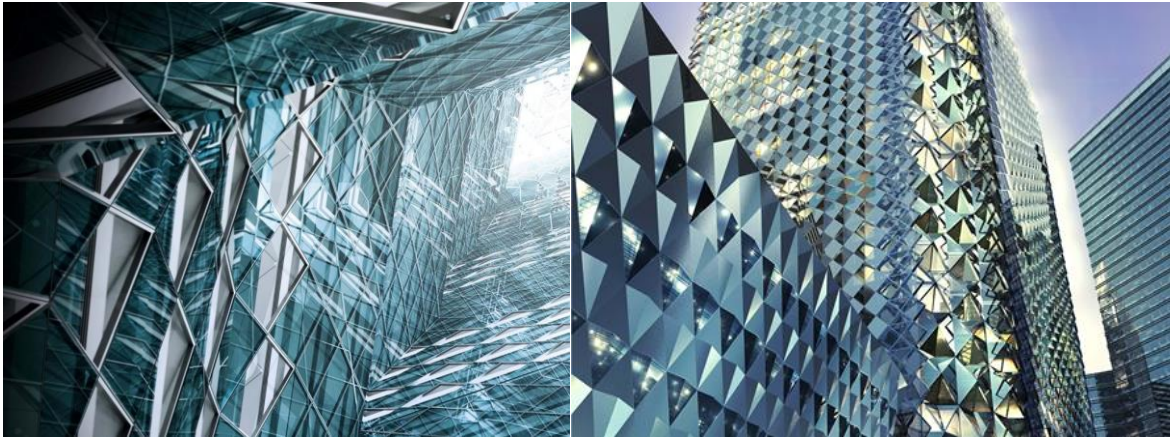


Şekil 2.22. Otomatik eniyileme (Rahman, 2014: 32)

Parametrik ve performans tabanlı tasarımın yapı kabuğunda kullanım örnekleri

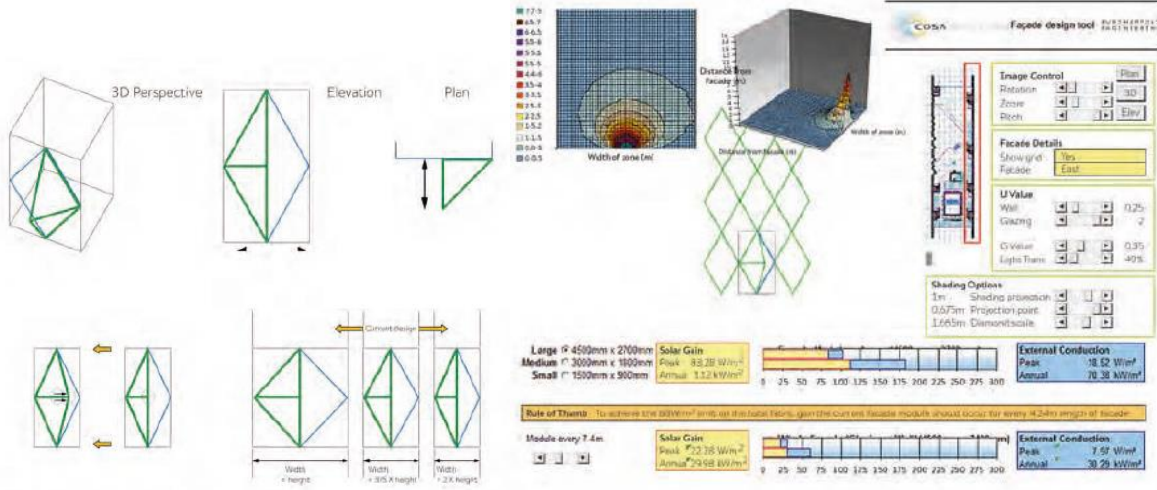
Foster+Partners tarafından tasarlanan, 2018’de inşası tamamlanan ve Riyad’da yer alan 40 katlı “Samba Headquarters” binası gerek yapısal gerekse de sürdürülebilirlik özellikleri bakımından oldukça yenilikçidir. Üç boyutlu kabuk tasarımı (Resim 2.7), binanın enerji ve bakım taleplerini azaltırken, çevresindeki diğer kulelerden farklı olarak kendine özgü bir varlık ortaya koymaktadır (www.fosterandpartners.com).

Binanın kabuğunu şekillendiren üçgen cam panellerin tasarımı, özellikle sıfır ve altındaki derecelerde geçen kış ve aşırı ve kuru sıcaklara aynı zamanda da zaman zaman şiddetli yağışlara sahip yaz iklimlerine sahip Riyad için etkili bir çözüm bulmak üzerine kurgulanmıştır. Tasarlanan panellerden her biri, opak gölgeleme elemanlarının ve yüksek performansa ve yansıtıcı özelliğe sahip iki farklı türde cam yüzeylerin birleşimiyle üretilmiştir (www.fosterandpartners.com).

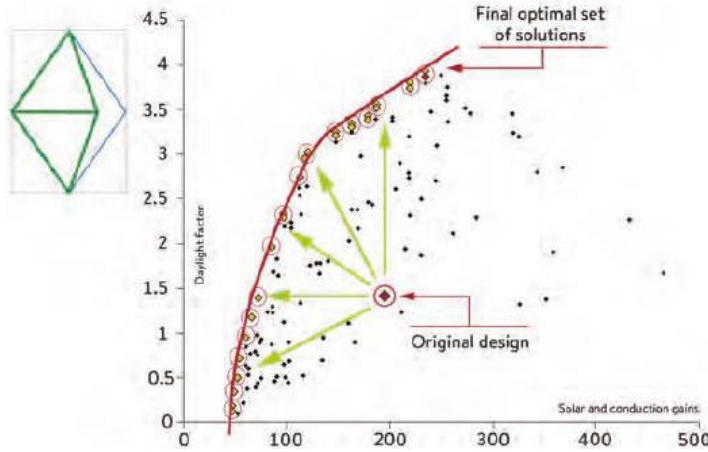


Resim 2.7. Samba Headquarters üç boyutlu kabuk tasarımı (www.fosterandpartners.com)

Tasarımda Burohappold tarafından geliştirilen parametrik bir kabuk tasarım aracı (Resim 2.8) kullanılmıştır. Geliştirilen aracın temel amacı güneşten en üst seviyede yararlanmak ve iletimsel olarak gerçekleşen kazançların kısıtlanarak binanın güneşine bağlı performans eniyilemesini gerçekleştirmektir (Peters, 2018: 140).



Resim 2.8. Eniyileme için kullanılan parametrik cephe tasarım aracı (Peters, 2018: 140)



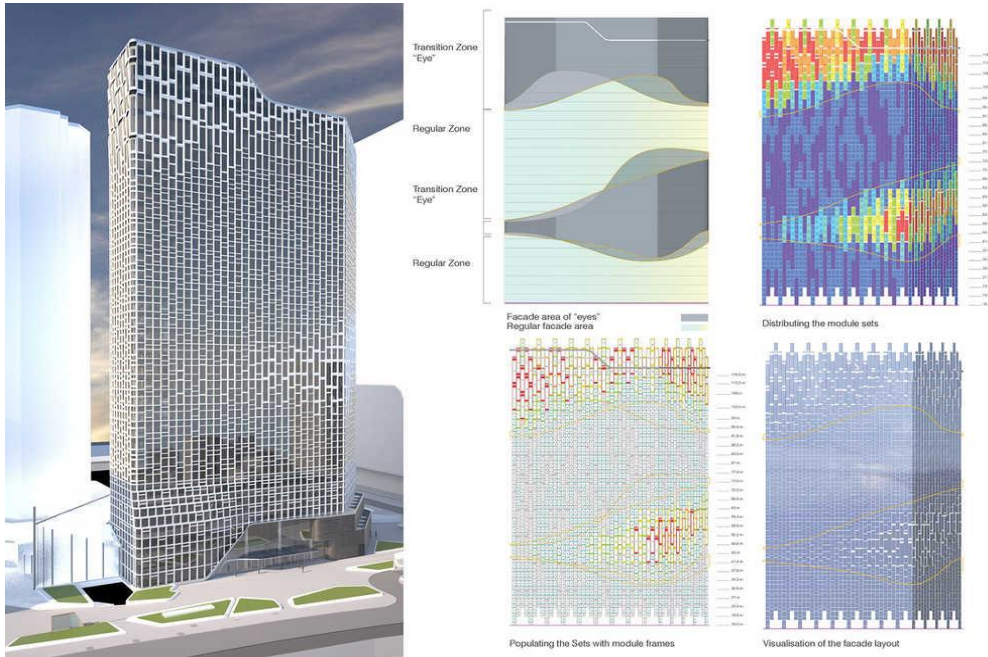
Resim 2.9. Samba Headquarters eniyilenmiş kabuk tasarımı çözümleri grafiği (Peters, 2018: 141)

UNStudio'nun 2013 yılında başlayan ve Seul'da yer alan, Hanwha Headquarters binasının (Resim 2.10) yeniden yapılandırma çalışması, özellikle yapı kabuğunun yeniden modellenmesiyle ön plana çıkmaktadır. Duyarlı bir kabuk tasarımı ile sonuçlanan proje; dış ve iç program, iç mekan iklimi ve çevresel etmenler gibi temel parametrelere öncelik veren ve onları bütünleştiren bir konseptte sahiptir (www.unstudio.com).

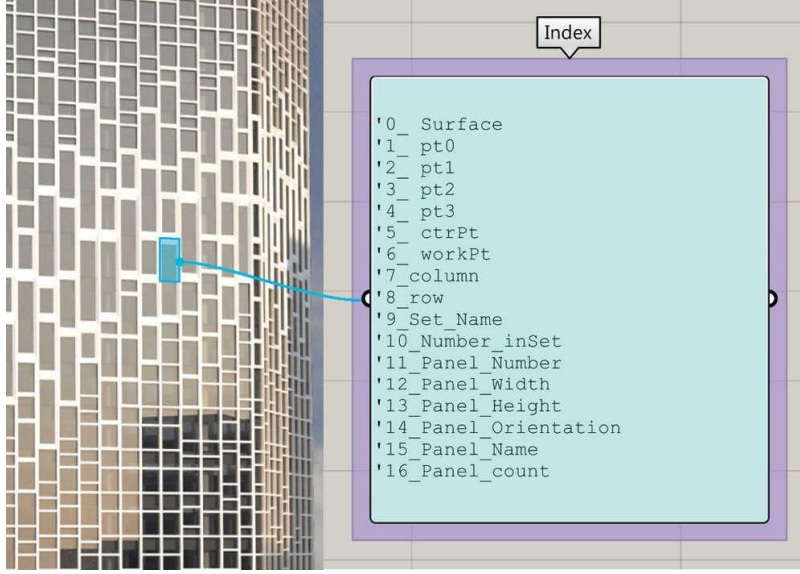


Resim 2.10. Hanwha Headquarters binasının yeniden modellenmesi (www.unstudio.com).

Kabuğun yukarıda bahsedilen parametrelere yönelik olarak eniyilemesinin yapılabilmesi için bir model oluşturulmuş (Resim 2.11) ve parametrik tasarım aracılığıyla, tasarım sürecine katılan tüm taraflara veriler aktarılmıştır. Üretilen modelin her birimi, binanın geometrisiyle bağlantılı, kabuktaki konum, özel numara, yönelim, isim ve basit geometrik bilgiler gibi bir dizi anahtar veriyi (Resim 2.12) taşımaktadır (www.unstudio.com).



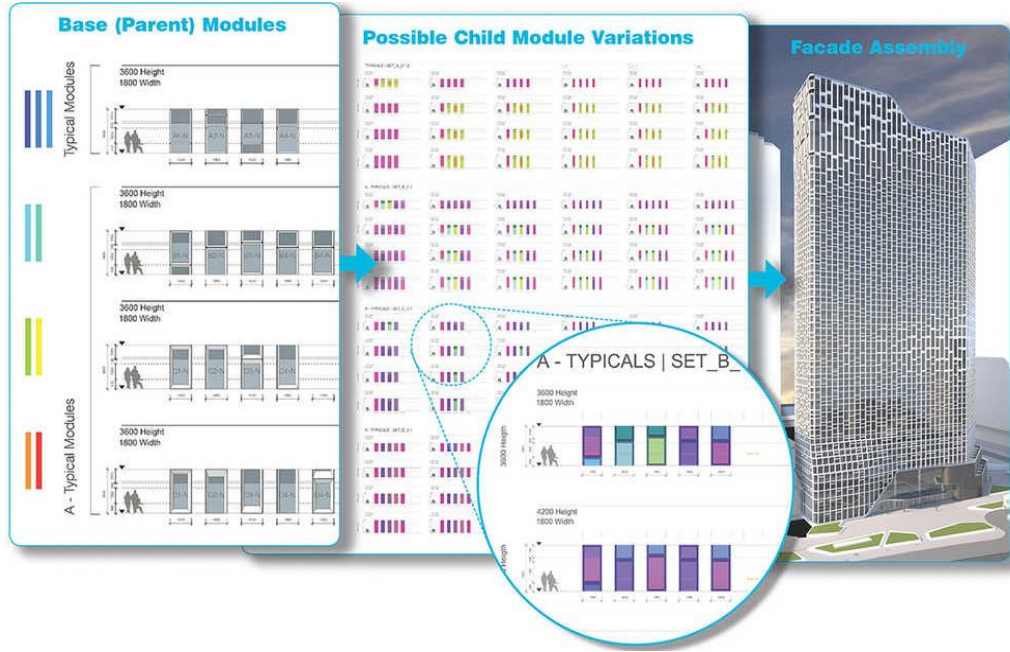
Resim 2.11. Tasarım modelin oluşturulması (www.unstudio.com)



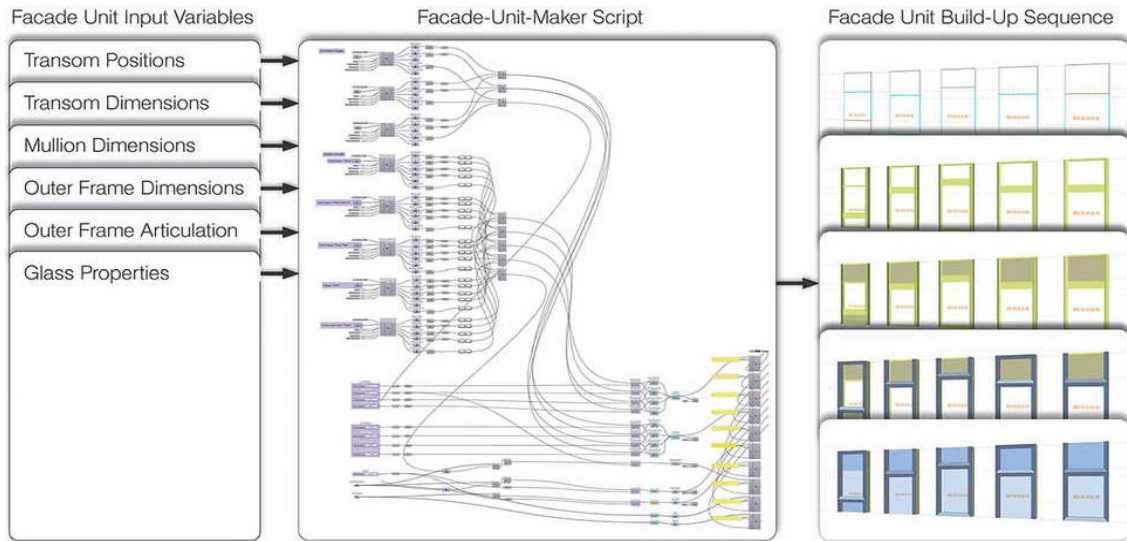
Resim 2.12. Geometriye bağlanmış veriler (www.unstudio.com)

Kabuk için tasarlanan modüller, her bir cephenin farklı yönler olan yöneliminden dolayı ortaya çıkacak çevresel etkilere karşı, değişik şekillerde yerleştirilerek farklı açıklıkların oluşumunu sağlamaktadır. Örneğin, binanın kuzeye yönelen cephesi güneşliğinden daha fazla yararlanılacak şekilde tasarlanırken, güneye yönelen cephesi ise güneşliğinin fazla ısı yükü oluşturması gibi olumsuz etkilerini kırmak için daha opak bir hale getirilmiştir. Cephedeki açıklıklar dış görüşle de yakından ilgilidir. Örneğin, görüşün mümkün olduğu yerlerde açıklıklar artarken, bitişik binalarla yüz yüze geldiği kısımlarda cephe daha kompakt hale gelmektedir. Cephenin geometrisi, kullanıcı konforunu sağlamak ve enerji tüketimini azaltmak için, güneş ve binanın yönelimi ile tanımlanmıştır. Binanın belirli noktalarında camlar açılı yerleştirilerek gölgeleme sağlanırken, başka noktalarda ise doğrudan güneşliği elde edilmesi için camlar açılı bir şekilde yerleştirilmiştir (www.unstudio.com).

Cephelere yerleştirilen modüllerin %80'i ana modüllerden oluşmaktadır ve geriye kalan %20'lik dilim ise ana modüllerin farklılaştırılmasıyla elde edilmiştir. Resim 2.13'te ana ve alt modüllerin üretimi gösterilmektedir. Var olan parametrelerin üzerinden yapılan küçük değişikliklerle bile çok sayıda modül varyasyonu ortaya çıktığı için, bir 'birim-yapma aracı' (Resim 2.14) geliştirilmiş ve modül varyasyonlarının otomatik üretimi sağlanmıştır (www.unstudio.com).



Resim 2.13. Ana ve alt modüller (www.unstudio.com)



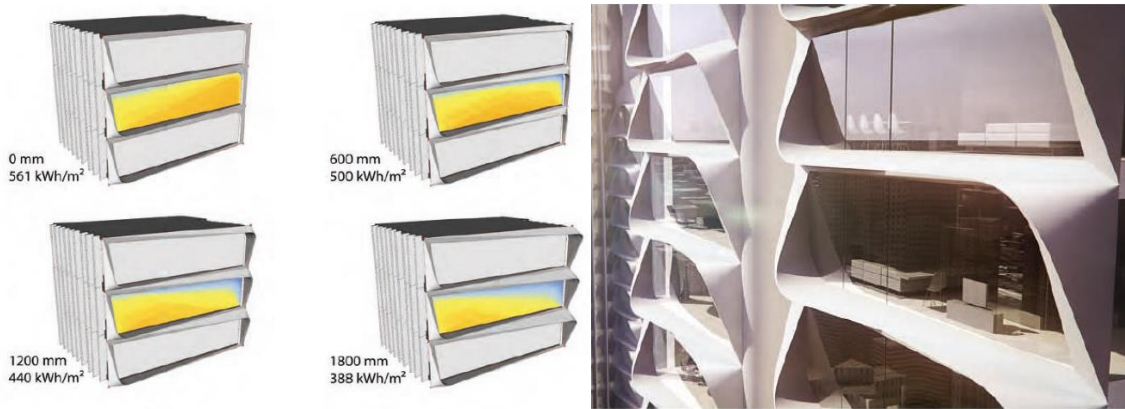
Resim 2.14. Birim-yapma aracı (www.unstudio.com)

Bombay’de yer alan Grove Towers, 3XN firması tarafından 2013 yılında, karma kullanımlı bir baza ve iki kuleden oluşan (Resim 2.15) bir yarışma projesi olarak tasarlanmıştır. Kuleler kendi kendilerini gölgelendirecek ve Bombay’da bulunan diğer tipik binalardaki iç mekanlara göre daha düşük enerji talebi sağlayacak şekilde bir heykel gibi yontulmuştur.



Resim 2.15. Grove Towers (www.archello.com)

Grove Towers'ın çevresel performansı çeşitli parametrelerle birlikte analiz edilmiş ve ortaya çıkan verilerle birlikte kütlelerin formu günışığından en üst seviyede yarar sağlanacak şekilde eniyilenmiştir. Aynı zamanda kütlelerde oluşturulan çok sayıda köşe ile birlikte doğal çapraz havalandırma imkanı sağlanmış ve mekanik havalandırmaya olan ihtiyaç azaltılmıştır (www.archello.com). Yapı kabuğu şekillendirilirken dış görüş engellenmeyecek ve güneş ışınlarının doğrudan iç mekanlara girmesi engellenecek şekilde, her bir pencere farklı boyutlarda ve açıklıklarda oluşturulmuştur (Resim 2.16). Uygulamaya konulan simülasyon tabanlı parametrik tasarım süreci, birçok tasarım varyasyonu elde etmeye ve bu sayede performans eniyilemesinin gerçekleştirilmesine imkan sağlamıştır (Peters, 2018a: 133).

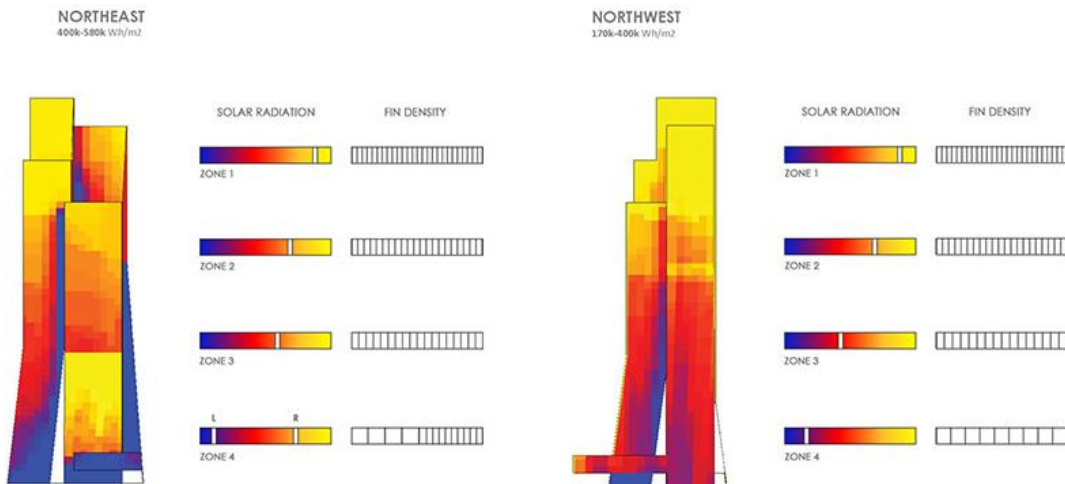


Resim 2.16. Güneş ışığı ve enerji bağlamında Grove Towers cephe eniyilemesi (Peters, 2018a: 132-133)

Endonezya'nın başkenti Cakarta'da yer alan Sequis Tower projesi (Resim 2.17) KPF firması tarafından, tipik Cakarta ofis kulelerinin yeniden yorumlanmasıyla tasarlanmıştır. Kulenin kütlesi ve biçimi, bağlamsal analize ve enerji verimliliğine olan odaklanmayla birlikte, yerel Banyan ağacından ilham alınarak şekillendirilmiştir. Endonezya'daki ilk LEED Platinum sertifikasına sahip olan bina, çeşitli sürdürülebilir tasarım stratejilerini yapısına entegre etmektedir. Kulenin giydirme cephesindeki kanatlar ve panellerin düzeni, güneş ışınımının bina üzerindeki etkisini (Resim 2.18) eniyilemek üzere kurgulanmıştır (www.kpf.com).

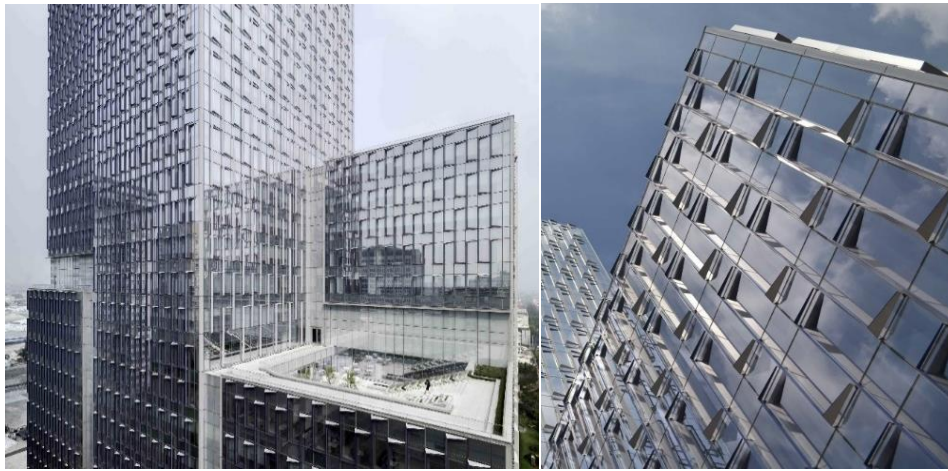


Resim 2.17. Sequis Tower projesi (www.designboom.com/)

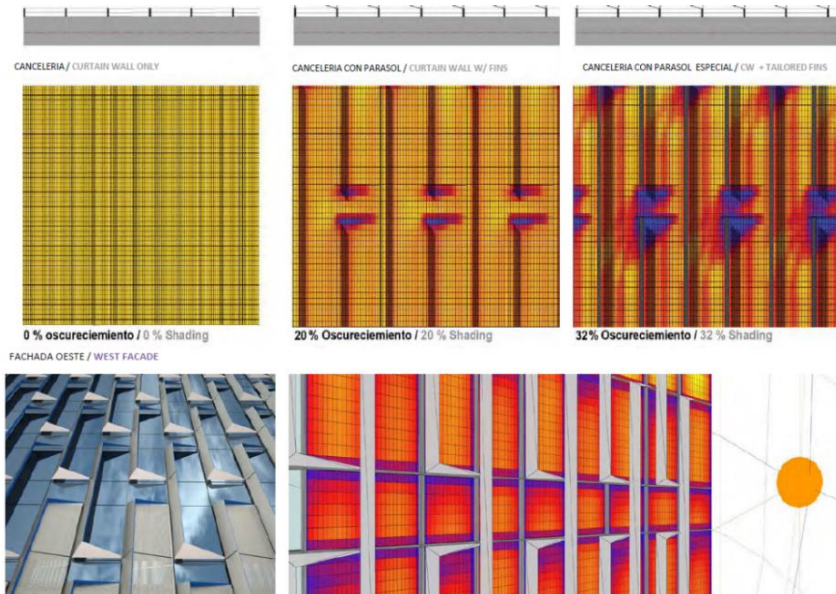


Resim 2.18. Sequis Tower güneş ışınlımı analizleri (www.designboom.com/)

Meksika City’de yer alan BBVA Bancomer Operations Center (Resim 2.19), SOM tarafından kazanılan bir mimari proje yarışması neticesinde inşa edilmiştir. Proje, yoğun bir kentsel ortamda planlı bir gelişim çalışmasının bir parçasıdır. Binanın canlı tektonik formu, bir ölçek algısı ve görsel dinamizm oluşturmaktadır. Proje, bina verimliliğini eniyilemekte ve sağlıklı bir iç mekan ortamı sağlamaktadır. Parametrik ve simülasyonlara dayalı olarak oluşturulan ve cam cepheyi saran ekran tasarımı, güneş ısı kazancını azaltırken, görüş alanını en üst seviyeye çıkarmak ve günışığını filtrelemek için güneşin açısına göre ayarlanan dikey panjurlardan (Resim 2.20) oluşmaktadır (www.som.com).



Resim 2.19. BBVA Bancomer Operations Center (www.theplan.it)



Resim 2.20. BBVA Bancomer Operations Center güneş odaklı yapı kabuğu eniyilemesi (www.som.com)

3. MATERYAL VE METOT

Tezin bu bölümünde öncelikle, literatür taramasıyla elde edilen bulgular değerlendirilmiş. Daha sonra bulguların değerlendirilmesiyle kurgulanan alan çalışması için oluşturulan materyal ve metot sunulmuştur.

Günümüzde hız kazanan enerji tüketimindeki artış ve buna bağlı olarak gelişen çevresel tahribatlar, küresel enerji tüketiminde oldukça büyük bir paya sahip olan yapı sektörünü enerji etkin yapıların tasarımına doğru yönlendirmiştir. Binaların erken tasarım aşamalarında verilen tasarım kararları, binanın günışığı ve enerji performansını büyük ölçüde etkilemekte ve ileride çıkabilecek sorunlara karşı çeşitli önlemler alabilmeyi mümkün kılmaktadır. Ortaya konulan bu kararlar ile birlikte yapılarda enerji korunumu üst seviyelere taşınmakta ve böylelikle belirlenen enerji hedeflerine katkı sağlanmaktadır.

Yapı kabuğu, enerji etkinlik açısından yapıların değerlendirilmesinde, iç ve dış ortam arasında bir bariyer görevi görmesiyle yapıyı oluşturan en önemli bileşenlerden biri olarak ön plana çıkmaktadır. Yapı kabuğunun yapı kullanıcılarına sunduğu konfor koşullarıyla enerji tüketimi arasında kuvvetli bir etkileşim bulunmaktadır. Geliştirilmiş bir yapı kabuğu tasarımının yapıların enerji tüketimini azalttığı ve iç ortam konfor koşullarını artırdığı çeşitli çalışmalarla birlikte ortaya konulmuştur. Geliştirilmiş bir yapı kabuğu tasarımı için, tasarımı etkileyen parametrelerin değerlendirilmesi ve tasarımın elde edilen sonuçlar neticesinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Binalarda enerji tüketimine katkı sağlayan ısıtma, soğutma, aydınlatma gibi belirli yükler, temelde doğrudan güneş enerjisi ile ilgilidir. Tasarımında doğal günışığından doğru bir şekilde yararlanma hem sürdürülebilir çözümleri desteklemekte hem de enerji maliyetlerini alt seviyelere çekmektedir. Başarılı bir günışığı tasarımı aynı zamanda günışığı kalitesi, görsel konfor, ısı konfor gibi durumların dengesini sağlayarak, kullanıcılar üzerinde fizyolojik ve psikolojik olarak olumlu sonuçlar ortaya koymaktadır.

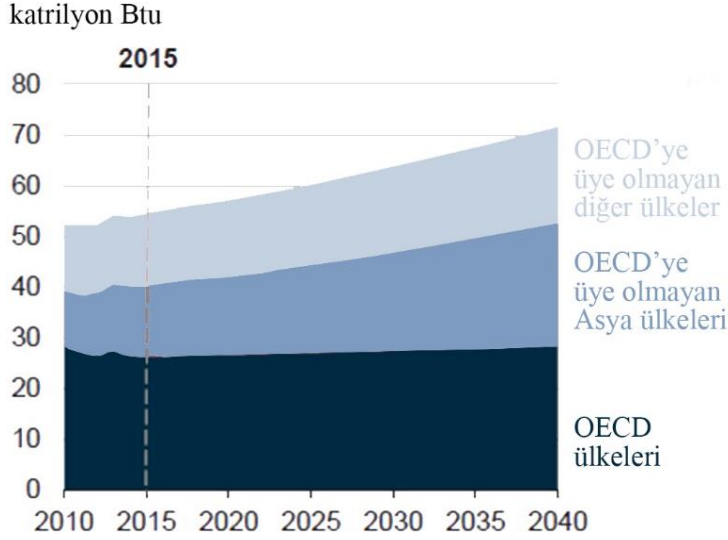
Bilgisayara dayalı tasarıma geçişle beraber mimari tasarımdaki bilgi birikimi gelişmiştir. Günümüzde, hesaplamalı tasarım dönemiyle birlikte, çeşitli tasarım araçları kullanılarak, daha iyi performansa sahip binalar tasarlamak mümkündür. Geliştirilen tasarım araçları

belirlenen performans hedeflerini gerçekleştirebilmek için dijital tabanlı işlem gücü ve çeşitli algoritmalarından yararlanmaktadır. Performansa dayalı mimari kavramı, çok yönlü neden-sonuç ilişkilerinin dikkate alınmasını ve çok seviyeli etkileşimlere izin vermeyi gerektirmektedir. Parametrik tasarım araçları ve eniyileme yöntemleri, tasarım alternatiflerini değerlendirerek ve bunlar arasından elde edilebilecek optimum çözümleri tasarıma entegre ederek daha yüksek performansa sahip bina tasarımlarını desteklemektedir.

Rhinoceros programı ve Grasshopper yazılımının birlikte kullanımı en çok tercih edilen parametrik tasarım araçları içerisinde yer almaktadır. Ladybug ve Honeybee, Grasshopper'ın enerji ve güneş ışığı modelleme eklentileridir ve geliştirilen enerji ve güneş ışığı modelleri EnergyPlus ve Radiance/Daysim motorlarında simüle edilmektedir. Galapagos ve Octopus eklentileri ise Grasshopper'daki evrimsel algoritmalara dayalı eniyileme araçlarıdır.

Elde edilen bütün bulguların değerlendirilmesi sonucunda bu tez çalışmasında, yapı kabuklarının güneş ışığı ve enerji bağlamında eniyilenmesi üzerine bir alan çalışması yapılması planlanmıştır. Bu çalışma yapılırken, Rhino programının kullanılması ve Grasshopper yazılımı ve eklentileri ile birlikte çeşitli analizler doğrultusunda bir eniyileme işleminin yapılması kararlaştırılmıştır.

Dünya genelinde enerji istatistikleri incelendiğinde, yapı sektöründen kaynaklı enerji tüketimi içerisinde konutlar yaklaşık %19'luk bir dilimi oluşturmaktadır (Halıcı, Güngören, Öztürk, Atan ve Kasımoğlu, 2012). Artan dünya nüfusu ile birlikte barınma ihtiyacı da aynı oranda artmakta ve bunu karşılamak için yeni yerleşim yerleri planlanmakta, yeni konutlar inşa edilmekte ve mevcut kentler sürekli büyüme göstermektedir. Buna bağlı olarak da enerji tüketimi sürekli olarak artmaktadır. OECD sınıflamasına göre ayrılan ülkelerin konut sektöründeki enerji tüketim miktarlarının yıllar içerisindeki değişimini gösteren Şekil 3.1'de de görülebileceği üzere konutlarda enerji tüketim miktarı düzenli olarak artış göstermektedir.

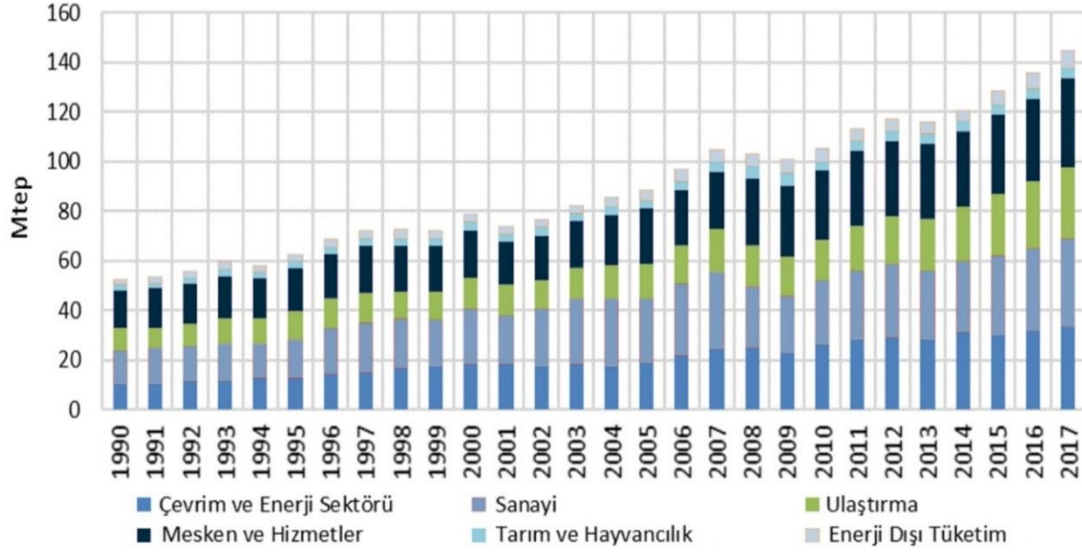


Şekil 3.1. OECD sınıflamasına göre ayrılan ülkelerin konut sektöründeki enerji tüketim miktarları (Energy, 2017)

Isıtma ve soğutma enerjisi konutlarda, enerji tüketiminin en önemli parçalarını oluşturmaktadırlar. Kullanıcılar konforlu bir iç ısı ortamına ihtiyaç duymakta, ancak dış iklim koşullarına ve mevsimsel geçişlere göre bunun kontrolü zorlaşmakta ve ideal ısı konfor koşullarını korumak için de ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri artmaktadır (Wang, 2013). Bu nedenle, konutlardaki enerji tüketiminin azaltılabilmesi için iç ve dış ortamın dengesinin doğru bir şekilde kurulması ve tasarımların buna göre şekillenmesi gerekmektedir.

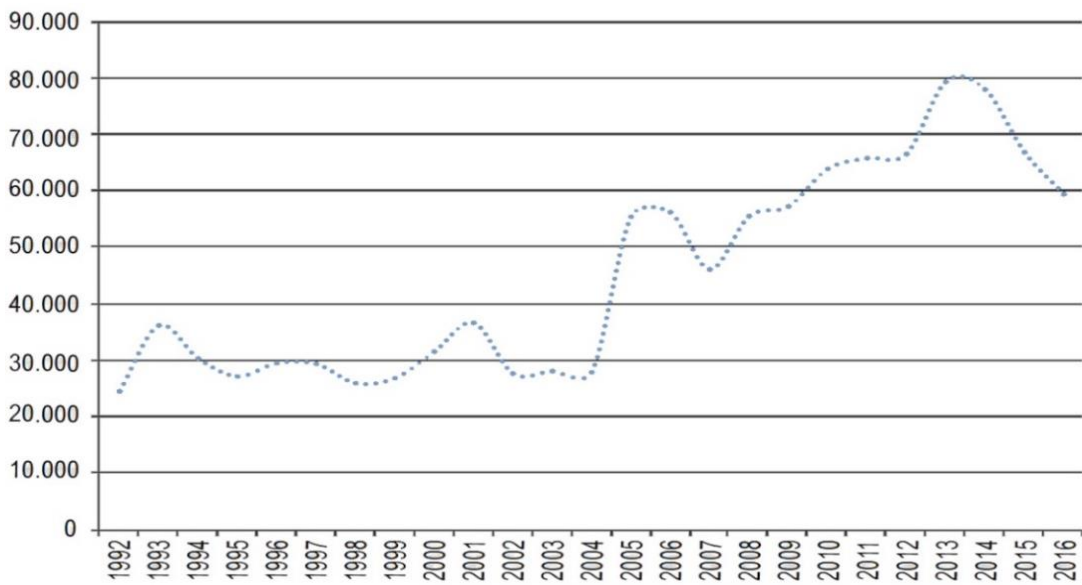
Türkiye'deki enerji istatistiklerine bakıldığında, konutların ülkemizdeki enerji tüketimi içerisindeki payının yaklaşık %30'luk bir oranı oluşturduğu görülmektedir (www1.mmo.org.tr). Şekil 3.2'de Türkiye'de sektörlere göre enerji tüketimi oranlarının dağılımı gösterilmektedir.

Türkiye'de inşaat sektöründe 2000'li yıllarda verilen yapı izinleri incelendiğinde, verilen izinlerin %80'inin konut yapılarına yönelik olduğu görülmektedir. Türkiye'de konut binaları enerji ve kaynak tüketimini azaltmada giderek önem kazanmakta ve bu alana olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Türkiye'de yer alan konutlardaki enerji tüketiminin %80'lik dilimi ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinden kaynaklanmaktadır (Kazanasmaz, Uygun, Akkurt, Turhan ve Ekmen, 2014).

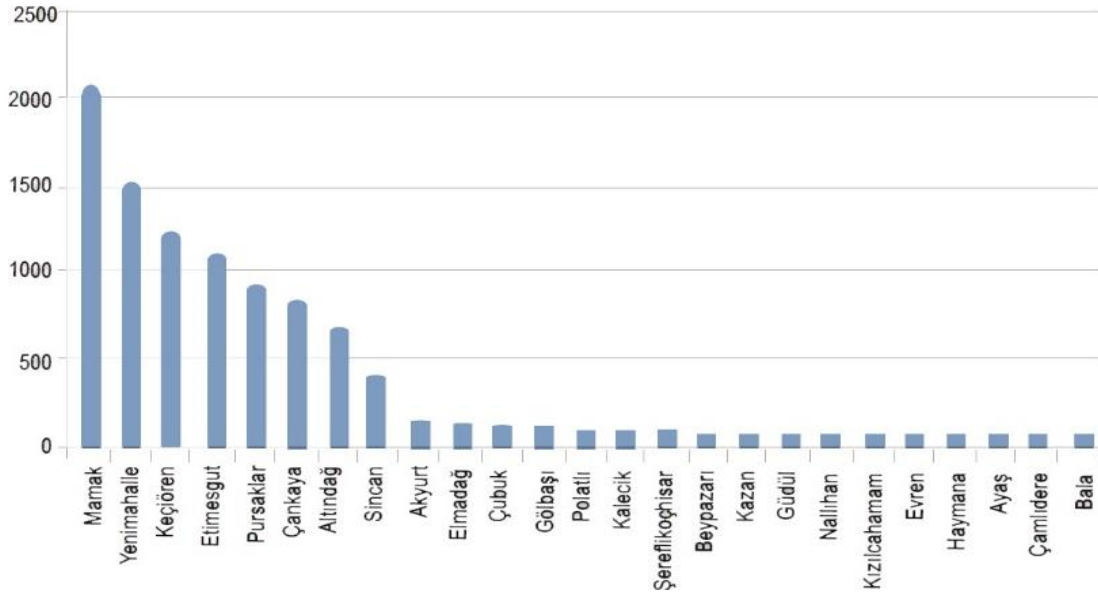


Şekil 3.2. Türkiye’de sektöre göre enerji tüketimi (www.cevreselgostergeler.csb.gov.tr)

Binalarda enerji tüketimine yönelik olarak yapılan bu genel değerlendirmeden sonra, alan çalışmasında konut yapıları üzerinde çalışmaya karar verilmiş ve çalışma alanı olarak Ankara ili seçilmiştir. Şekil 3.3’teki grafik incelendiğinde, Ankara’daki yeni yapılan konut sayılarının 2000’li yıllarda genel olarak sürekli artış gösterdiği görülmektedir. Ankara’nın nüfus yoğunluğu incelendiğinde ise ilçelere göre nüfus yoğunluğunun gösterildiği Şekil 3.4’te görülebileceği üzere en yoğun ilçe Mamak olurken, ikinci sıradaki ilçe ise Yenimahalle olmuştur.

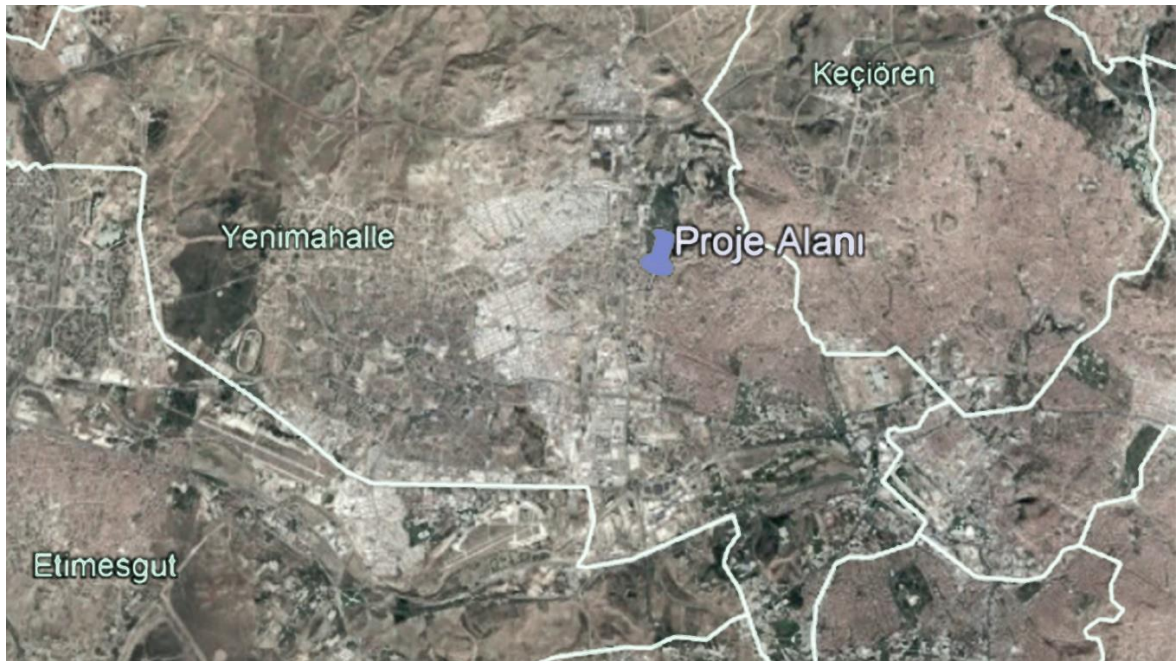


Şekil 3.3. TÜİK verilerine göre hazırlanmış Ankara’da yıllara göre yeni yapılan konut sayıları (www.ankaraka.org.tr)



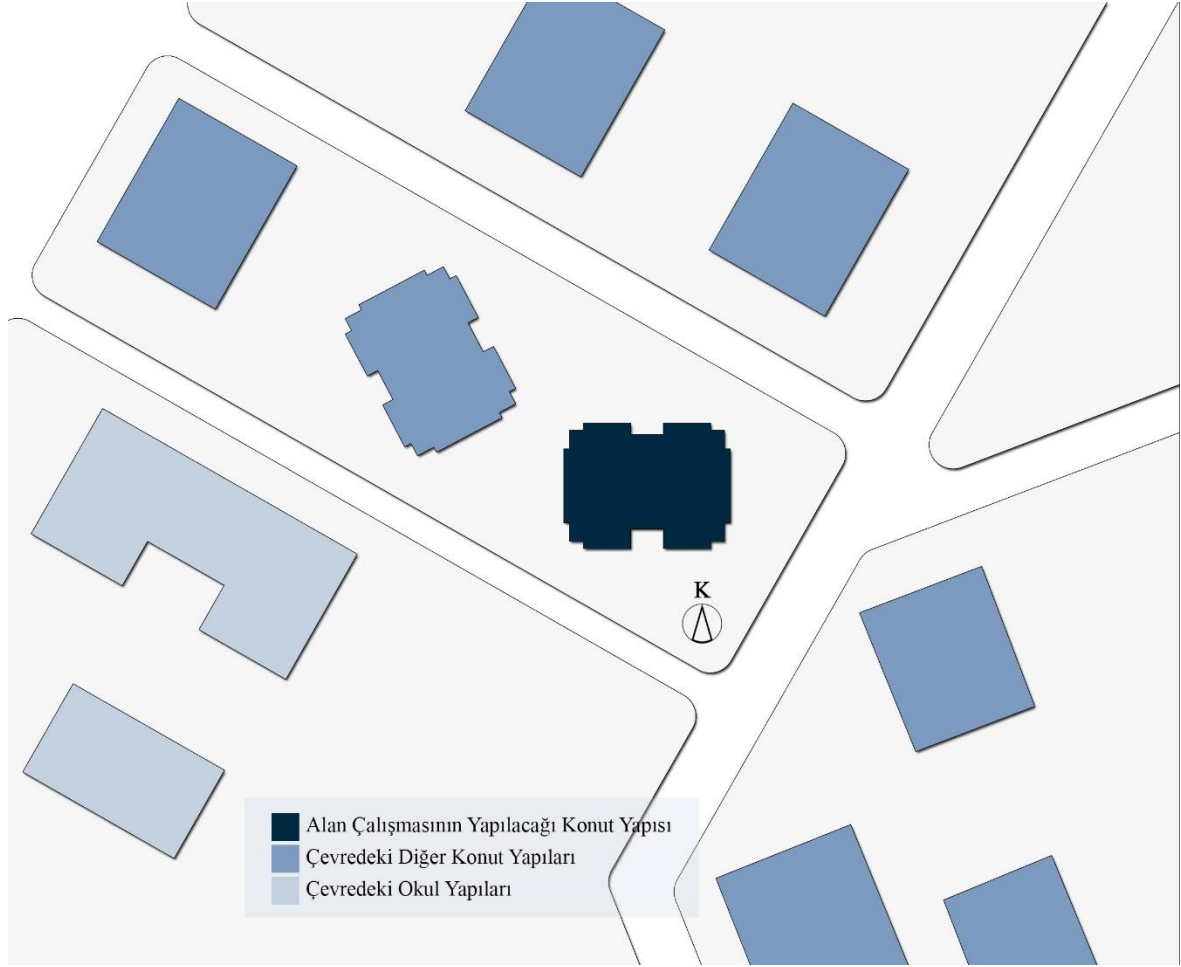
Şekil 3.4. Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi (ADNKS) sonuçlarına göre hazırlanan 2016 yılına ait Ankara ilçelerinin nüfus yoğunluğu (www.ankaraka.org.tr)

Bu tez kapsamında yapılacak olan alan çalışması için Ankara'nın en yaygın konut tipolojisi olan "apartman" seçilmiş ve Yenimahalle ilçesinde, Harita 3.1'de gösterilen alanda yer alan bir konut yapısı belirlenmiş ve bu yapı üzerinden çalışmalar ilerletilmiştir.



Harita 3.1. Proje alanı (www.google.com/maps)

Şekil 3.5'te görselleştirildiği üzere, seçilen konut yapısının, yakın çevresine bakıldığında başka konut yapıları ve az sayıda okul yapısıyla çevrelendiği gözükmemektedir.



Şekil 3.5. Alan çalışmasının yapılacağı konut yapısı ve yakın çevresi

Seçilen konut yapısı toplamda zemin+altı kattan oluşmakta ve Şekil 3.6’da da görülebileceği üzere, her bir katta birbirinin simetriği olan dörder daire bulunmaktadır. Yapının kütlesi incelendiğinde, genel olarak Kuzey-Güney yönünde bir yerleşime sahip olduğu görülmektedir.

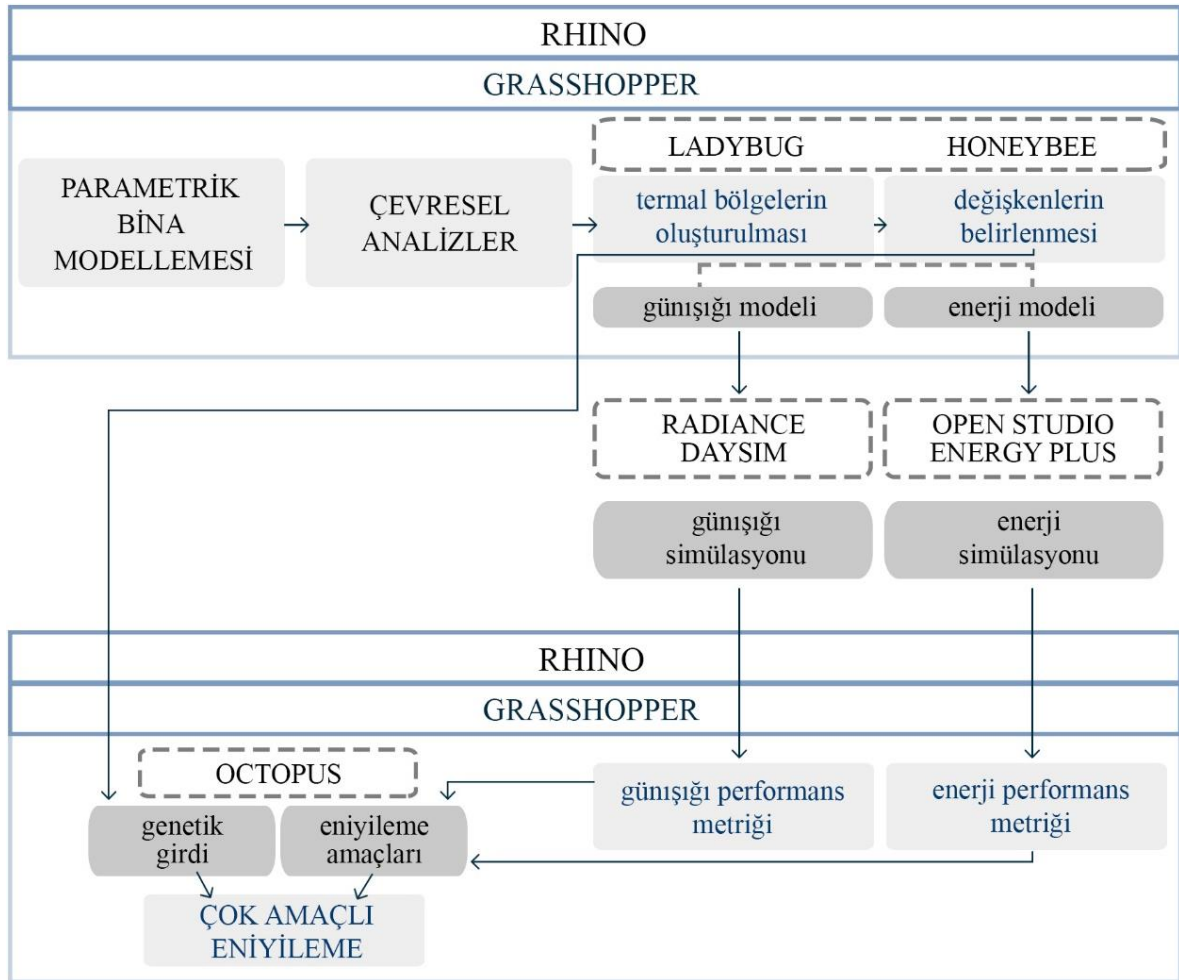
Katta bulunan her bir daire; mutfak, salon, oturma odası, üç adet yatak odası, antre, gece holü ve üç adet ıslak hacimden oluşmaktadır. Mutfak, salon, oturma odası ve yatak odaları doğrudan cephe alan mekanlardır.



Şekil 3.6. Seçilen konut yapısının kat planı

Güneş ışığı ve enerji bağlamında eniyilemeye yönelik olarak gerçekleştirilecek alan çalışmasında, Şekil 3.7’de görselleştirilen yöntemin uygulanması planlanmıştır. Buradaki amaç seçilen yapıyı, parametrik modelleme kullanımı ile gerçekleştirilen simülasyon analizleri ve algoritmalara dayalı olarak yapılan eniyileme işlemi doğrultusunda daha az enerji tüketimine ve daha verimli bir güneş ışığı performansına sahip bir yapıya dönüştürmektir. Belirlenen amaçlar için yapının bileşenlerinden yapı kabuğuna odaklanılacak ve çeşitli girdilerle birlikte parametrik tabanlı bir model kurulumu gerçekleştirilecektir. Parametrik model kurulumu için Rhino programı ve Grasshopper yazılımı birlikte kullanılacak, daha sonra Grasshopper yazılımının eklentileri olan Ladybug ve Honeybee eklentileri ile birlikte çeşitli analizler yapılacaktır. Enerji ve güneş ışığı simülasyonları için Grasshopper yazılımı üzerinden EnergyPlus ve Radiance/Daysim simülasyon motorları kullanılacak ve oluşturulan simülasyon modelleri sonucunda elde edilen güneş ışığı ve enerji performans metrikleri eniyileme sürecindeki amaç girdilerini oluşturacaktır. Eniyileme işleminin yapılabilmesi için ise Grasshopper yazılımının bir başka eklentisi olan ve çok amaçlı eniyilemede sıklıkla kullanılan Octopus eklentisi

kullanılacaktır. Bu çalışmada genel olarak Toutou, Fikry ve Mohamed (2018)'in “Sıcak ve kurak iklim bölgelerinde yer alan konutlarda güneşli ve enerji performansına yönelik parametrik tabanlı eniyileme çerçevesi” adlı çalışmalarında sıcak kuru iklim bölgesinde yer alan bir konut yapısı üzerinde uyguladıkları modelleme ve analiz yöntemleri izlenecek ve Şekil 3.7’de yer alan metot ile birlikte Ankara’da seçilen konut yapısı üzerinde uygulanacaktır.



Şekil 3.7. Alan çalışmasına yönelik hazırlanan metod şeması

Eniyileme işleminde değerlendirilecek performans metrikleri;

- Enerji performansı bağlamında, kWh/m² cinsinden yıllık enerji kullanım yoğunluğu (EUI),

- Günüşığı değerdendirilmesi bağlamında ise, litaretür taramasında daha önce bahsedildiğı üzere LEED sertifika sisteminin de önerdiği değerdolan, sDA 300/%50 mekansal günüşığı otonomi değeri olarak belirlenmiştir.

Alan çalışması sırasında yapılan ışıının analizi ile birlikte, yapı kabuğundaki en yoğun ışıının Güney-Batı yönünde olduğu tespit edilmiş, apartman yapısındaki dairelerin birbirinin aynı plana sahip olması ve simülasyon süresinin kısaltılmak istenmesinden dolayı, belirlenen metot dördüncü katta yer alan ve en fazla ışıının gerçekleştiğı Güney-Batı yönünde konumlandırılan bir daire üzerinde uygulanmıştır.

4. ALAN ÇALIŞMASI

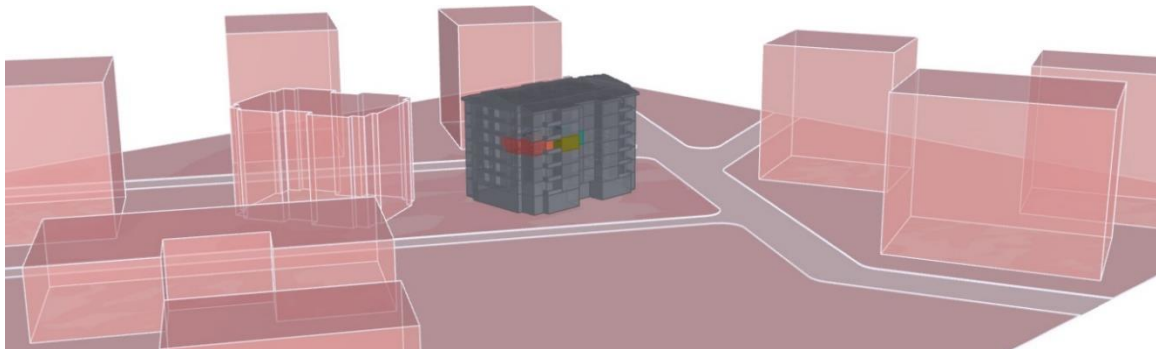
Bu bölümde, tezin bir önceki bölümünde tanıtılan konut yapısının, yapı kabuğunun günışığı ve enerji bağlamında eniyilenmesine yönelik olarak yürütülen metot kapsamında nasıl ele alındığı ve modellemeden eniyileme aşamasına kadar nasıl bir süreç yürütüldüğü aktarılmıştır.

Öncelikle alan çalışmasına yönelik genel bilgilere ve iklimsel analizlere yer veren bölüm, sırasıyla konutun mevcut durum analizlerini, enerji ve günışığı simülasyonuna yönelik olarak gerçekleştirilen parametrik modellemeyi ve eniyileme aşamasını içermektedir.

4.1. Genel Bilgiler ve İklimsel Analizler

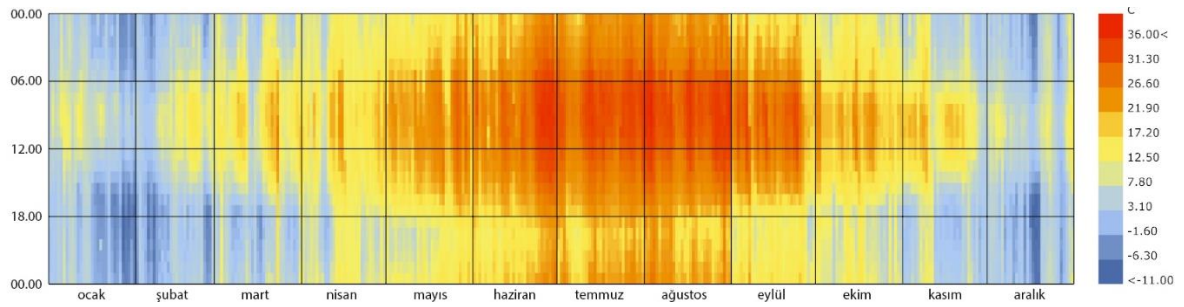
Ankara ilinin Yenimahalle ilçesinde yer alan konut yapısı üzerinde uygulanacak olan günışığı ve enerji bağlamında eniyilemenin temel parametreleri olarak camların yapı kabuğundaki oranı, gölgeleme elemanları, duvar tipleri ve cam tipleri belirlenmiştir. Çok amaçlı eniyilemeye katılacak performans metrikleri ise enerji performansı bağlamında yıllık enerji kullanım yoğunluğu (EUI) olurken, günışığı değerlendirilmesi bağlamında mekansal günışığı otonomi değeri (sDA) olmuştur. Kullanılacak olan EUI değeri kWh/m² cinsinden hesaplanacak, sDA değeri ise, LEED sertifika sisteminin de önerdiği değer olan, sDA 300/%50 olarak değerlendirilecektir.

Öncelikle seçilen konut yapısı Rhinoceros programı aracılığıyla çevresi ile birlikte modellenmiş ve Şekil 4.1’de görüldüğü üzere Grasshopper yazılımı üzerinde iklim analizleri için tanımlı hale getirilmiştir.



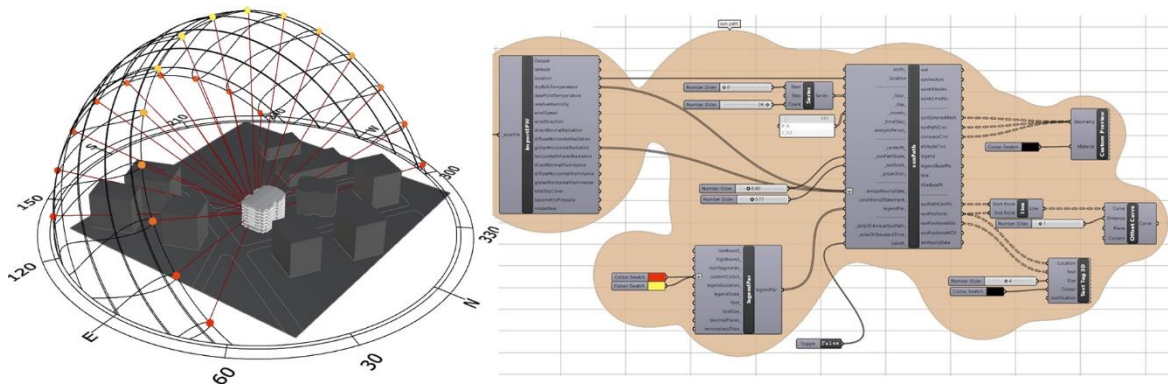
Şekil 4.1. Grasshopper yazılımı üzerinde tanımlanan konut yapısı ve çevresi

Yapının yazılım üzerinde tanımlı hale getirilmesiyle birlikte Ladybug eklentisi aracılığıyla çeşitli iklimsel analizler yapılmıştır. Yapının yer aldığı konuma göre hava durumu dosyası US Department of Energy sitesinden elde edilmiş ve Ankara ilinin hava durumu verileri yazılıma yüklenmiştir. Bu verilere göre elde edilen Şekil 4.2'deki sıcaklık değerlerinin gösterildiği grafikten de anlaşılabacağı üzere, yaz aylarındaki gün içerisindeki ortalama sıcaklık değerleri 31,3 °C ile 36 °C arasında değişirken, kışın ise bu değerler -1,6 °C ile 12,50 °C arasında yer almaktadır.



Şekil 4.2. Hava durumu verilerine göre Ankara ilinin yıllık sıcaklık verileri

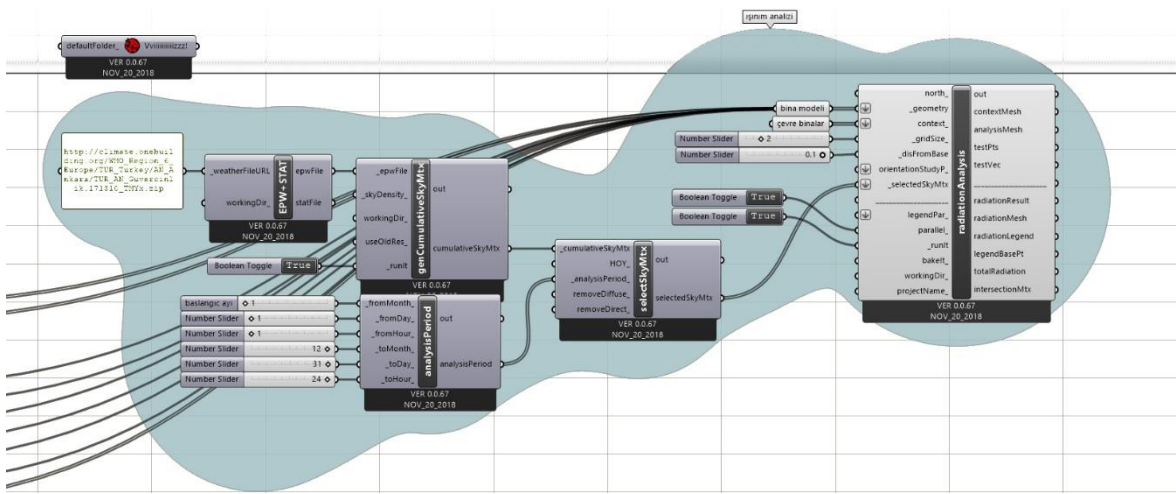
21 Haziran-21 Aralık gün dönümlerine yönelik olarak yapılan, Şekilde 4.3'teki sun path analizlerinde ise güneşin yer düzlemiyle yaptığı düşey açı (*altitude*) değerleri 21 Aralık'ta 26,56° olarak saptanırken, 21 Haziran'da ise bu değer 73,38° olarak ölçülmüştür.



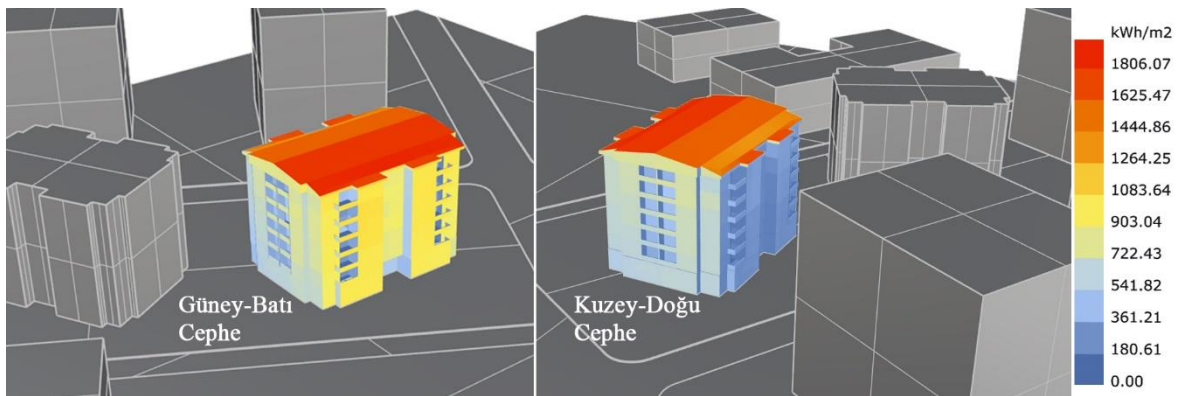
Şekil 4.3. Konut yapısına ve çevresine yönelik olarak hazırlanan sun path analizleri

Daha sonra yapı kabuğuna yıl boyunca düşen ışınlm miktarlarının ve hangi cephelerde daha çok etkili ışınlm gerçekleştiğinin belirlenmesine yönelik olarak Şekil 4.4'te görülen kodlama ile birlikte ışınlm analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda Şekil 4.5'teki verilere ulaşılmıştır. Bu verilere göre yapının yer aldığı alanda, güney yönünde maksimum olmak

üzere güney doğuya ve güney batıya doğru azalan bir ışınlm olduğunu söylemek mümkündür. Kuzey yönü ise ışınlmın en az gerçekleştiği yön olarak belirlenmiştir. Toplamdaki ışınlmın en üst değeri 1806,07 kWh/m² iken, en alt değer 180,61 kWh/m² olmuştur. Bu veriler erken tasarım aşamasında enerji tüketiminin en aza indirgenebilmesi için, hangi bölgelerin saydam hangi bölgelerin opak olması gerektiği, nasıl bir malzeme seçimi yapılacağı, tasarıma eklenecek PV paneller gibi elemanların yerleşim yerleri hakkında tasarımcılara kolaylık sağlamak ve optimum çözümler için tasarımın nasıl şekillendirileceğine dair birer girdi oluşturmaktadır.



Şekil 4.4. Işınlm analizi için oluşturulan kodlama



Şekil 4.5. Yapı kabuğuna düşen yıllık ışınlm miktarları

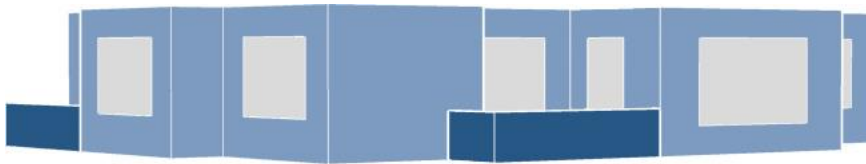
Bu çalışmada ise elde edilen verilerle birlikte, konut yapısındaki tüm dairelerin aynı plana sahip olması ve simülasyon zamanının azaltılabilmesi için, dördüncü katta yer alan ve en fazla ışınlmın gerçekleştiği Güney-Batı yönünde konumlandırılan ve Şekil 4.6'daki daire, performans hedefleri doğrultusunda incelemeye alınmıştır.



Şekil 4.6. Güney-Batı yönünde konumlandırılan daire planı

4.2. Mevcut Durum Analizleri

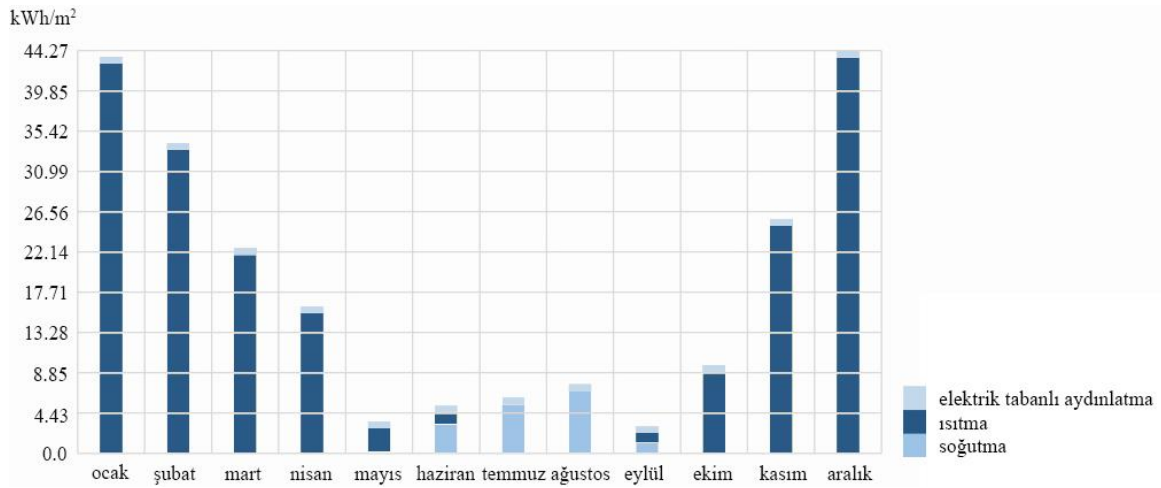
Tezin bu kısmında, daha sonraki kısımlarla birlikte gerçekleştirilen enerji ve güneşli simülasyonları, elde edilen eniyileme değerleri ile bir kıyaslama yapılabilmesi açısından, dairenin, Şekil 4.7’de görülen, mevcut yapı kabuğu üzerinden ele alınmıştır. Yapılan analizlerle ile birlikte çok amaçlı eniyileme aşamasında kullanılacak olan performans metrikleri elde edilmiştir.



Şekil 4.7. Alan çalışmasında kullanılan dairenin mevcut yapı kabuğu

Mevcut durumda yapı kabuğunda kullanılmış olan yalıtımsız 0,2 m tuğla duvar ve çift katmanlı hava dolgulu saydam cam girdileri çeşitli yazılım bileşenleri (*components*)

aracılığıyla simülasyon modeline eklenmiş ve Honeybee eklentisi üzerinden EnergyPlus ve Radiance/Daysim simülasyon motorları ile analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda dairenin, elektrik tabanlı aydınlatma, ısıtma ve soğutma yükleri bağlamındaki yıllık enerji kullanım yoğunluğu (EUI), Şekil 4.8’deki grafikte görülebileceği üzere toplam 221,58 kWh/m² olurken, mekansal güneşliği otonomi (sDA 300/%50) değeri ise 70,87 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.8. Alan çalışmasında kullanılan dairenin mevcut yapı kabuğuyla birlikte ortaya çıkan aylık enerji kullanım yoğunluğu

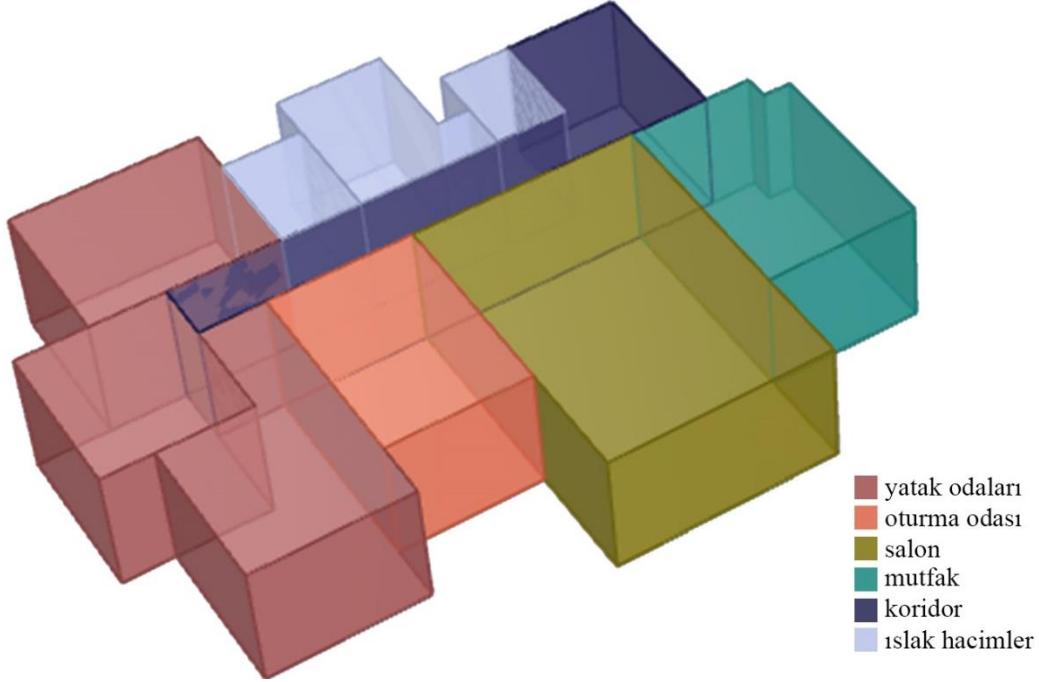
4.3. Enerji ve Güneşliği Simülasyonuna Yönelik Olarak Gerçekleştirilen Parametrik Modelleme

Tezin bu kısmı, seçilen konut yapısının güneşliği ve enerji bağlamında eniyilenmesi işlemine veri oluşturacak performans metriklerinin elde edilme sürecini sunmaktadır. Bu süreç, enerji modeli ve güneşliği modeli kurulumu olmak üzere iki ana aşamadan oluşmaktadır. Enerji ve güneşliği simülasyon modellerine veri olacak girdiler adım adım hazırlanmış ve son olarak Octopus eklentisi ile birlikte çok amaçlı eniyilemeyi gerçekleştirebilmek için belirlenen performans metrikleri elde edilmiştir. Her adımda, amaca yönelik olarak çeşitli Grasshopper bileşenleri kullanılmış ve simülasyon modellerinin kurulumu tamamlanmıştır.

4.3.1. Mekansal birimlerin üretimi ve zonlama

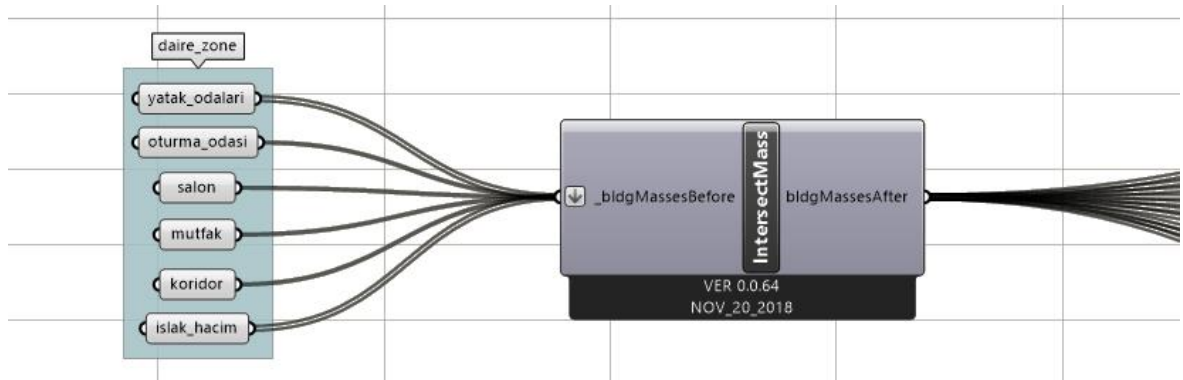
Öncelikli olarak alan çalışmasında kullanılmak üzere belirlenen daire; yatak odaları, oturma odası, salon, mutfak, koridor ve ıslak hacimler gibi çeşitli zonlar halinde, Şekil 4.9’da

gösterildiği üzere, Rhino programında modellenmiş ve bu zonlar oluşturulan model üzerinden Grasshopper arayüzüne tanımlanmıştır.



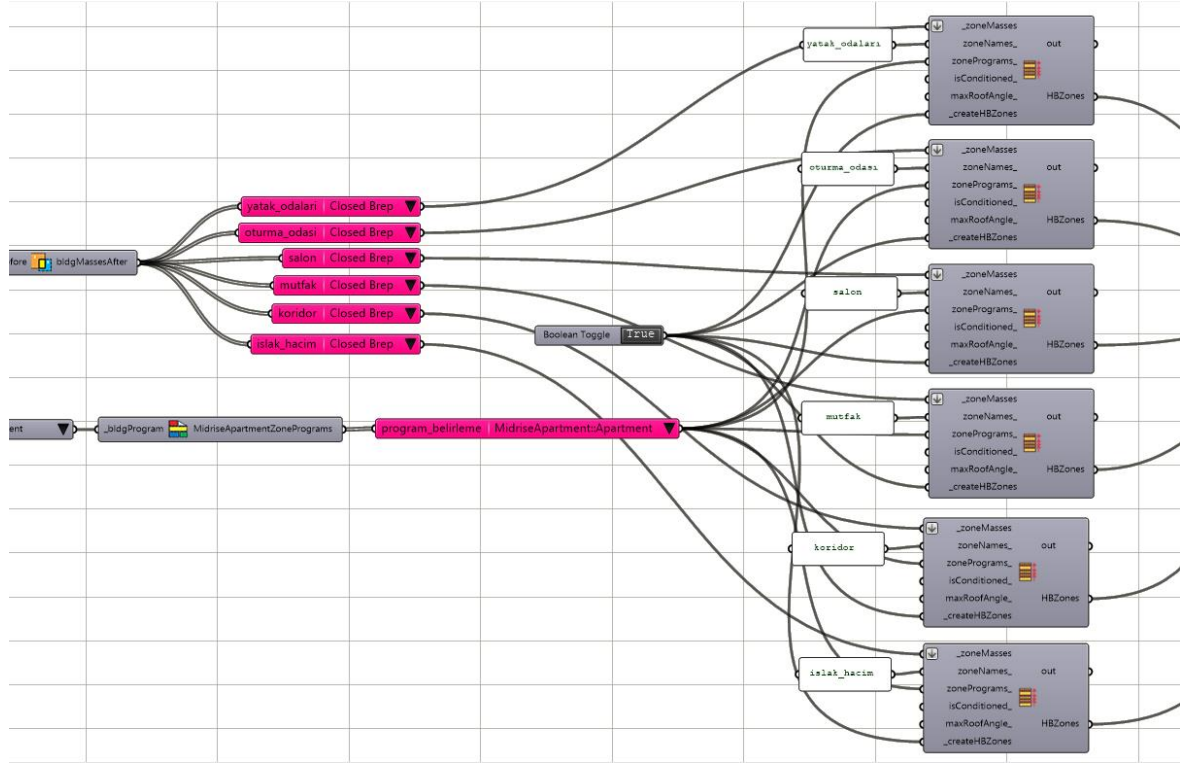
Şekil 4.9. Rhino programında modellenen ve Grasshopper arayüzüne tanımlanan mekansal birim zonları

Daha sonra tanımlanan zonlar, kendi aralarındaki ısı akışının sağlanması ve enerji simülasyonundaki hesapların doğru yapılabilmesi adına, Şekil 4.10'daki gibi, birbirleriyle bitişik yüzeylerde eş yüzeylerin tanımlanması için *intersect mass* bileşenine bağlanmıştır. Böylelikle zonlar arasındaki bağlantı kurulmuştur.



Şekil 4.10. Zonlar arasındaki eş yüzeylerin tanımlanması

Bir sonraki aşamada ise enerji ve güneşiği simülasyonuna yönelik olarak tanımlamanın gerçekleştirilebilmesi için, oluşturulan zonlar, Şekil 4.11’de görülebileceği üzere, Honeybee eklentisi zonlarına dönüştürülmüştür.



Şekil 4.11. Honeybee zonlarının oluşturulması

Bu aşamada aynı zamanda simülasyona gerekli girdilerin sağlanması için yapının programı belirlenmiştir. Şekil 4.12’deki düzende gösterildiği üzere, program olarak Honeybee orta katlı binalarda konut seçeneği seçilmiş ve bu seçim bir önceki aşamada oluşturulan Honeybee zonlarına girdi olarak eklenmiştir.

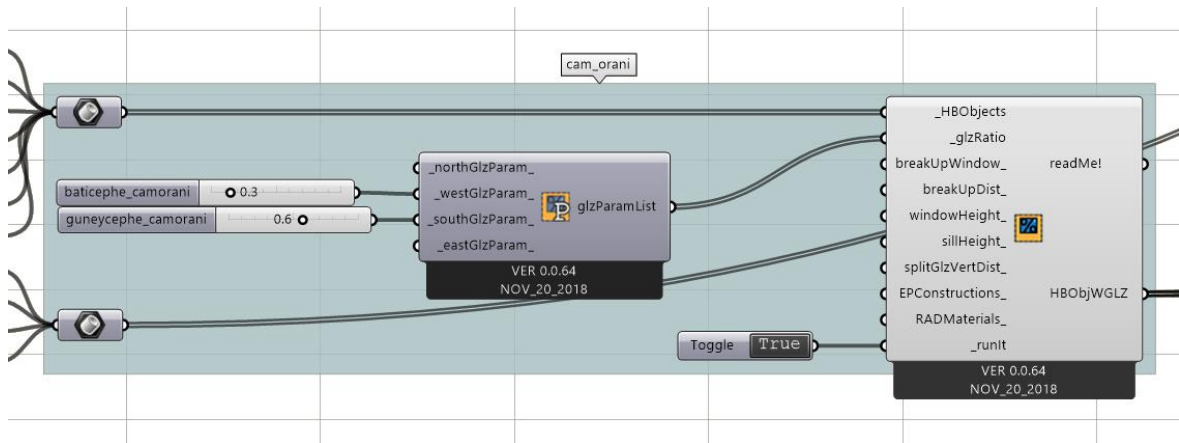


Şekil 4.12. Yapının programının seçilmesi

4.3.2. Yapı kabuğundaki cam oranlarının belirlenmesi ve gölgeleme elemanlarının oluşturulması

Seçilen programla birlikte oluşturulan Honeybee zonları, yapı kabuğundaki cam oranlarını belirlemek üzere bir sonraki bileşene gönderilmiştir. Bu noktada zonlar dış cepheyle ilişkili olan mekanlar (yatak odaları, oturma odası, salon ve mutfak) ve iç kısımda kalan mekanlar (ıslak hacimler ve koridor) olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır.

Daha sonra dış cepheyle ilişkili olan mekanların cam yüzeyi oranlarını belirlemek için, Şekil 4.13'te de görülebileceği üzere, bir dizi bileşen (*component*) bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Bu bağlantılarla birlikte batı ve güney cepheye gelen camların oranları ayrı ayrı, 0,2 ile 0,9 aralığında 0,1 artırıma sahip olacak şekilde toplam sekiz parametreyle ilişkilendirilmiştir.



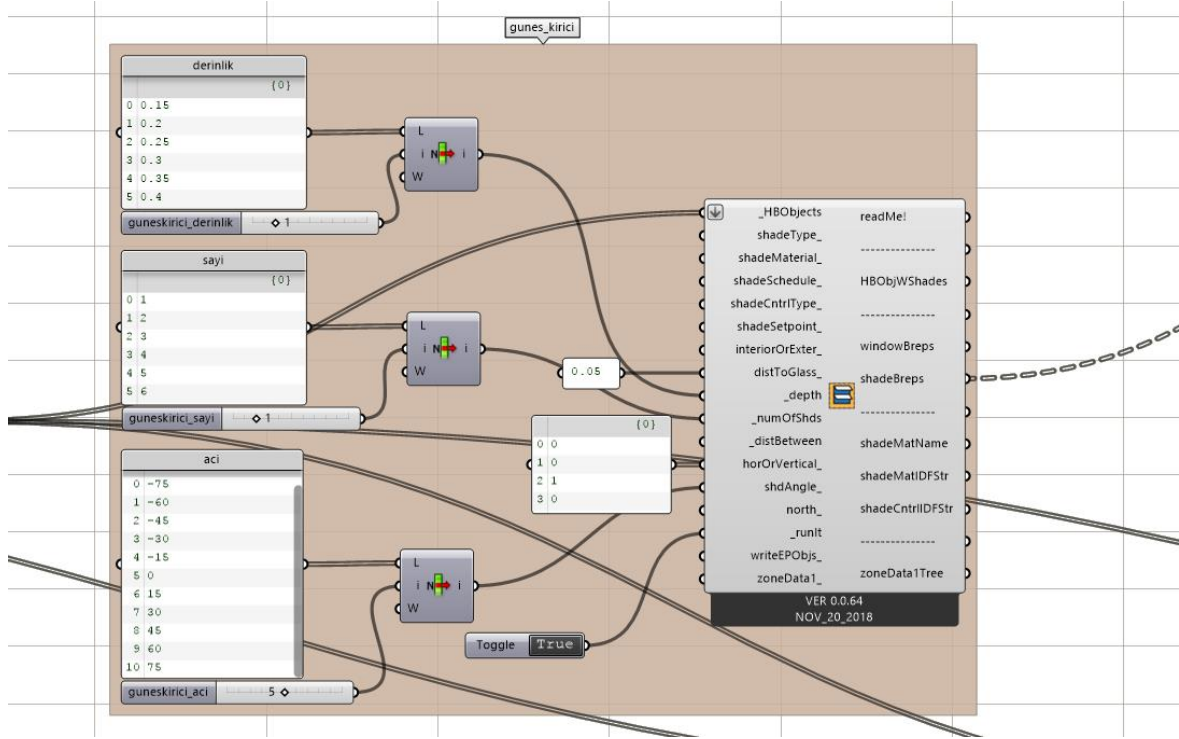
Şekil 4.13. Cam yüzeylerin yapı kabuğundaki oranlarının belirlenmesi

Camların yüzeylerin oranları seçilen parametrelerle belirlendikten sonra, güney cephede yatay ve batı cephede dikey olacak şekilde yerleştirilecek gölgeleme elemanları yapı kabuğuna entegre edilmiştir. Şekil 4.14'te de görülebileceği gibi gölgeleme elemanları derinlik, sayı ve açı bağlamında çeşitli parametrelere bağlanmıştır.

Bu parametreler;

- Gölgeleme elemanı derinliği: 0,15 m ile 0,40 m aralığında, 0,05 m artırımla ilerleyen toplam altı parametre
- Gölgeleme elemanı sayısı: 1 ile 6 arasında 1 artırımla ilerleyen toplam altı parametre

- Gölgeleme elemanı açısı: -75° ile 75° arasında 15° artırımla ilerleyen toplam on bir parametreden oluşmaktadır.

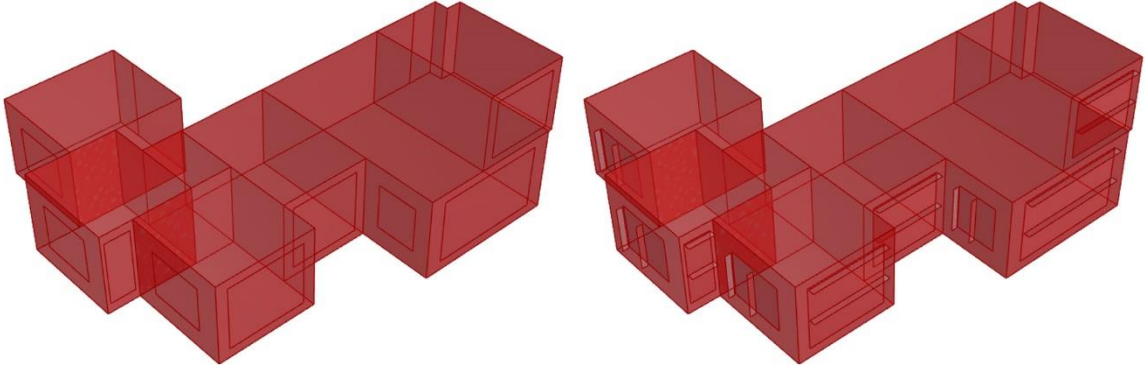


Şekil 4.14. Gölgeleme elemanlarının oluşturulması

Gölgeleme elemanın malzemesi bu alan çalışmasında gerçekleştirilecek eniyileme işlemine katılacak parametrelerden birisi olarak seçilmemiştir. Gölgeleme elemanı malzemesi için sabit değerler olarak, EnergyPlus'ın hazır gölgeleme elemanı malzeme değerleri kullanılmıştır. Bunlar;

- Yansıtma (*reflectance*) : 0,65
- Geçirgenlik (*transmittance*) : 0 (geçirimi olmayana opak malzeme)
- Yayınlılık (*emissivity*) : 0,9 (metalik olmayan malzeme) değerleri olarak sıralanabilir.

Gölgeleme elemanın cam yüzeylere olan uzaklığı ise 0,05 m olarak belirlenmiştir. Şekil 4.15'te 0,3 cam oranına sahip batı cephe ile 0,6 cam oranına sahip güney cephe örnek olarak görselleştirilmiştir. Bu örnekteki iki adet gölgeleme elemanı ise 0,20 m derinlikte ve 0° açıyla sahiptir.

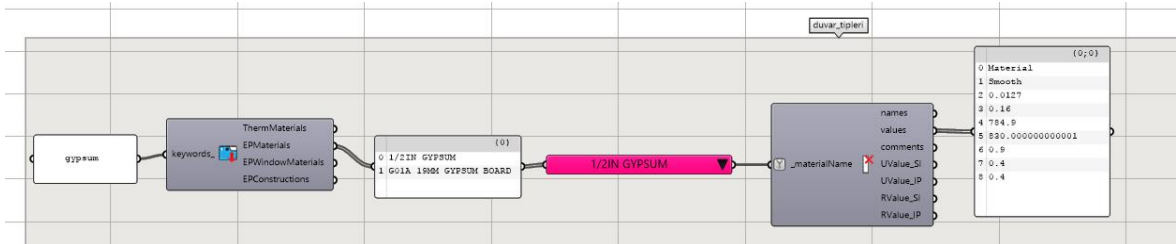


Şekil 4.15. Alan çalışmasında kullanılan dairenin yapı kabuğuna farklı cam oranı ve gölgeleme elemanlarının entegrasyonu ile oluşan yeni durumun görselleştirilmesi

4.3.3. Duvar ve cam tiplerinin belirlenmesi

Parametrik modellemenin bu aşamasında, yapı kabuğu elemanlarına veri girişi sağlanabilmesi ve bunların da eniyileme sürecine entegre edilebilmesi için duvarlar ve pencereler için çeşitli yapı malzemeleri oluşturulmuştur.

Öncelikle duvarlar için dört tip belirlenmiştir. Daha sonra, Şekil 4.16’da gösterildiği üzere, belirlenen tiplerde katman olarak kullanılacak olan malzemelerin EnergyPlus’ın kendi malzeme kütüphanesinde var olan verileri toplanmıştır.

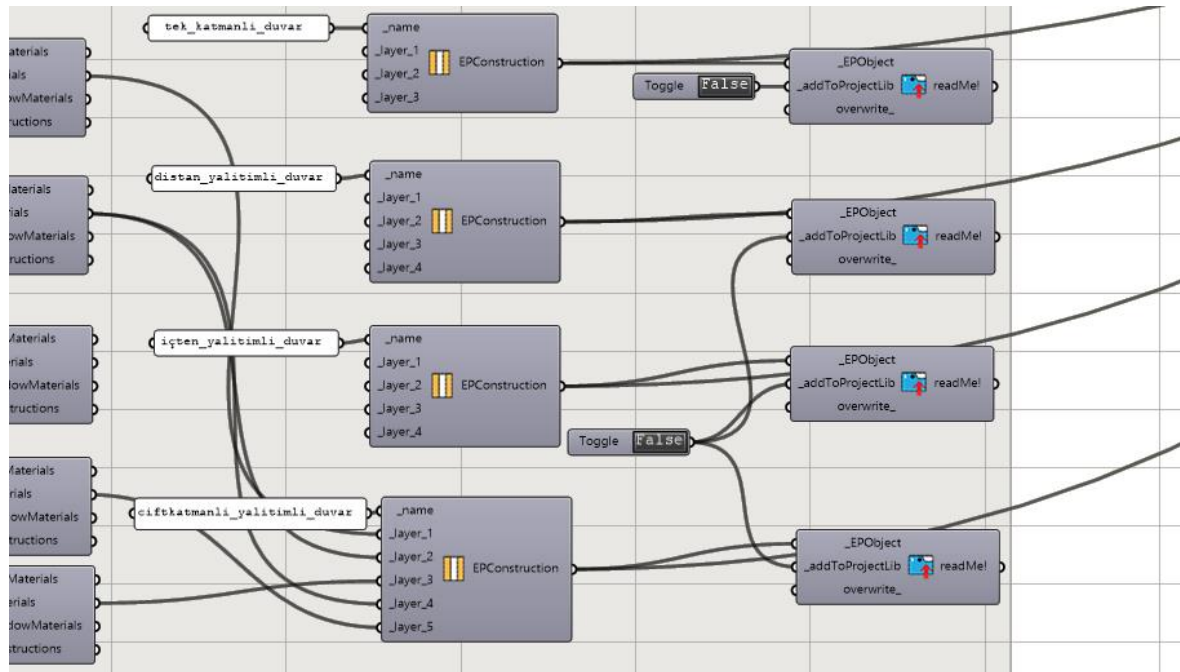


Şekil 4.16. EnergyPlus malzeme kütüphanesinden verilerin toplanması

Daha sonra elde edilen verilerin değerleri ile birlikte malzeme oluşumu tamamlanmış ve bunlar katmanlar halinde Şekil 4.17’de görülen duvar tiplerine dönüştürülmüştür. Çizelge 4.1’de yapı kabuğunda kullanılacak olan duvar tipleri ve katmanları listelenmiştir.

Çizelge 4.1. Yapı kabuğunda kullanılacak duvar tipleri ve katmanları

DUVAR TİPLERİ	TİP-1/ Tek Katmanlı Duvar	TİP-2/ Dıştan Yalıtımlı Duvar	TİP-3/ İçten Yalıtımlı Duvar	TİP-4/ Çift Katmanlı Yalıtımlı Duvar
Katman 1	0,02 m çimento sıvası	0,02 m çimento sıvası	0,02 m çimento sıvası	0,02 m çimento sıvası
Katman 2	0,20 m tuğla	0,05 m cam yünü	0,20 m tuğla	0,10 m tuğla
Katman 3	0,02 m alçı sıvası	0,20 m tuğla	0,05 m cam yünü	0,05 m cam yünü
Katman 4	-	0,02 m alçı sıvası	0,02 m alçı sıvası	0,10 m tuğla
Katman 5	-	-	-	0,02 m alçı sıvası



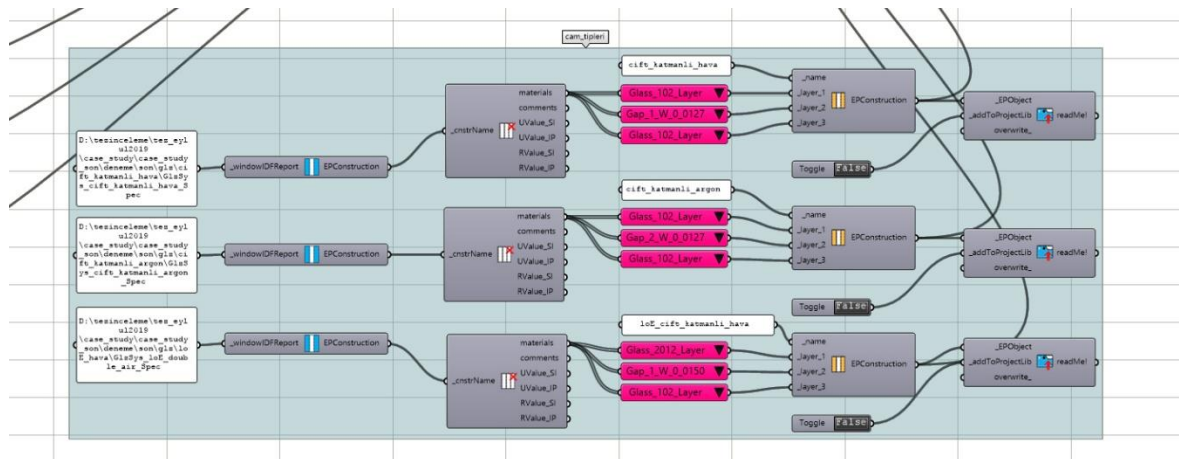
Şekil 4.17. Grasshopper arayüzünde duvarlar için oluşturulan EnergyPlus yapı nesneleri

Duvar tiplerinin belirlenmesinin ardından pencerelerde kullanılacak olan cam katmanları ve malzemeleri belirlenmiştir. Bu adımda Berkeley Lab tarafından geliştirilen Window yazılımından yararlanılmış ve Çizelge 4.2’de listelenen üç çeşit cam sistemi, katmanları ve malzemeleri ile birlikte bu yazılımda oluşturulmuştur. Cam seçiminde enerji ve aydınlatma performansını etkileyen parametreler camların ısıl geçirgenliği (U-değeri), güneş ısı kazancı katsayısı (*solar heat gain coefficient* veya SHGC) ve görünür ışık geçirgenliği (*visible transmittance* veya VT) değerleridir.

Çizelge 4.2. Yapı kabuğunda kullanılacak cam sistemleri, katmanları ve performans parametreleri

CAM SİSTEMLERİ	TİP-1/ Çift Katmanlı Hava Dolgulu	TİP-2/ Çift Katmanlı Argon Dolgulu	TİP-3/ Çift Katmanlı LowE Hava Dolgulu
Katman 1	3 mm saydam cam	3 mm saydam cam	3,9 mm LowE272
Katman 2	12,7 mm hava	12,7 mm argon	15 mm hava
Katman 3	3 mm saydam cam	3 mm saydam cam	3 mm saydam cam
U değeri (W/m2K)	2,73	2,568	1,717
SHGC	0,763	0,764	0,411
Vt	0,814	0,814	0,713

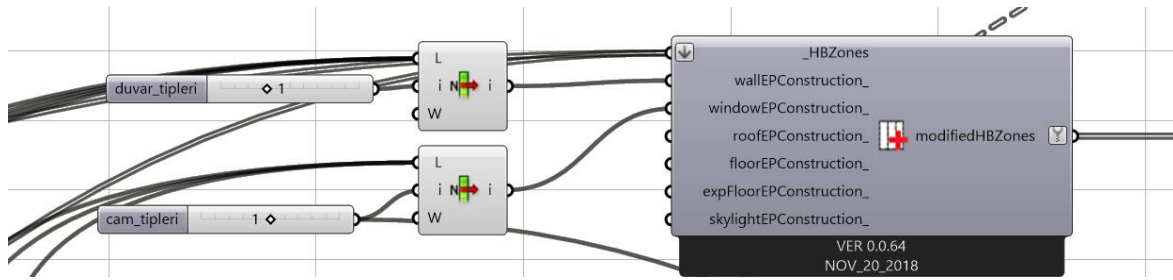
Daha sonra bu sistemler malzemeleri ile birlikte Şekil 4.18’de görüleceği üzere Grasshopper ortamına aktarılmıştır.



Şekil 4.18. Cam sistemlerinin Grasshopper ortamına aktarılması

Duvar tipleriyle birlikte cam tiplerinin de belirlenmesiyle, bu tipler liste halinde, Şekil 4.19’da da görüleceği üzere, oluşturulan zonların yapı elemanlarına entegre edilmiştir. Burada liste halinde entegre edilen yapı malzemesi tipleri daha sonra “gen”¹ olarak eniyileme sürecine eklenecektir.

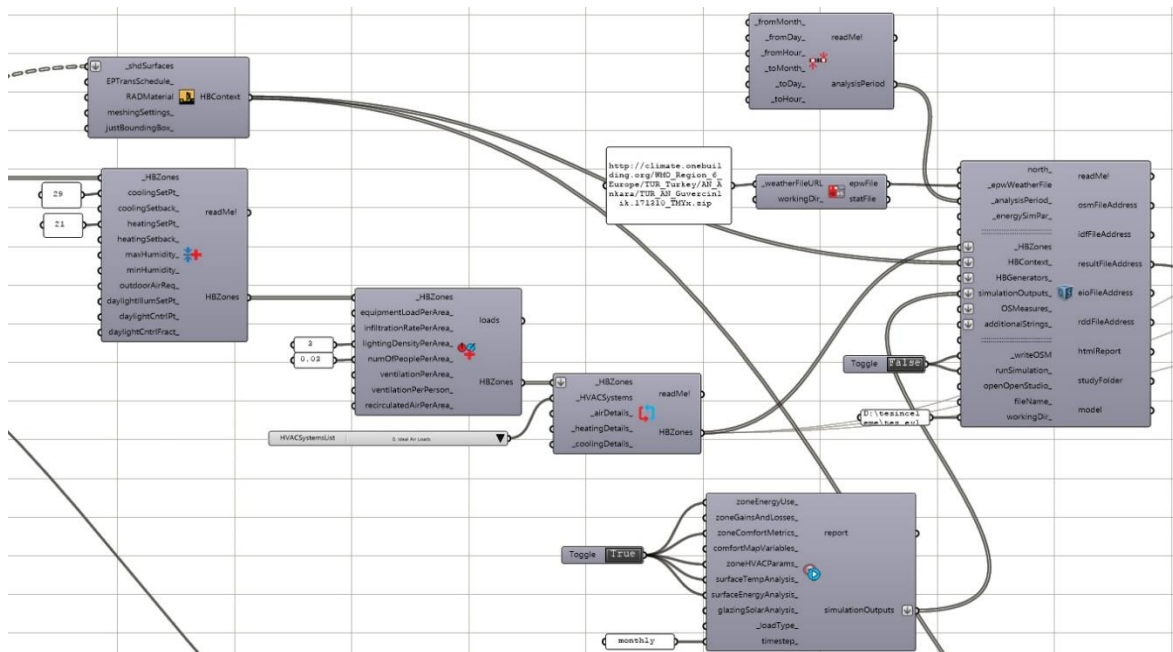
¹ Gen, “içinde bulunduğu hücre veya organizmaya özel bir etkisi olan, kuşaktan kuşağa ve hücreden hücreye geçen kalıtsal öge” olarak tanımlanırken (www.sozluk.gov.tr), eniyileme işleminde ise eniyileme sürecine katılacak olan parametrelerin evrimsel paradigmadaki temsilcileridir.



Şekil 4.19. Oluşturulan duvar ve cam tiplerinin zonların yapı elemanı olarak atanması

4.3.4. Enerji simülasyon modelinin kurulması

Şekil 4.20’de gösterilen enerji simülasyon modeli kurulurken öncelikli olarak, yapı elemanları entegre edilmiş Honeybee zonları enerji tüketimi ile bağlantılı bazı eşik değerleri belirlemek için gerekli bileşene bağlanmıştır. Bu bileşen ile birlikte ısıtma ve soğutma ayar noktalarını sisteme eklemek mümkündür. Buradaki soğutma noktası belirlenen değerin üstündeki iç mekan sıcaklığına ulaşıldığında soğutma sisteminin çalıştığı bir sıcaklık ayarını gösterirken, ısıtma noktası ise belirlenen değerden daha aşağıda bulunan iç mekan hava sıcaklığına ulaşıldığında ısıtma sisteminin çalıştığı bir sıcaklık ayarını göstermektedir.

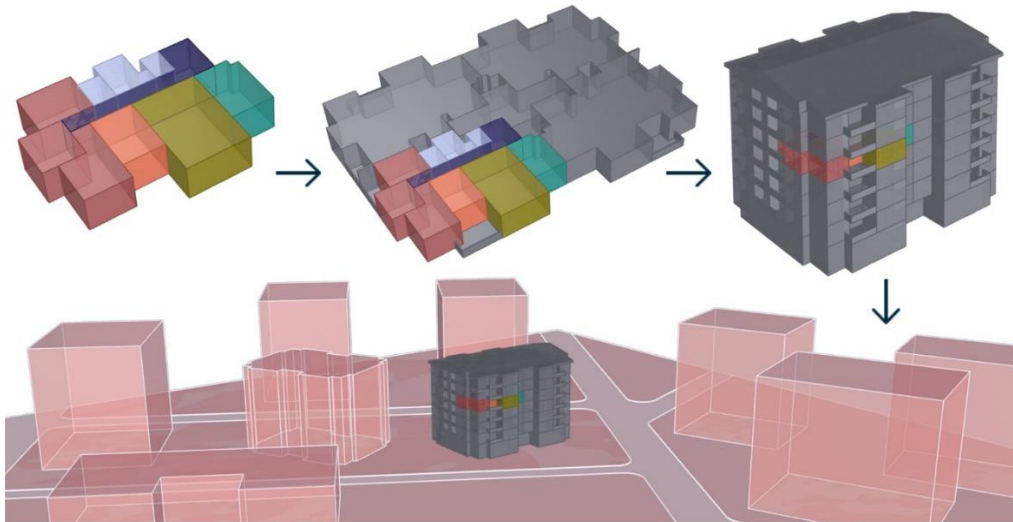


Şekil 4.20. Enerji simülasyon modeli

Bu çalışmada soğutma ayar noktası, Ankara ilinde konutlarda soğutma sistemlerinin çok yoğun olarak kullanılmadığı varsayılarak, 29 °C'ye ayarlanırken, ısıtma ayar noktası ise 21

°C'ye ayarlanmıştır. Daha sonra bu ayarların atandığı zonlar, metrekare başına düşen ekipman yükü, aydınlatma yükü, metrekare başına düşen kişi sayısı gibi çeşitli yük ayarlarının yapılabildiği bileşene bağlanmıştır. Burada metrekare başına düşen aydınlatma yoğunluğu, aydınlatmada LED kullanımı olduğu varsayılarak sistemde tanımlı olan değeri 3 w/m^2 'ye ayarlanmış, metrekare başına düşen kişi sayısı ise dairede dört kişilik bir aile yaşadığı varsayılarak 0,03 olarak tanımlanmıştır. Daha sonra HVAC sistemi tanımlanmış ve zonlama işlemi burada sonlandırılarak, enerji simülasyon modeli için nihai zonlar elde edilmiştir. Bir sonraki adımda ise elde edilen zonların verileri, Şekil 4.20'de de görülebileceği gibi, Grasshopper arayüzünden EnergyPlus ile simülasyon yapılmasını sağlayan OpenStudio programına aktarılmıştır.

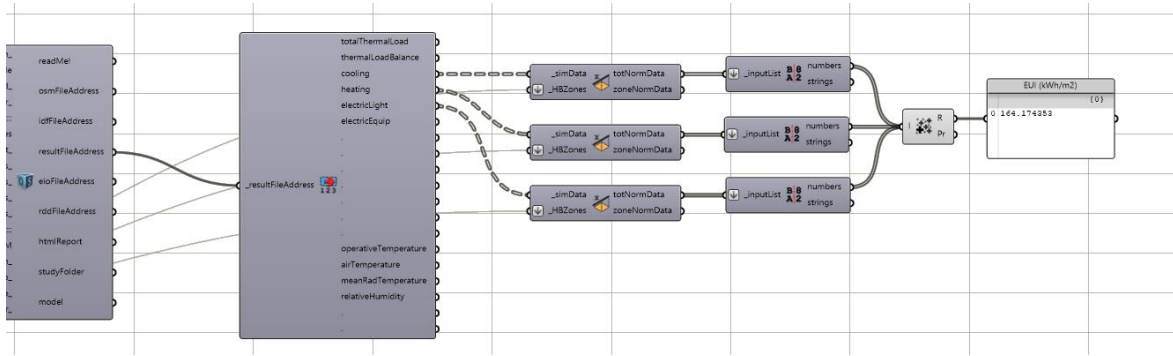
Simülasyonun gerçekleşebilmesi için, elde edilen zonlar dışında çeşitli veriler de programa aktarılmıştır. Öncelikli olarak hava durumu verileri girilmiştir. Daha sonra analizin gerçekleşeceği zaman dilimi belirlenmiştir. Burada yıllık performans değerlendirilmesi yapılacağı için 1 Ocak saat 00.00'dan 31 Aralık saat 24.00'a kadar olan zaman dilimi, analiz periyodu girişi sağlayan Ladybug bileşeni ile hazırlanmış ve veri girişi sağlanmıştır. Enerji simülasyonuna çevredeki yapıların da etkisinin dahil edilebilmesi için şekil 4.21'de görüldüğü üzere çevresel veriler de modellenmiş ve bunlar da gölgeleme elemanları ile birlikte simülasyona katılmıştır.



Şekil 4.21. Alan çalışmasında kullanılan dairenin çevresinin oluşturulması

Son olarak da simülasyonda hangi çıktıların elde edileceğine dair veri akışı sağlanmış ve elde edilecek çıktıların aylık olarak değerlendirilebilmesi için bu durum özel olarak belirtilmiştir. Verilerin saatlik, aylık ya da yıllık olarak elde edilmesi mümkündür.

Tüm verilerin girişi sağlandıktan sonra simülasyon motoru çalıştırılmış ve yıllık EUI değerleri, Şekil 4.22’de de görülebileceği üzere, kWh/m² cinsinden elde edilmiştir.



Şekil 4.22. Yıllık EUI değerinin bulunması

Son aşamada ise ısıtma, soğutma ve elektrik kaynaklı aydınlatma yükleri aylık olarak hesaplanmış ve eniyileme sürecine katılacak olan EUI değerinin elde edilmesi için toplanmıştır.

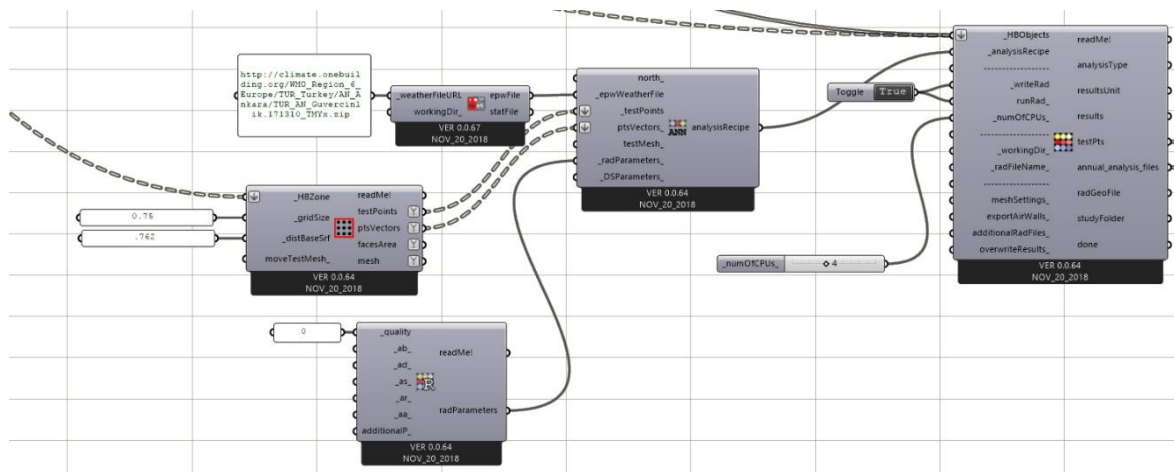
4.3.5. Güneş ışığı simülasyon modelinin kurulması

Çalışmada güneş ışığı simülasyonu Honeybee eklentisi üzerinden Radiance/Daysim simülasyon motorları aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Güneş ışığı simülasyon modeli kurulurken, enerji simülasyon modeli için hazırlanan verilerden yararlanılmıştır. Burada cam yüzey oranları belirlendikten sonra oluşturulan Honeybee zonları esas zonlar olarak kullanılmıştır. Gölgeleme elemanları ve çevredeki diğer yapılar ise Honeybee *context* verisi olarak kullanılmıştır.

Simülasyon Radiance üzerinden ilerlediği için, güneş ışığı simülasyon modeli için kullanılacak materyallerin Radiance üzerinde tanımlı materyaller olması gerekmektedir. Buradaki cam materyalleri enerji modelinde kullanılan materyallerle eşleştirilmiş ve duvarlara orta renkli %50 yansıtıcılık (*reflectance*) değerine sahip, tavana beyaz renkli %80 yansıtıcılık değerine

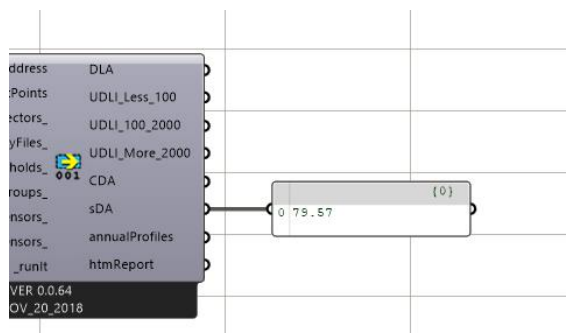
sahip ve son olarak da zemine orta renkli %20 yansıtıcılık değerine sahip malzeme atanmıştır.

Bir sonraki aşamada ise, bu aşama sonucunda elde edilen veriler günışığı simülasyon modeline altlık oluşturmıştır. Şekil 4.23'te de görülebileceği üzere simülasyon modeline günışığı performans metriklerinin elde edilebilmesi için çeşitli girdiler sağlanmıştır. Öncelikli olarak hava durumu verileri yüklenmiş ve hesaplamanın yapılacağı yüzeyin parametreleri belirlenmiştir. LEED sertifika sisteminin önerilerine göre, kılavuzların (*grid*) boyutu 0,75 m x 0,75 m olarak ayarlanırken, test yüzeyinin yerden yüksekliği 0,762 m olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.23. Günüşiği simülasyon modelinin kurulması

Daha sonra simülasyon çalıştırılmış ve elde edilen veriler Şekil 4.24'te de görülebileceği üzere sDA (300/%50) verilerine dönüştürülmüştür.



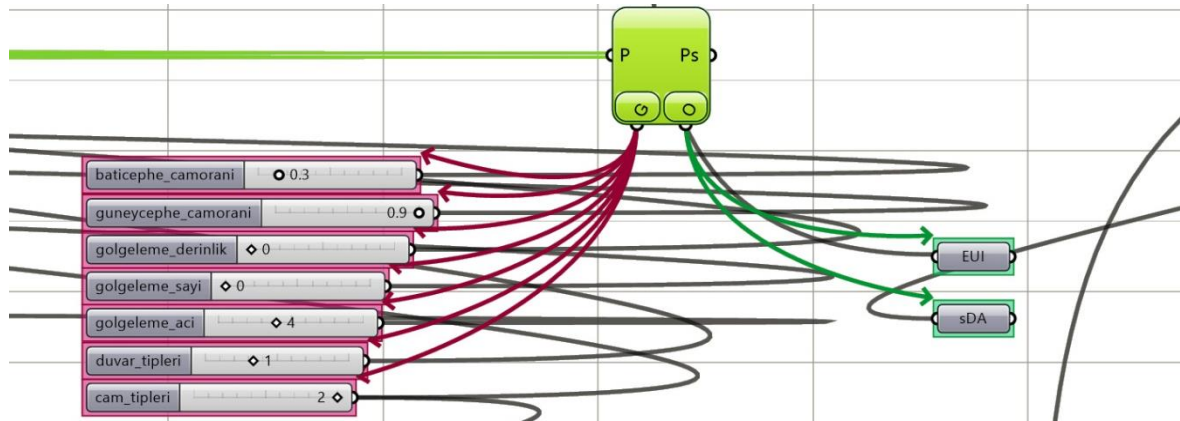
Şekil 4.24. sDA değerinin elde edilmesi

Böylelikle enerji simülasyon modeli ve güneş ışığı simülasyon modelinin kurulumu tamamlanarak ve eniyilemede kullanılacak performans metriklerinin değerleri elde edilerek eniyileme aşamasına geçilmiştir.

4.4. Eniyileme Aşaması

Alan çalışmasının son aşaması, eniyileme aşamasıdır. Yapı kabuklarının güneş ışığı ve enerji bağlamında eniyilenmesi sürecinde, birçok parametre eniyilemeye katılmış ve Grasshopper yazılımının Octopus eklentisi üzerinden evrimsel algoritmalar ile birlikte aralarındaki mantıksal denge kurulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada eniyilemeye, Şekil 4.25'te görülebileceği üzere, yedi parametre gen olarak, enerji ve güneş ışığı simülasyonları aşamasında elde edilen iki performans metriği ise amaç olarak entegre edilmiştir. Fenotip² olarak ise hazırlanan geometri zonları tanımlanmıştır.



Şekil 4.25. Eniyileme sürecine katılacak parametreler (genler) ve performans amaçları

Eniyileme süreci için belirlenen Octopus eklentisi ayarları Çizelge 4.3'te gösterilmiştir. Bu eniyilemede algoritma olarak, Octopus eklentisinin kullandığı iki algoritmadan biri olan, çok amaçlı problemlerin çözümünde kullanılan HypE evrimsel algoritması seçilmiştir. Bader ve Zitzler (2011)'in aktarımına göre, deneysel sonuçlar HypE'nin mevcut çok amaçlı evrimsel algoritmalara kıyasla çok amaçlı problemler için oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

² Fenotip, “canlının genetik kodlarının tamamı ve çevre etkileşimi sonucunda ortaya çıkan görüntüsü ve özellikleri” olarak tanımlanırken (www.bilim-teknoloji.com), eniyileme işleminde ise genlere yani parametrelere bağlı olarak ortaya çıkan tasarım modelini ifade etmektedir.

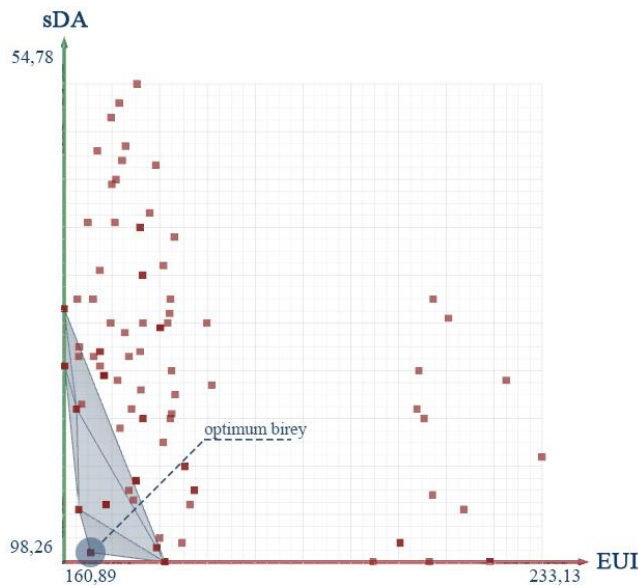
Çizelge 4.3. Algoritma ayarları

Elitizm	Mutasyon Olasılığı	Mutasyon Oranı	Çaprazlama Oranı	Popülasyon Sayısı	Tekrarlama Oranı (Maksimum Nesil)
0,5	0,1	0,5	0,8	50	30

Genlerin, amaçların ve ayarların Octopus üzerinde kurgulanması ile birlikte eniyileme süreci başlatılmış ve alan çalışmasının aşamaları sonlandırılmıştır.

5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tezin bu bölümünde, yapı kabuğunda gürüşü ve enerji bağlamında yapılan parametrik tabanlı eniyilemenin sonuçları ele alınmış ve analiz edilmiştir. Eniyilemede üretilen nesiller içerisinde, bina performansını ve birey uygunluğunu etkileyen ve farklı parametre değerlerine sahip öne çıkan tüm optimum çözümler ile yapı kabuğunun mevcut durumu ve gösterdiği performans arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. İlk kısımda, Octopus eklentisi aracılığıyla üretilen farklı nesillerdeki, pareto-ön (*pareto-front*) optimum çözüm bireyleri incelenmiş ve bunlar arasında çeşitli karşılaştırmalar yapılmıştır. Pareto-ön (*pareto-front*) eniyileme işlemi içerisine katılan amaçlardan herhangi birisinden ödün vermeden, amaçların daha fazla geliştirilemediği durumda optimum olarak seçilen bir dizi baskın/dominant çözümü ifade etmektedir. Bu duruma Şekil 5.1’de yapılan eniyileme çalışmasında nesil 0 sonunda oraya çıkan bireyler ve optimum çözüm aralığına yani pareto-öne giren bireyler örnek olarak gösterilebilir. Kısacası, bireyler arasında tüm amaçlara göre değerlendirmede, bir bireyin diğer bireye eşit derecede iyi veya diğer bireyden daha iyi olması durumunda o bireye baskın gelmesiyle birlikte, diğerlerine göre baskın bireyler pareto-öne katılmaktadır. İkinci kısımda ise, çok amaçlı eniyilemeye yönelik kurulan uygunluk fonksiyonu ve eşitliği ile birlikte, gürüşü ve enerji performansı arasındaki dengelenmiş çözüm, optimum gürüşü performansı çözümü ve optimum enerji performansı çözümü daha detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 5.1. Nesil 0 sonucunda elde edilen bireyler, pareto-ön bireyleri ve örnek olarak seçilen optimum birey

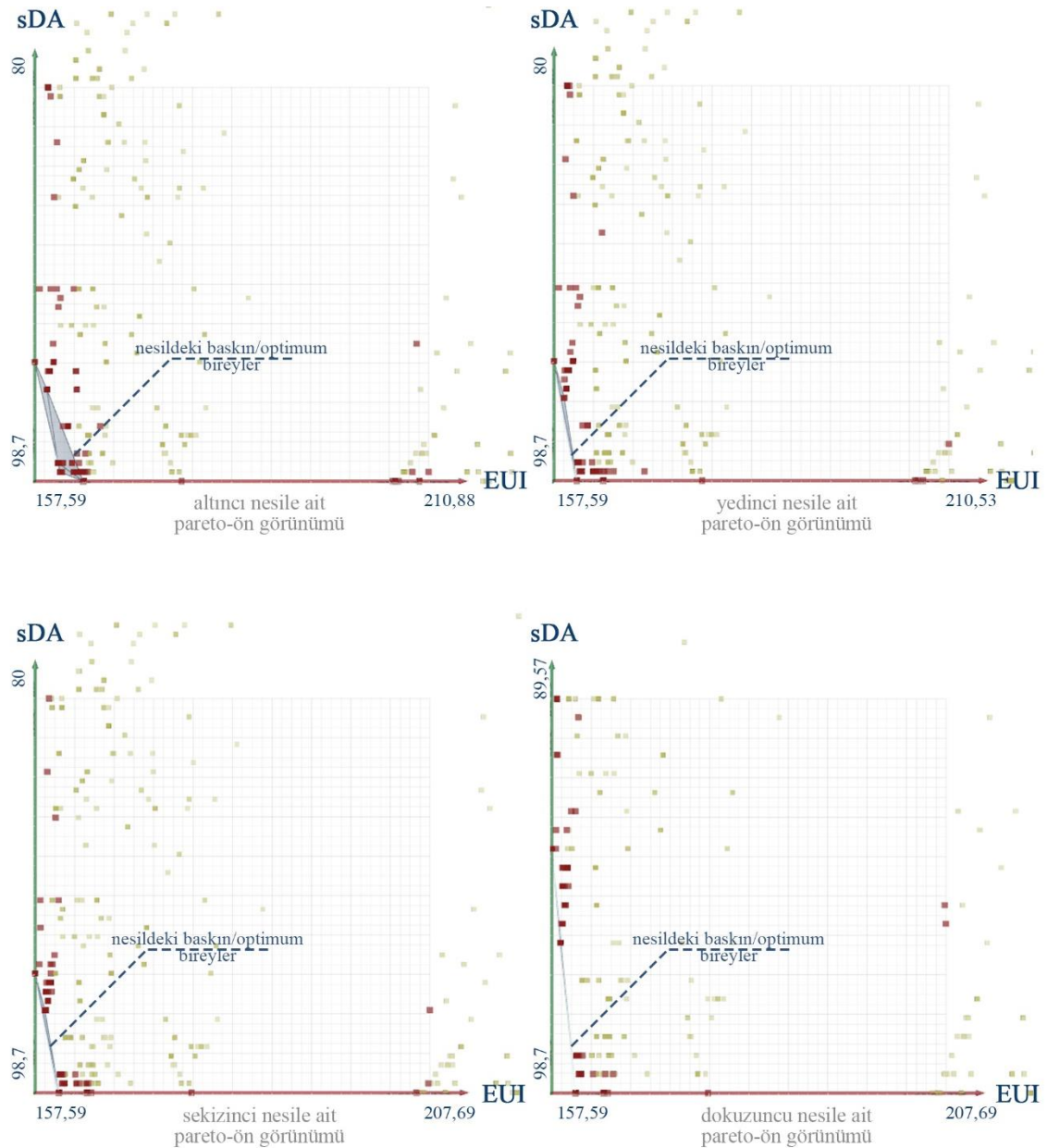
5.1. Optimum Çözüm Aralığındaki Bireylerin Karşılaştırılması

Çizelge 4.3'teki ayarların girilmesi ve Octopus eklentisinin çalıştırılması sonucunda, hesaplama işlemi on üç nesil için yaklaşık 65 saat sürmüştür ve yapı kabuğunun günışığı ve enerji bağlamında eniyilenmesine yönelik olarak birçok enerji performansı ve günışığı performansı simülasyonu yapılmıştır. Nesil 0'da popülasyondaki birey sayısının iki katı birey rastgele seçilen parametrelerle birlikte eniyileme amaçlarına yönelik olarak üretilmiş, sonraki nesiller ise, bu veri tabanı üzerinden, bir önceki nesile göre daha verimli performans metriklerine sahip çözüm bireyleri bulmak üzerine ilerlemiştir.

X ekseninin enerji performans metriğini (EUI), y ekseninin ise günışığı performans metriğini (sDA 300/%50) ifade ettiği Şekil 5.2'deki grafiklerde bir kısmının da görülebileceği üzere;

- Birinci nesildeki enerji performans metriği 159,23 ile 225,25 arasında değerlere ulaşırken, günışığı performans metriği 60,87 ile 98,7 arasında değerlere ulaşmış,
- İkinci nesildeki enerji performans metriği 159,23 ile 225,25 arasında değerlere ulaşırken, günışığı performans metriği 67,39 ile 98,7 arasında değerlere ulaşmış,
- Üçüncü nesildeki enerji performans metriği 159,23 ile 219,07 arasında değerlere ulaşırken, günışığı performans metriği 75,22 ile 98,7 arasında değerlere ulaşmış,
- Dördüncü nesildeki enerji performans metriği 159,23 ile 219,07 arasında değerlere ulaşırken, günışığı performans metriği 75,35 ile 98,7 arasında değerlere ulaşmış,
- Beşinci nesildeki enerji performans metriği 158,24 ile 219,07 arasında değerlere ulaşırken, günışığı performans metriği 80 ile 98,7 arasında değerlere ulaşmış,
- Altıncı nesildeki enerji performans metriği 157,59 ile 210,88 arasında değerlere ulaşırken, günışığı performans metriği 80 ile 98,7 arasında değerlere ulaşmış,
- Yedinci nesildeki enerji performans metriği 157,59 ile 210,53 arasında değerlere ulaşırken, günışığı performans metriği 80 ile 98,7 arasında değerlere ulaşmış,
- Sekizinci nesildeki enerji performans metriği 157,59 ile 207,69 arasında değerlere ulaşırken, günışığı performans metriği 80 ile 98,7 arasında değerlere ulaşmış,
- Dokuzuncu nesildeki enerji performans metriği 157,59 ile 207,69 arasında değerlere ulaşırken, günışığı performans metriği 89,57 ile 98,7 arasında değerlere ulaşmıştır.

Eniyileme işleminde, günüşiğı otonomisini değeri maksimize edilmeye çalışılırken, enerji tüketimi değeri ise minimize edilmeye çalışıldığı için, çözüm aralıkları her nesilde bu amaçlar doğrultusunda daha iyi bir değeri aralığına taşınmaya çalışılmıştır. Eniyileme işlemi devam ederken, ilk dokuz nesilde optimum çözüm bireylerine ulaşıldığı görülmüştür. Daha sonraki nesillerde ise bu bireyler optimum çözümler olarak korunmaya devam ederken diğeri bireylerin performans değeri daha verimsiz değeri doğru ilerlemiştir. Dolayısıyla ortaya konulan amaçlara yönelik üretilen optimum birey değeri herhangii bir gelişme olmadığı ve hesaplama işlemleri fazla zaman aldığı için on üçüncü nesil sırasında süreç durdurulmuş ve yapılan incelemeler ilk dokuz nesil üzerinden devam ettirilmiştir.

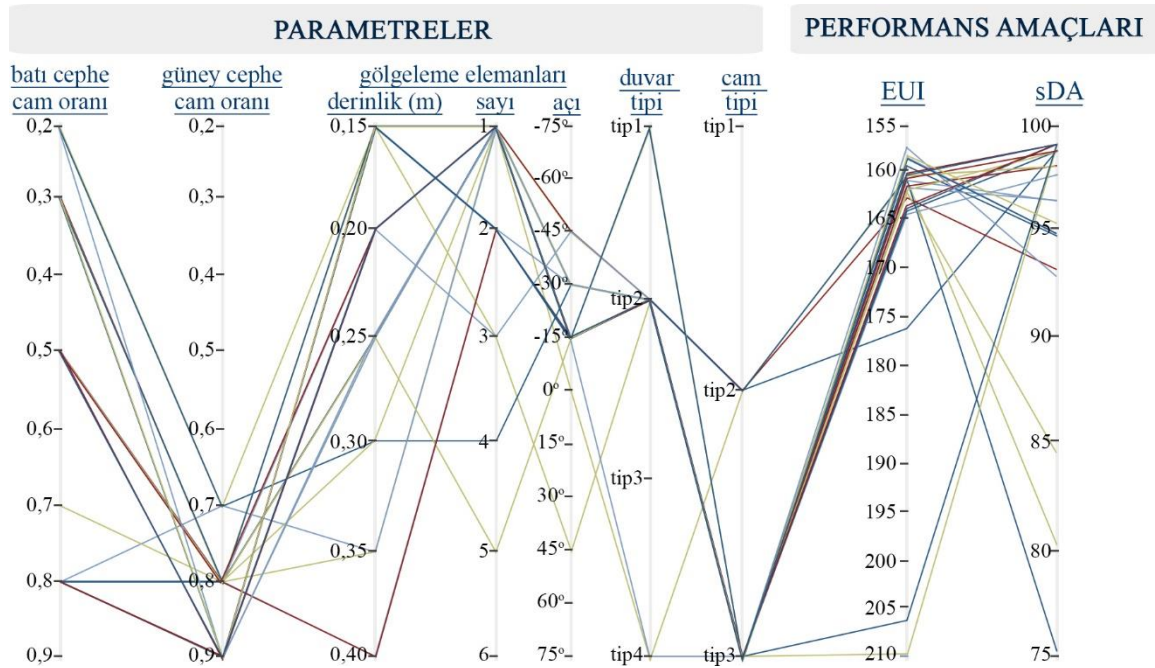


Şekil 5.2. Eniyileme ile birlikte üretilen farklı nesillere ait pareto-ön görünümüleri

Üretilen dokuz nesil boyunca, her neslin ayrı ayrı değerlendirilmesi sonucunda, toplam 25 adet pareto optimum çözüm bireyi bulunmuş ve bunlar Şekil 5.3 ve Çizelge 5.1’de görselleştirilmiştir.

Çizelge 5.1. Nesillerde üretilen pareto-ön optimum çözüm bireyleri

	BATI CEPHE CAM ORANI	GÜNEY CEPHE CAM ORANI	GÖLGELEME ELEMANLARI			DUVAR TİPİ	CAM TİPİ	ENERJİ METRİĞİ	GÜNEŞİĞİ METRİĞİ
			DERİNLİK	SAYI	AÇI			EUI (kWh/m ²)	sDA
birey 1	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 2	176,12	98,26
birey 2	0,2	0,7	0,15	1	0	tip 4	tip 2	161,00	80,43
birey 3	0,3	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 2	163,15	93,48
birey 4	0,3	0,8	0,15	3	45	tip 2	tip 3	162,79	84,35
birey 5	0,2	0,7	0,3	4	-30	tip 2	tip 2	160,89	75,22
birey 6	0,8	0,7	0,35	1	-15	tip 4	tip 3	164,94	97,39
birey 7	0,3	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	159,23	94,35
birey 8	0,8	0,9	0,25	5	-15	tip 1	tip 3	209,65	98,7
birey 9	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	164,37	98,26
birey 10	0,5	0,8	0,2	3	-45	tip 2	tip 3	162,10	96,09
birey 11	0,5	0,8	0,4	2	-15	tip 2	tip 3	162,66	97,83
birey 12	0,7	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	162,89	98,26
birey 13	0,8	0,9	0,15	2	-15	tip 1	tip 3	206,32	98,7
birey 14	0,5	0,8	0,4	2	-30	tip 2	tip 3	161,41	96,09
birey 15	0,5	0,8	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	161,03	98,26
birey 16	0,5	0,8	0,35	1	-45	tip 2	tip 3	160,80	97,83
birey 17	0,8	0,9	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	164,23	98,7
birey 18	0,2	0,9	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	157,59	93,04
birey 19	0,8	0,9	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	164,13	98,7
birey 20	0,5	0,8	0,3	1	-30	tip 2	tip 3	160,73	97,83
birey 21	0,3	0,9	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	158,95	94,78
birey 22	0,3	0,9	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	158,81	94,78
birey 23	0,5	0,9	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	160,60	98,7
birey 24	0,3	0,9	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	158,68	95,22
birey 25	0,5	0,9	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	160,66	98,7



Şekil 5.3. Nesillerde üretilen pareto-ön optimum çözüm bireylerinin parametre dağılımları

Her nesilde üretilen optimum çözüm bireyleri genel olarak incelendiğinde, batı cephe cam oranlarında farklı değerler olarak 0,2, 0,3, 0,5, 0,7 ve 0,8 değerleri ön plana çıkmış, 0,4, 0,6, 0,9 değerleri ise pareto-ön değerleri içerisinde yer almamıştır. Ön plana çıkan değerler içerisinde ise en çok tercih edilen değer 0,5 olurken, 0,7 değeri sadece bir bireyde kullanılarak en az tercih edilen değer olmuştur. Güney cephe cam oranlarına bakıldığında ise, 0,7, 0,8 ve 0,9 değerleri tercih edilen değerler olurken ve 0,7 altındaki değerler ise optimum çözüm bireylerinde yer almamıştır. Tercih edilen değerler içerisinde 0,8 değeri on iki bireyde birden kullanılarak ön plana çıkarken, 0,7 değeri ise sadece üç bireyde kullanılmıştır.

Gölgeleme elemanlarının derinlik değerleri incelendiğinde 0,15 m'den 0,40 m'ye kadar tüm değerler optimum çözüm bireylerinde yer almış, buranın öne çıkan parametre değerleri ise 0,15 m ile 0,25 m değerleri olmuştur. Bu değerleri sırasıyla 0,20 m, 0,30 m, 0,35 m ve 0,40 m değerleri izlemiştir. Gölgeleme elemanı sayısına bakıldığında ise, en çok tercih edilen değer 1 olmuştur. 6 değeri pareto-öndeki bireylerin parametrelerinde yer almazken, 4 ve 5 ise diğer sayı değerlerine göre en az tercih edilen değerler olmuştur. Gölgeleme elemanlarının son parametresi açı değerleri incelendiğinde, genel olarak -45° ile -15° arasında değer alan parametrenin, baskın olan parametre değeri -15° olmuştur. 0° ve 45° değerleri ise sadece birer bireyde parametre değeri olarak yer almıştır.

Tip 1'in tek katmanlı duvar, Tip 2'nin dıştan yalıtımlı duvar, Tip 3'ün içten yalıtımlı duvar, Tip 4'ün ise çift katmanlı yalıtımlı duvar tiplerine denk geldiği³ duvar tipi parametrelerinde, optimum çözüm bireyleri içerisinde en çok tercih edilen Tip 2 yani dıştan yalıtımlı duvar tipi olmuştur. Tip 3 içten yalıtımlı duvar optimum çözüm bireyleri parametreleri içerisinde yer almazken, Tip 1 ve Tip 4 duvar parametreleri ikişer adet çözüm bireyinde parametre değeri olarak yer almıştır.

Cam sistemleri içerisinde Tip 1'in çift katmanlı hava dolgulu, Tip 2'nin çift katmanlı argon dolgulu, Tip 3'ün ise çift katmanlı LowE hava dolgulu cam sistemine denk geldiği⁴ cam tipi parametrelerinde, en çok tercih edilen cam sistemi Tip 3, yani çift katmanlı LowE hava dolgulu cam sistemi olmuştur. Çift katmanlı hava dolgulu/ Tip 1 cam sistemi optimum

³ bkz. Çizelge 4.1

⁴ bkz. Çizelge 4.2

özüm bireyleri içerisinde yer almazken, Tip 2 cam sistemi ise dört adet bireyde parametre değeri olarak yer almıştır.

Tüm bu parametre değerlerine bağılı olarak ortaya çıkan enerji performans metriğı ve günışığı metriğı incelendiğinde ise, enerji performans metriğinin genel olarak 155 kWh/m² ile 165 kWh/m² değerleri arasında değıştiğı görülürken, günışığı performans metriğinin yoğunlukla 95 ile 100 aralığında değer aldığı görülmüştür.

En yüksek enerji performansına sahip, yani en düşük enerji tüketimine sahip olan on sekizinci birey incelendiğinde, batı cephe cam oranının 0,2, güney cephe cam oranının ise 0,9 olduğu görülmektedir. Yapı kabuğı batıdan gelen güneş ışınlarının etkisini azaltmak isterken, güneyden gelen güneş ışınlarından yararlanmak üzerine şekillenmiştir. Dıştan yalıtımlı duvar tipinin kullanıldığı bireyde, dıştan yapılan ısı yalıtımı daha verimli bulunmuştur. Bu şekilde, yapı kabuğı kendisini saran yalıtım malzemesi ile birlikte sürekli olarak değışen dış hava koşullarından kesintisiz olarak yalıtılmakta ve kabuk elemanları da ısı depolama kapasitesinden yararlanmaktadır. Bireydeki cam sistemi parametresine bakıldığında ise, Tip 3 yani çift katmanlı LowE hava dolgulu cam sisteminin parametre olarak seçildiğı görülmektedir. U değeri ve SHGC değerlerinin, diğer cam sistemlerine göre daha düşük olmasıyla ısı kaybının daha az olması ve daha iyi güneş kontrolü sağlanmasıyla birlikte ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri azalmış, bu sayede de genel enerji tüketim değeri daha alt seviyelere çekilmiştir.

Optimum çözüm bireyleri içerisinde en iyi günışığı performansına sahip bireyler, 8., 13., 17., 19., 23. ve 25. bireyler olmuştur. Hepsi 98,7 sDA (300/%50) değerine ulaşmıştır. Bu bireylere bakıldığında güney cephe cam oranlarının 0,9 olduğu, batı cephe cam oranlarının ise 0,8 ve 0,5 değerlerini aldığı görülmektedir. Gölgeleme elemanları sayısına bakıldığında genel olarak 1 sayısı parametre değeri olarak belirlenmiştir. Yüksek cam oranları ve az sayıda gölgeleme elemanı ile birlikte güneş ışınlarının iç mekana girişı sağlanmış ve bu sayede performans metriğı değeri yükseltilmiştir.

5.2. Uygunluk Fonksiyonu ve Optimum Çözüm Bireyleri ile Mevcut Durumun Kıyaslanması

Tezin bu kısmı, pareto-önde yer alan optimum çözüm bireylerinin uygunluk değerlerinin hesaplanması ve bunların mevcut durumda var olan enerji ve günışığı performansı ile karşılaştırılması aşamasını içermektedir.

Uygunluk fonksiyonu için daha önce, Konis, Gamas ve Kensek (2016) ve Toutou ve diğerleri (2018) tarafından da kullanılan, aşağıda gösterilen formül kullanılmıştır.

$$\text{Uygunluk değeri} = (sDA_b - sDA_{\min}) C_1 - 1 (EUI_b - EUI_{\min}) C_2 \quad (5.1)$$

$$C_1 = 100 / (sDA_{\max} - sDA_{\min}); C_2 = 100 / (EUI_{\max} - EUI_{\min})$$

b: bireyin performans değeri

min: eniyileme sürecinde elde edilen en küçük değer

maks: eniyileme sürecinde elde edilen en büyük değer

Bu formül sonucunda ortaya çıkan uygunluk değerleri ve bunların mevcut yapı kabuğuyla elde edilen performans metrikleriyle kıyaslanması Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Uygunluk değerleri ve mevcut duruma göre değişim yüzdeleri incelendiğinde, en yüksek uygunluk değerine sahip pareto-ön bireyinin Birey 23, en düşük uygunluk değerine sahip pareto-ön bireyinin ise Birey 8 olduğu görülmüştür.

En düşük uygunluk değerlerine sahip Birey 8 ve Birey 13 dışında diğer optimum çözüm bireyleri enerji tüketimini en az %25 düşürerek, değerlendirilen enerji performansına büyük oranda katkıda bulunmuşlardır. Birey 8 ve Birey 13 cam sistemi olarak çift katmanlı LowE hava dolgulu cam sistemini kullanmalarına rağmen, duvar tipi olarak tek katmanlı duvar yani Tip 1’i kullandıkları için enerji performansında büyük bir artırımı gösterememişlerdir. Tip 2 ve Tip 4 duvar tipi parametresine sahip bireyler bu açıdan daha başarılı bir performans sergilemiştir. Ancak yüksek batı cephe cam oranı ve güney cephe cam oranına sahip olmalarından dolayı, her ne kadar enerji performansı diğer bireylere göre düşük olsa da, Birey 8 ve Birey 13 en yüksek sDA performans artışına sahip bireyler arasında yer almaktadır.

Çizelge 5.2. Nesillerde üretilen pareto-ön optimum çözüm bireylerinin uygunluk değerleri ve mevcut durumla kıyaslanması

	UYGUNLUK DEĞERİ	ENERJİ METRİĞİ	MEVCUT DURUMA GÖRE DEĞİŞİM (%)	GÜNEŞİĞİ METRİĞİ	MEVCUT DURUMA GÖRE DEĞİŞİM (%)
		EUI (kWh/m ²)		sDA	
mevcut durum	-	221,58	-	70,87	-
birey 23	96,02	160,60	-27,52	98,70	39,27
birey 25	95,94	160,66	-27,49	98,70	39,27
birey 15	94,45	161,03	-27,33	98,26	38,65
birey 20	93,86	160,73	-27,46	97,83	38,04
birey 16	93,77	160,80	-27,43	97,83	38,04
birey 12	91,98	162,89	-26,49	98,26	38,65
birey 19	91,34	164,13	-25,93	98,70	39,27
birey 11	91,31	162,66	-26,59	97,83	38,04
birey 17	91,21	164,23	-25,88	98,70	39,27
birey 24	90,63	158,68	-28,39	95,22	34,36
birey 9	90,3	164,37	-25,82	98,26	38,65
birey 22	89,47	158,81	-28,33	94,78	33,74
birey 21	89,28	158,95	-28,27	94,78	33,74
birey 14	89	161,41	-27,15	96,09	35,59
birey 10	88,09	162,10	-26,84	96,09	35,59
birey 7	87,92	159,23	-28,14	94,35	33,13
birey 6	87,29	164,94	-25,56	97,39	37,42
birey 18	87,11	157,59	-28,88	93,04	31,28
birey 3	80,76	163,15	-26,37	93,48	31,90
birey 1	74,46	176,12	-20,52	98,26	38,65
birey 4	60,45	162,79	-26,53	84,35	19,02
birey 2	53,89	161,00	-27,34	80,43	13,49
birey 5	42,17	160,89	-27,39	75,22	6,14
birey 13	35,5	206,32	-6,89	98,70	39,27
birey 8	31,08	209,65	-5,38	98,70	39,27

En düşük güneşliği performans değişim yüzdesine sahip bireyler Birey 2 ve Birey 5 olmuştur. Her iki bireyin de batı cephe cam oranı 0,2 iken güney cephe cam oranı 0,7'dir. Bu oranlar diğer bireylerin cephelerdeki cam oranı değerlerine kıyasla en düşük değerlere sahiptir. Birey 5'te kullanılan 0,30 m gölgeleme elemanı derinliği değeri ve 4 adet gölgeleme elemanı sayısı, güneşliği performansı gelişimini, Birey 2'ye kıyasla neredeyse yarı yarıya azaltmıştır. İki birey da her ne kadar yüksek enerji performansı gelişimi gösterse de, düşük güneşliği performansı değişimlerinden dolayı uygunluk değerleri bazında alt sıralarda kalmışlardır.

Genel olarak güneşliği performansı değerlendirilecek olursa, optimum çözüm bireylerinin büyük çoğunluğunun, mevcut durumdaki güneşliği performansını %30 ile %40 oranları arasında artırdığını söylemek mümkündür.

5.3. Güneşli ve Enerji Bağlamında Öne Çıkan Optimum Bireylerin İncelenmesi

Bu kısımda, bir önceki kısımda yapılan uygunluk değerine göre belirlenmiş denge bireyinin, eniyileme süreci içerisindeki en iyi güneşli performansına ve en iyi enerji performansına sahip bireylerin incelemesi daha detaylı olarak yapılmış ve yapı kabuğundaki değişimler sunulmuştur.

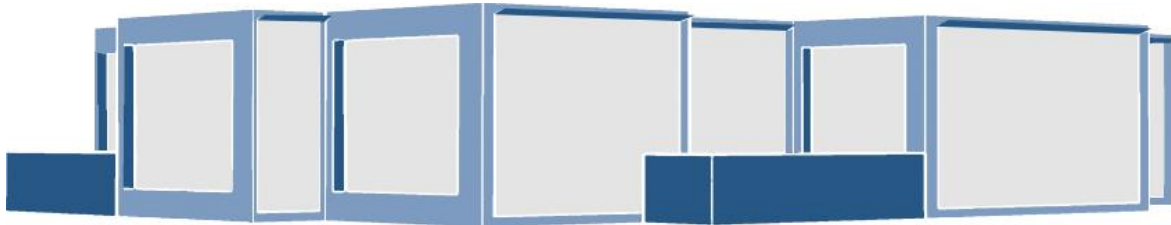
5.3.1. Denge bireyinin incelenmesi

Tezin alan çalışmasında gerçekleştirilen eniyileme sürecinin tüm bireyleri değerlendirildiğinde, diğer bireylere baskın olan pareto-ön optimum çözüm bireyleri arasında en yüksek uygunluk değerine sahip olan birey bu eniyileme sürecinin denge bireyi olarak seçilmiştir. Denge bireyi, güneşli ve enerji performansı arasındaki hedeflenen dengelenmiş performansa sahip olan optimum çözüme sahip bireydir.

Çizelge. 5.3. Denge bireyinin değer tablosu

UYGUNLUK DEĞERİ	BATI CEPHE CAM ORANI	GÜNEY CEPHE CAM ORANI	GÖLGELEME ELEMANLARI			DUVAR TİPİ	CAM TİPİ	ENERJİ METRİĞİ	GÜNEŞLİ METRİĞİ
			DERİNLİK	SAYI	AÇI			EUI (kWh/m ²)	sDA
96,02	0,5	0,9	0,15	1	-15	Tip-2/ Dıştan Yalıtımlı Duvar	Tip-3/ Çift Katmanlı LowE Hava Dolgulu	160,60	98,7

96,02 ile en yüksek uygunluk değerine sahip, pareto-ön bireyleri içerisindeki 23.birey yapılan eniyileme sürecinin denge bireyi olarak öne çıkmaktadır. Sekizinci nesilde üretilen bu birey, dokuzuncu nesilde de baskınlığını sürdürerek her iki nesilde de pareto-ön değerleri içerisinde yer almıştır.

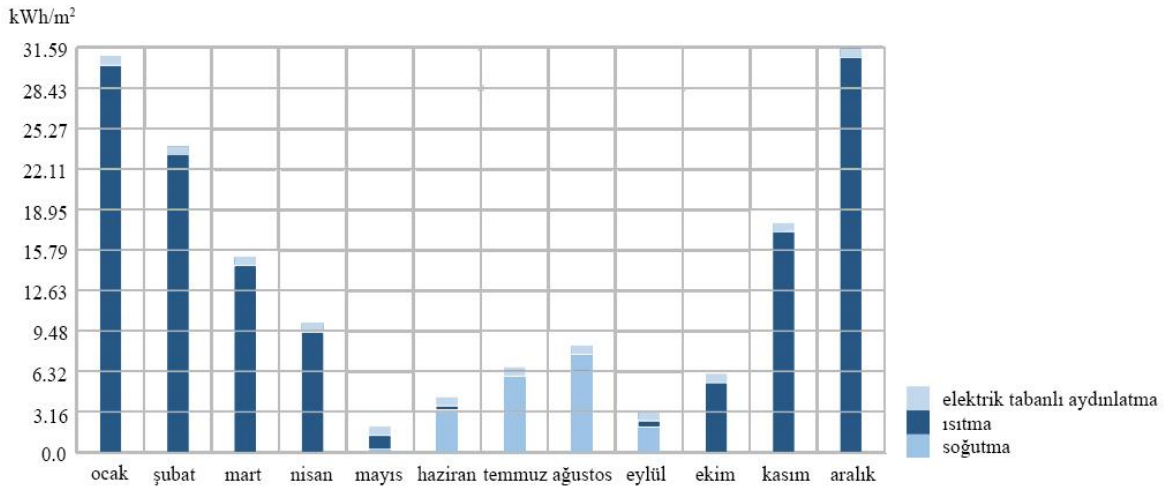


Şekil 5.4. Denge bireyinin parametreleriyle oluşan yapı kabuğu görüntüsü

Şekil 5.4'te görselleştirilen denge bireyinin, mevcut durumdaki yapı kabuğu ile birlikte oluşan enerji ve güneşli performansı ile performans karşılaştırılması yapıldığında, Çizelge

5.2’de de görülebileceği üzere enerji tüketiminin %27,52 azaldığı, sDA değerinin ise %39,27 gibi bir oranda iyileştiği görülmektedir.

Şekil 5.5’teki grafikten de görülebileceği üzere yıllık, elektrik tabanlı aydınlatma, ısıtma ve soğutma yüklerine bağlı toplam enerji tüketimi $160,60 \text{ kWh/m}^2$ olmuştur. Güneş ışığı performans metriği sDA(300/%50) değeri ise, denge bireyinde 98,7 değerini almıştır.



Şekil 5.5. Denge bireyinin parametreleriyle oluşan yapı kabuğuyla birlikte ortaya çıkan aylık enerji kullanım yoğunluğu

Güney cephedeki 0,9 gibi yüksek bir cam oranına sahip yapı kabuğu, yatak odalarının güney cephelerine de cam eklenmesiyle beraber güneş ışığı performans metriğini üst seviyelere taşımıştır. Gölgeleme elemanı sayısı 1 olurken, derinlik parametresi 0,15 m ve açılma parametresi ise -15° olarak denge bireyinde yer almıştır.

Yüksek cam oranlarına rağmen, duvar tipi olarak dıştan yalıtımlı duvarın, cam sistemi olarak ise çift katmanlı LowE hava dolgulu cam tipi seçilmesiyle birlikte ısı kaybı azaltılmış ve güneş ısı kazanç katsayısının da düşük olması ile birlikte daha iyi güneş kontrolü sağlanarak enerji tüketimindeki değer aşağılara çekilmiştir.

5.3.2. Güneş ışığı performansı bağlamında optimum bireyin incelenmesi

Güneş ışığı performans metriği incelendiğinde, tüm nesiller boyunca elde edilen en yüksek sDA değeri 98,7 olmuştur. Çizelge 5.4’te her nesilde 98,7 sDA değerine ulaşan bireylerin enerji performans metriği olan EUI değerleri tablolastırılmıştır. Bu bireylerden bazıları,

nesillerdeki pareto-ön optimum çözüm bireylerine katılırken, bazıları ise diğer bireyler tarafından bastırılmıştır. Çizelgeden de görülebileceği üzere EUI 160,6 kWh/m² ile 219,07 kWh/m² arasında değerler almıştır. Bu açıdan bireyler arasında bir değerlendirme yapıldığında, sDA değerleri eşit olduğu için en küçük EUI değerine ulaşan birey günışığı performansı bağlamında optimum birey olarak belirlenmiştir. Bu birey aynı zamanda bir önceki kısımda incelenen denge bireyidir. Eniyileme işlemi sürecinde denge bireyi ile günışığı performansı bağlamında optimum birey aynı parametrelere ve değerlere sahip olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.4. 98,7 sDA (300/%50) değerine sahip bireylerin EUI değerleri

98,7 sDA değerine sahip bireylerin EUI değerleri	Nesil 1	Nesil 2	Nesil 3	Nesil 4	Nesil 5	Nesil 6	Nesil 7	Nesil 8	Nesil 9
	209,65	209,65	206,32	205,98	164,23	164,13	160,66	160,6	160,6
		218,44	209,65	206,32	205,98	164,23	164,13	160,66	160,66
			218,44	206,83	206,32	177,45	164,23	164,13	164,13
			219,07	209,65	206,83	205,98	177,45	164,23	164,23
				218,44	209,65	206,32	205,98	164,73	164,73
				219,07	218,23	206,83	206,32	177,45	177,45
					218,44	209,65	206,34	205,98	
		nesilde ortaya çıkan yeni değerler			218,66		207,05		
		bir önceki nesile eş olarak ortaya çıkan değerler			219,07				

5.3.3. Enerji performansı bağlamında optimum bireyin incelenmesi

Enerji performansı bağlamında optimum bireyin bulunabilmesi için, tüm nesillerdeki en düşük enerji tüketimi değerleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda ön çıkan değerler, 160,89, 159,23, 158,24 ve 157,59 değerleri olmuştur. Tüm nesiller boyunca 157,59 kWh/m²'den daha düşük bir enerji performans metriğine rastlanmamıştır. Bu performans metriği değeri altıncı nesilde üretilmiş ve diğer nesillerde de baskınlığını sürdürerek pareto-ön değerleri içerisinde yer almıştır.

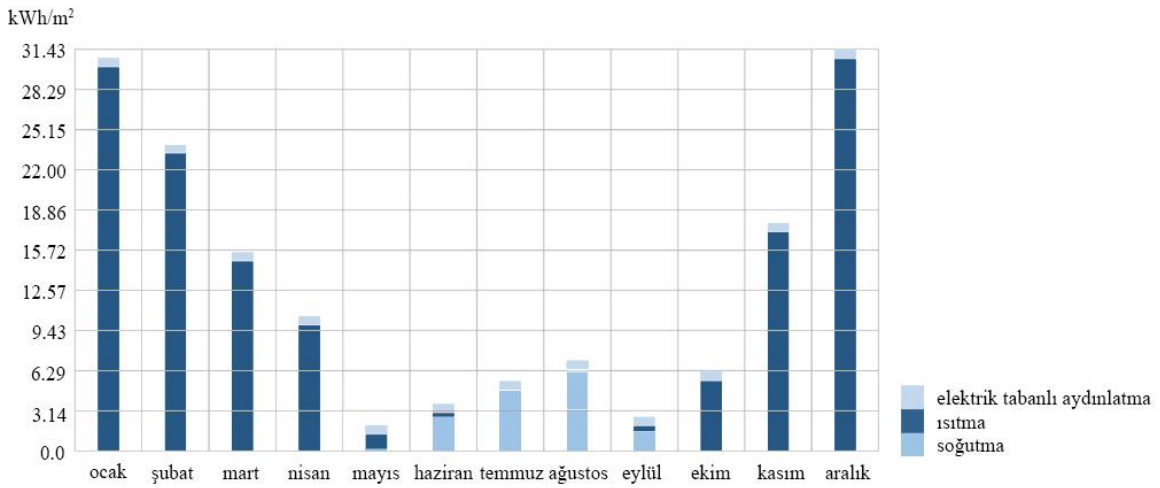
Çizelge. 5.5. Enerji performansı en yüksek bireyin değer tablosu

UYGUNLUK DEĞERİ	BATI CEPHE CAM ORANI	GÜNEY CEPHE CAM ORANI	GÖLGELEME ELEMANLARI			DUVAR TİPİ	CAM TİPİ	ENERJİ METRİĞİ	GÜNEŞİĞİ METRİĞİ
			DERİNLİK	SAYI	AÇI			EUI (kWh/m ²)	sDA
87,11	0,2	0,9	0,25	1	-30	Tip-2/ Dıştan Yalıtımlı Duvar	Tip-3/ Çift Katmanlı LowE Hava Dolgulu	157,59	93,04



Şekil 5.6. Enerji performansı bağlamında belirlenen optimum bireyin yapı kabuğu görüntüsü

Şekil 5.6’da görselleştirilen enerji performansı bağlamında belirlenen optimum bireyin, mevcut durumdaki yapı kabuğu ile birlikte oluşan enerji ve güneş ışığı performansı ile performans karşılaştırılması yapıldığında, Çizelge 5.2’de de görülebileceği üzere enerji tüketiminin %28,88 oranında azaldığı, sDA değerinin ise %31,28 gibi bir oranda iyileştiği görülmektedir.



Şekil 5.7. Enerji performansı bağlamında belirlenen optimum bireyin parametreleriyle oluşan yapı kabuğuyla birlikte ortaya çıkan aylık enerji kullanım yoğunluğu

Şekil 5.7’de 157,59 kWh/m² enerji kullanım yoğunluğu değerine sahip bireyin, elektrik tabanlı aydınlatma, ısıtma ve soğutma yükleri bağlamındaki yıllık enerji tüketimi gösterilmektedir. Nesillerdeki pareto-ön değerleri içerisinde yer alan bu birey, optimum çözüm bireylerinin değerlendirildiği uygunluk değerleri kapsamında diğer değerler içerisinde 18. sırada yer almaktadır. Uygunluk değeri ise 87,11 olarak hesaplanmıştır.

Birey parametrelerine bakıldığında, batı cephe cam oranının 0,2, güney cephe cam oranının ise 0,9 olduğu görülmektedir. Batıdan gelen güneş ışınlarının etkisi azaltılmak istenirken, güneyden gelen güneş ışınlarından maksimum seviyede yararlanılmak istenmiştir.

Gölgeleme elemanı sayısı 1 olurken, derinlik parametresi 0,25 m ve açı parametresi ise -30° olarak değer almıştır. Duvar tipi ve cam sistemi tipi ise, diğer enerji kullanım yoğunluğu düşük bireylerde olduğu gibi, dıştan yalıtımlı duvar ve çift katmanlı LowE hava dolgulu cam olmuştur. Bunun sebebi daha önce açıklandığı üzere, ısı kayıplarının daha aza indirgenip, daha etkili bir şekilde güneş kontrolü sağlanmak istenmesidir. Bu şekilde ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri azaltılmakta, bu sayede de genel enerji tüketim değeri daha alt seviyelere çekilmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sürekli olarak artan enerji ihtiyacı ve kaynakların hızla tüketilmesi sonucunda doğaya geri dönüşü olmayan tahribatların verilmesi, enerji ve kaynak tüketimindeki küresel payı oldukça büyük olan yapı sektörünü de daha az enerji tüketmeye ve sürdürülebilir kaynaklardan maksimum fayda sağlayan yüksek performanslı yapıların tasarımına doğru yönlendirmiştir.

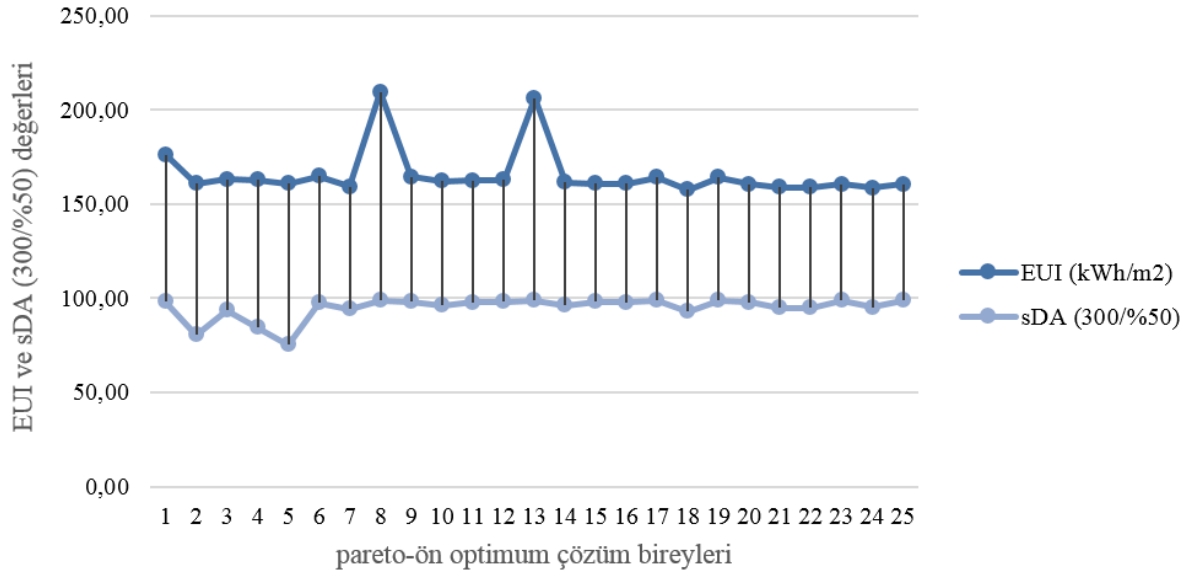
Erken tasarım aşamalarında alınan tasarım kararları ile birlikte yapılarda hedeflenen enerji ve güneş ışığı performansı üst seviyelere çıkarılabilmekte ve böylelikle yapıların enerji korunumu ideal oranlarda sağlanabilmektedir. Güneş ışığı ve enerji bağlamında yapılar değerlendirildiğinde, performans hedeflerine ulaşmanın en kolay ve etkili yollarından birisi yapı kabuğunun tasarımı ile birlikte ortaya çıkabilecek enerji kullanım yoğunluklarını azaltmak ve iç mekan için gerekli güneş ışığı metriklerini sağlamaktır. Yapı kabuğu iç mekan ve dış mekan arasında bir bariyer görevi görmekte ve yapıların ısıtma, soğutma ve elektrik kaynaklı aydınlatma yüklerini ve güneş ışığı performansını doğrudan etkilemektedir.

Son yıllarda teknoloji alanındaki gelişmeler ve tasarım alanında hesaplamaya dayalı bir süreç benimsenmesiyle birlikte mimarlık pratiği yeniden tanımlanmaktadır. Hesaplamalı tasarım pratiği üretken tasarım sürecini desteklemekte ve böylece erken tasarım aşamalarında çoklu tasarım seçenekleri değerlendirilerek, ortaya konulan tasarım ve performans hedeflerine daha kolay ulaşılmaktadır. Bu süreçte, belirlenen hedeflere ulaşmada kullanılan parametrik tasarım araçları ve eniyileme yöntemleri tasarım alternatiflerinin verimli bir şekilde değerlendirilip, bunlar arasından elde edilebilecek optimum çözümlerin bulunmasını mümkün kılmaktadır.

Bu kapsamda, bu tez çalışmasında erken tasarım aşamasında yapı kabuklarının güneş ışığı ve enerji bağlamında eniyilenmesine yönelik olarak bir süreç ortaya konulmuştur. Süreç genel olarak parametrik tasarım, güneş ışığı ve enerji simülasyonu ve eniyileme aşamalarını içermektedir. Bu süreçle birlikte, tasarımcıların yapı kabuklarına yönelik olarak ortaya çıkan tasarım alternatiflerini keşfetmesi, her bir alternatifin güneş ışığı ve enerji performansını değerlendirmesi ve otomatik olarak optimum çözümlere sahip tasarım seçeneklerini elde etmesi sağlanmaktadır.

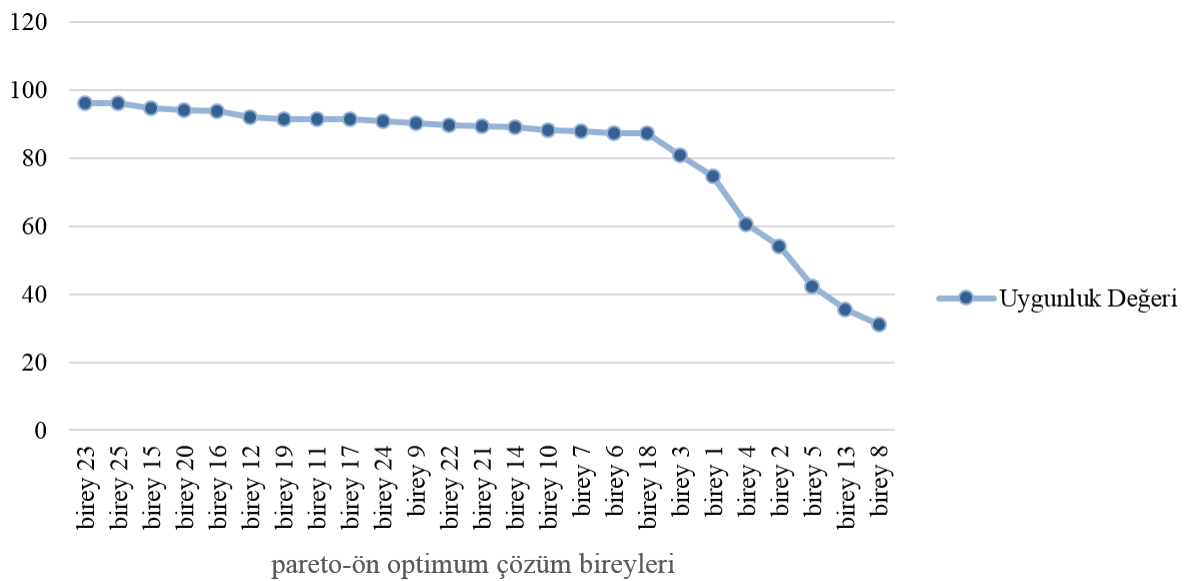
Alan çalışması için, son yıllarda sürekli olarak artan konut üretimi ve bağlama bakılmaksızın ortaya konulan birbirine benzer tip tasarıma sahip konut yapılarının değerlendirilmesine yönelik olarak Ankara’da yer alan ve konut yapıları içerisinde en çok tercih edilen türlerden biri olan bir apartman yapısı seçilmiştir. Apartman yapısındaki dairelerin katta simetrik olarak yer alması ve her katta aynı plan şeması kullanılması dolayısıyla, yıl içerisinde en çok ışınlama sahip olan güney-batı cepheden bir daire örnek olarak belirlenerek çalışmalar bu daire üzerinden yürütülmüştür. Seçilen daire, eniyileme sürecine dahil edilecek olan yapı kabuğu parametrelerine bağlı olarak Rhino programında modellenerek, Grasshopper yazılımının ara yüzüne tanımlanmıştır. Grasshopper yazılımı üzerinde Ladybug ve Honeybee eklentileri ile birlikte, günışığı ve enerji simülasyonuna yönelik olarak bir dizi kurulum yapılmış ve ortaya çıkan model yine Grasshopper üzerinden simülasyon motorlarına aktararak günışığı ve enerji performans metrikleri elde edilmiştir. Enerji performansını değerlendirmek için OpenStudio ve EnergyPlus simülasyon motorlarından yararlanılırken, günışığı performansını değerlendirmek için Radiance ve Daysim simülasyon motorlarından yararlanılmıştır. Enerji simülasyonu ile birlikte dairenin ısıtma, soğutma ve elektrik kaynaklı aydınlatma bazında enerji kullanım yoğunlukları ve günışığı simülasyonu ile birlikte de sDA (300/%50) performans metriği elde edilmiştir. Performans metriklerinin elde edilmesinin ardından, çok amaçlı eniyilemeyi gerçekleştirmek için evrimsel seçim algoritmalarını kullanan Grasshopper’ın bir başka eklentisi Octopus’tan yararlanılmıştır.

Yapı kabuğunun eniyilenmesine yönelik olarak evrimsel seçim sürecine, batı cephe cam oranı, güney cephe cam oranı, gölgeleme elemanlarının derinliği, sayısı, açısı, duvar tipi ve cam sistemi tipi olmak üzere toplam yedi parametre gen olarak, enerji ve günışığı performans metrikleri ise amaç olarak dahil edilmiştir. Eniyileme sonucunda değerlendirmeye alınan toplam dokuz nesil boyunca birçok birey üretilmiş ve her bir nesil bir önceki nesile göre performans amaçlarını iyileştirmeye yönelik olarak ilerlemiştir. Dokuz nesil boyunca üretilen bu bireyler arasında 25 adet pareto-ön (*pareto-front*) optimum çözüm bireyi oluşmuştur. Her bir pareto-ön bireyi parametre seçimleriyle farklılaşarak, çeşitli EUI ve sDA (300/%50) performans metrikleri değerlerini ortaya koymuştur. Şekil 6.1’deki grafikten de görülebileceği üzere, enerji performans metriği için bu değerler, 209,65 kWh/m² ile 157,59 kWh/m² arasında değişirken, günışığı performans metriği için ise, 75,22 ile 98,7 arasında değişmiştir.



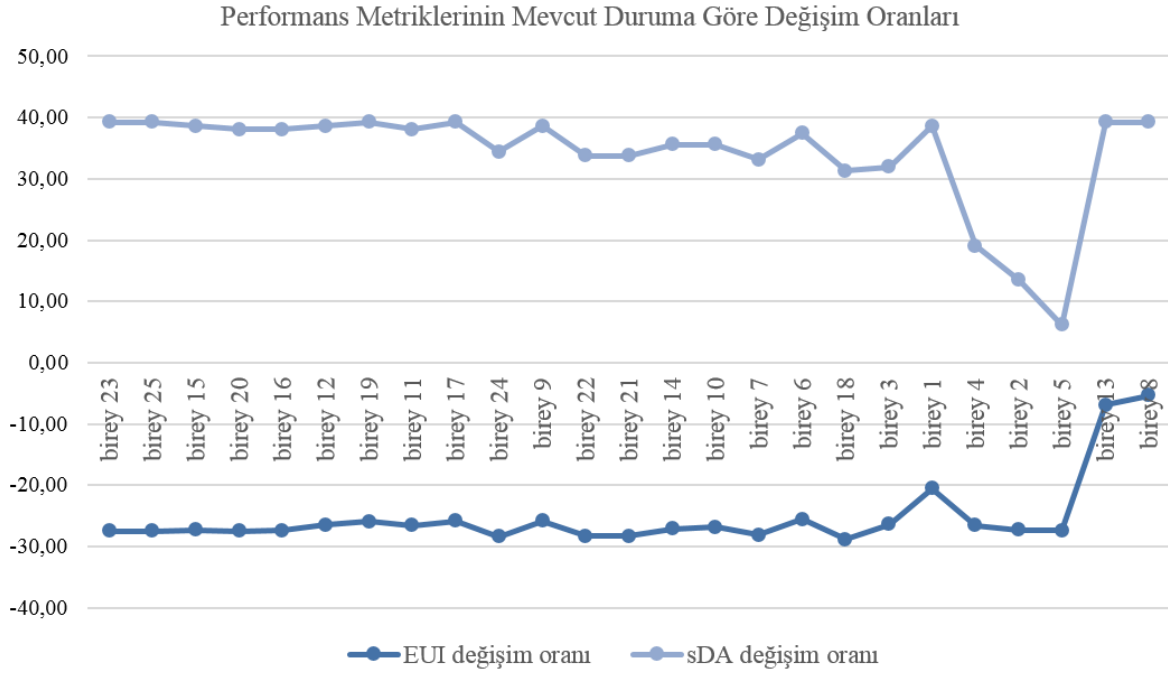
Şekil 6.1. Nesillerde üretilen pareto-ön optimum çözüm bireyleri performans metrik değerleri

Bulgulara yönelik daha detaylı bir okuma yapabilmek için optimum çözüm bireylerinin uygunluk fonksiyonu dahilinde değerlendirilmesiyle birlikte bireylerin, eniyileme amaçlarına yönelik olarak, uygunluk değerleri bulunmuştur. Buna göre nesillerde üretilen pareto-ön optimum çözüm bireyleri içerisinde en yüksek uygunluk değerine sahip 23.birey, yapılan eniyileme işleminin denge bireyi olarak belirlenmiştir. Denge bireyi sekizinci nesilde ortaya çıkmış ve dokuzuncu nesilde de baskınlığını sürdürerek her iki nesilde de pareto-ön değerleri içerisinde yer almıştır.



Şekil 6.2. Nesillerde üretilen pareto-ön optimum çözüm bireylerinin uygunluk değerleri

Şekil 6.3'ten de görülebileceği üzere, denge bireyinin tasarım parametreleriyle birlikte ortaya konulan performans metrikleriyle mevcut yapı kabuğunu oluşturan tasarım parametreleriyle birlikte ortaya konulan performans metrikleri kıyaslandığında, enerji kullanım yoğunluğuna bağlı ortaya çıkan enerji tüketimi %27,2 oranında azaltılırken, sDA (300/%50) bağlamında günışığı performansı ise %39,27 oranında iyileştirilmiştir.



Şekil 6.3. Nesillerde üretilen optimum çözüm bireylerinin performans metriklerinin mevcut durumdaki yapı kabuğunun performans metriklerine göre değişim yüzdeleri

Nesiller üzerinde yapılan incelemelerde günışığı performansı bağlamında optimum birey denge bireyiyle aynı olarak bulunmuştur. Enerji performansı için ise optimum birey altıncı nesilde üretilmiş ve diğer nesillerde de baskınlığını sürdürerek pareto-ön çözümleri içerisinde yer almıştır (Birey 18). Bu birey ile birlikte enerji tüketimi %28,88 oranında azaltılmış, günışığı performansı değeri ise %31,28 oranında iyileştirilmiştir.

Elde edilen bu verilerle birlikte “Yapı kabuklarının günışığı ve enerji bağlamında eniyilenmesi, parametrik tasarım ve algoritmalara dayalı eniyileme teknikleri kullanılarak sağlanabilir mi?” sorusunun cevabı olumlu olarak bulunmuştur. Yapı kabuklarının tasarım parametrelerine dayalı olarak geliştirilen bu süreçte, saydam ve opak yüzey oranlarının, gölgeleme elemanı biçim ve sayılarının, duvarlarda kullanılan malzemelerin, yalıtımın, cam sistemlerinde tercih edilen malzeme ve dolgu elemanlarının performans metriklerini nasıl etkilediği ortaya konulmuştur.

Yapı kabukları için yapılan bu eniyileme çalışması, enerji performansını geliştirmede bir yöntem olarak kullanılabilir. Sürece dahil edilecek olan parametrelerin sayısı artırılarak daha verimli sonuçlar elde etmek mümkündür. Bu tezde uygulanan yöntem, erken tasarım aşamasında alınan tasarım kararları ile birlikte günışığı ve enerji performans değerlerinin iyileştirilmesini desteklemektedir. Bu eniyileme sürecini, farklı iklimlerde tasarlanacak olan farklı yapı türleri üzerinde de kullanabilmek mümkündür. Gelecek çalışmalarda daha etkili sonuçlar elde edebilmek için, eniyileme amaçlarına maliyet, ısı konfor, görsel konfor, yaşam döngüsü performansı gibi başka amaçlar eklenebilir.

KAYNAKLAR

- Aish, R. ve Woodbury, R. (2005). *Multi-level Interaction in Parametric Design*. Paper presented at the International Symposium on Smart Graphics, Frauenwörth Cloister, Germany.
- Al-Din, S. S. M., Iranfare, M. ve Surchi, Z. N. S. (2017). Building Thermal Comfort Based on Envelope Development: Criteria for selecting right case study in Kyrenia-North Cyprus. *Energy Procedia*, 115, 80-91.
- Almusharaf, A. M. (2011). *Incorporating The Structure of Tall Buildings Within An Architectural Form Generation Process*. Doctor of Philosophy, Illinois Institute of Technology, Chicago.
- Athienitis, A. ve O'Brien, W. (2015). *Modeling, Design, and Optimization of Net-Zero Energy Buildings*. Berlin, Germany: John Wiley & Sons, 1-3.
- Attia, S., Hamdy, M., O'Brien, W. ve Carlucci, S. (2013). Assessing Gaps and Needs for Integrating Building Performance Optimization Tools in Net Zero Energy Buildings Design. *Energy Buildings*, 60, 110-124.
- Azhar, S. ve Brown, J. (2009). BIM for sustainability analyses. *International Journal of Construction Education Research*, 5(4), 276-292.
- Bader, J. ve Zitzler, E. (2011). HypE: An algorithm for fast hypervolume-based many-objective optimization. *Evolutionary computation*, 19(1), 45-76.
- Baker, N. ve Steemers, K. (2002). *Daylight Design of Buildings: A Handbook for Architects and Engineers*. London: James & James.
- Bentley, P. J. ve Corne, D. W. (2002). An Introduction to Creative Evolutionary Systems. In P. J. Bentley ve D. W. Corne (Eds.), *Creative Evolutionary Systems*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1-75.
- Bernstein, P. (2018). Foreword. 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, VI-IX.
- Bernstein, P. ve Jezyk, M. (2014). Models and Measurement: Changing Design Value with Simulation, Analysis and Outcomes. In K. Kensek ve D. Noble (Eds.), *Building Information Modeling: BIM in Current Future Practice*. USA: John Wiley & Sons, 79-93.
- Beyhan, F. ve Alagoz, M. (2019). Swot Analysis of Performance Based Optimum Building Envelope Design Methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471, 082040.
- Bodart, M. ve De Herde, A. (2002). Global Energy Savings in Offices Buildings by The Use of Daylighting. *Energy Buildings*, 34(5), 421-429.

- Borgstein, E., Lamberts, R. ve Hensen, J. (2016). Evaluating energy performance in non-domestic buildings: A review. *Energy Buildings*, 128, 734-755.
- Bucci, F. ve Mulazzani, M. (2002). *Luigi Moretti: Works and Writings*. USA: Princeton Architectural Press.
- Carlucci, S., Pagliano, L., O'Brien, W. ve Kapsis, K. (2015). Comfort Considerations in Net ZEBs: Theory and Design. In A. Athienitis ve W. O'Brien (Eds.), *Modeling, Design, and Optimization of Net-Zero Energy Buildings*. Berlin, Germany: John Wiley & Sons, 75-106.
- Chan, Y.C. (2015). *Integrated Analysis of Building Perimeter Zones with Multi-Functional Façade Systems*. Doctor of Philosophy, Purdue University, West Lafayette.
- Choudhary, R. ve Michalek, J. (2005). *Design Optimization in Computer-Aided Architectural Design*. Paper presented at the International Conference of the Association for Computer Aided Architectural Design Research Asia, New Delhi.
- Chronis, A., Liapi, K. A. ve Sibetheros, I. (2012). A Parametric Approach to the Bioclimatic Design of Large Scale Projects: The Case of a Student Housing Complex. *Automation in Construction*, 22, 24-35.
- Clayton, M. J. (2014). Modeling Architectural Meaning. In K. Kensek ve D. Noble (Eds.), *Building Information Modeling: BIM in Current Future Practice*, USA: John Wiley & Sons, 29-41.
- Cook, M. (2008). *The Design Quality Manual: Improving Building Performance*. Singapore: Blackwell Publishing, 1-2.
- de Wilde, P. (2019). Ten Questions Concerning Building Performance Analysis. *Building and Environment*, 153, 110-117.
- Dino, I. (2012). Creative Design Exploration by Parametric Generative Systems in Architecture. *METU Journal of Faculty of Architecture*, 29(1), 207-224.
- Edwards, L. ve Torcellini, P. (2002). *Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants*. Retrieved from National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, US.
- 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.
- Elbeltagi, E., Hegazy, T. ve Grierson, D. (2005). Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms. *Advanced Engineering Informatics*, 19(1), 43-53.
- Eltaweel, A. ve Yuehong, S. (2017). Parametric Design and Daylighting: A Literature Review. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 73, 1086-1103.

- Energy, U. S. (2017). International Energy Outlook 2017. *International Energy Outlook*, vol. IEO2017, 1-150.
- Erickson, J. (2013). *Envelope As Climate Negotiator: Evaluating Adaptive Building Envelope's Capacity To Moderate Indoor Climate And Energy*. Doctor of Philosophy, Arizona State University, Tempe, Arizona.
- Evins, R. (2013). A Review of Computational Optimisation Methods Applied to Sustainable Building Design. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 22, 230-245.
- Fang, Y. (2017). *Optimization of Daylighting and Energy Performance Using Parametric Design, Simulation Modeling, and Genetic Algorithms*. Ph.D. in Design, North Carolina State University, Raleigh.
- Farias, F. (2013). *Contemporary Strategies for Sustainable Design*. Doctor of Philosophy, Texas A&M University, College Station.
- Frazer, J. (1995). *An Evolutionary Architecture*. London: Architectural Association Publications, 78.
- Frazer, J. (2002). Creative Design and the Generative Evolutionary Paradigm. In P. J. Bentley ve D. W. Corne (Eds.), *Creative Evolutionary Systems*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 253-274.
- Frazer, J. (2016). Parametric Computation History and Future. In P. Schumacher (Ed.), *Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's Agenda for the 21st Century*. London: John Wiley & Sons, 18-23.
- Friedman, A. (2012). *Fundamentals of Sustainable Dwellings*. Washington USA: Island Press, 70-71, 159.
- Gagne, J. M. L. (2011). *An Interactive Performance-Based Expert System for Daylighting in Architectural Design*. Doctor of Philosophy, Massachusetts Institute of Technology, Boston.
- Gerber, D. J., Lin, S.H. E., Pan, B. P. ve Solmaz, A. S. (2012). *Design optioneering: multi-disciplinary design optimization through parameterization, domain integration and automation of a genetic algorithm*. Paper presented at the Proceedings of the 2012 Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, Orlando, Florida.
- Geyer, P. ve Buchholz, M. (2012). Parametric Systems Modeling for Sustainable Energy and Resource Flows in Buildings and Their Urban Environment. *Automation in Construction*, 22, 70-80.
- Ghobad, L. (2013). *Analysis of Daylighting Performance and Energy Savings in Roof Daylighting Systems*. Doctor of Philosophy, North Carolina State University, Raleigh.

- Ghoreishi, A. (2015). *Assessment of Thermal Mass Property for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Concrete Office Buildings*. Doctor of Philosophy, University of Illinois, Urbana-Champaign.
- Goldman, G. ve Zarzycki, A. (2014). Smart Buildings/Smart(er) Designers: BIM and the Creative Design Process. In K. Kensek ve D. Noble (Eds.), *Building Information Modeling: BIM in Current Future Practice*. USA: John Wiley & Sons, 1-16.
- Govindarajan, A. (2011). *Optimization of Processes for Sustainability*. Master of Science, Oklahoma State University, Oklahoma.
- Grady, J. G. (2012). *A Simulation Tool Utilizing Parametric Primitives For Climate-Based Dynamic Daylighting and Energy Analysis*. Doctor of Philosophy, North Carolina State University, Raleigh.
- 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.
- Halıcı, A., Güngören, M., Öztürk, P., Atan, Ö. ve Kasımoğlu, M. (2012). Strategic Analysis of Turkish Energy Industry: Developing a Strategic Model for Resources Optimization. *Procedia-Social Behavioral Sciences*, 58, 84-92.
- Han, T., Huang, Q., Zhang, A. ve Zhang, Q. (2018). Simulation-Based Decision Support Tools in the Early Design Stages of a Green Building—A Review. *Sustainability*, 10(10), 3696.
- Harputlugil, G. ve Kılınç, B. (2016). Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri. Ankara: İDEKAF (İletişimde Değişik Kafalar), 6.
- Hassan, A. A. (2017). *The Bioenclos (c) Facade Panel: From Selection to Design, Assessment, and Beyond*. Doctor of Philosophy, Illinois Institute of Technology, Chicago.
- Hens, H. S. (2016). *Applied Building Physics: Ambient Conditions, Building Performance and Material Properties*. Berlin, Germany: Ernst & Sohn, 55.
- Hensel, M. (2013). *Performance-Oriented Architecture: Rethinking Architectural Design and the Built Environment*. Italy: John Wiley & Sons, 55.
- Hernandez, C. R. B. (2006). Thinking Parametric Design: Introducing Parametric Gaudi. *Design Studies*, 27(3), 309-324.
- Heschong, L., Wymelenberg, V. D., Andersen, M., Digert, N., Fernandes, L., Keller, A. ve diğerleri (2012). *Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*, New York: IES - Illuminating Engineering Society.
- Ihm, P., Nemri, A. ve Krarti, M. (2009). Estimation of Lighting Energy Savings From Daylighting. *Building Environment*, 44(3), 509-514.

- İnternet: Ankara Kalkınma Ajansı, *İstatistiklerle Ankara 2017 Raporu*, URL: https://www.ankaraka.org.tr/tr/istatistiklerle-ankara-2017_4028.html, Son Erişim Tarihi: 29.10.2019
- İnternet: Grove Towers, URL: <https://www.archello.com/project/grove-towers#stories>, Son Erişim Tarihi: 07.05.2019
- İnternet: BEST Directory, Building Energy Software Tools, URL: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/>, Son Erişim Tarihi: 27.12.2018
- İnternet: Heydar Aliyev Center, URL: <https://www.inexhibit.com/mymuseum/heydar-aliyev-center-baku-azerbaijan-zaha-hadid/>, Son Erişim Tarihi: 29.12.2018
- İnternet: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Göstergeler, Sektörlere Göre Toplam Enerji Tüketimi, URL: <https://www.cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-toplam-enerji-tuketimi-i-85800>, Son Erişim Tarihi: 20.10.2019
- İnternet: A History of Parametric, URL: <http://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/>, Son Erişim Tarihi: 13.11.2018
- İnternet: The Sequis Centre Tower in Jakarta by KPF Breaks Ground, URL: <https://www.designboom.com/architecture/the-sequis-centre-tower-in-jakarta-by-kpf-breaks-ground-12-17-2013>, Son Erişim Tarihi: 28.12.2018
- İnternet: Türkiye'de Konut Sektöründe Enerji Tasarrufu, URL: https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/d616dd38211ebb5_ek.pdf?%20dergi=160, Son Erişim Tarihi: 28.10.2019
- İnternet: Archsim Energy Modeling For Grasshopper, URL: <https://www.es.aap.cornell.edu/research/archsim/>, Son Erişim Tarihi: 28.12.2018
- İnternet: Samba Headquarters, URL: <https://www.fosterandpartners.com/projects/samba-headquarters/>, Son Erişim Tarihi: 28.12.2018
- İnternet: What Is Dynamo and 5 Reasons You Should Be Using It, URL: <https://www.archsmarter.com/what-is-dynamo-revit/>, Son Erişim Tarihi: 11.12.2018
- İnternet: Sequis Tower, URL: <https://www.kpf.com/projects/sequis-center>, Son Erişim Tarihi: 26.12.2018
- İnternet: BBVA Bancomer Operations Center, URL: https://www.theplan.it/eng/project_shortlist/1375, Son Erişim Tarihi: 26.12.2018
- İnternet: Study: Hanwha Headquarters Responsive Facade, Part 1, URL: <https://www.unstudio.com/en/page/5879/study-hanwha-headquarters-responsive-facade-part-1>, Son Erişim Tarihi: 25.12.2018

İnternet: Study: Hanwha Headquarters Responsive Facade, Part 2, URL: <https://www.unstudio.com/en/page/5882/study-hanwha-headquarters-responsive-facade-part-2>, Son Erişim Tarihi: 25.12.2018

İnternet: Hanwha Headquarters Remodelling, URL: <https://www.unstudio.com/en/page/3405/hanwha-headquarters-remodelling>, Son Erişim Tarihi: 25.12.2018

İnternet: SOM Sustainable Engineering Brochure, URL: http://www.som.com/FILE/24019/som_sustainableengineering_brochure_compress_e.pdf, Son Erişim Tarihi: 26.12.2018

İnternet: 2018 World Population Review, URL: <http://www.worldpopulationreview.com/>, Son Erişim Tarihi: 03.12.2018

İnternet: Bilişim Terimleri Sözlüğü, URL: http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bts&view=btsvekategori1=veritbnvekelimesec=11689, Son Erişim Tarihi: 23.11.2018

İnternet: URL: <http://www.google.com/maps/>, Son Erişim Tarihi: 05.11.2019

İnternet: Optimization, URL: <https://www.parametric.support/optimization/>, Son Erişim Tarihi: 16.12.2019

İnternet: Gen, URL: <https://www.sozluk.gov.tr/?kelime=gen>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019

İnternet: Fenotip ve Genotip Nedir?, URL: <https://www.bilim-teknoloji.com/forum/konu/fenotip-ve-genotip-nedir/>, Son Erişim Tarihi: 16.12.2019

John, G., Clements-Croome, D. ve Jeronimidis, G. (2005). Sustainable Building Solutions: A Review of Lessons from The Natural World. *Building Environment*, 40(3), 319-328.

Karizi, N. (2015). *An Adaptive Intelligent Integrated Lighting Control Approach for High-Performance Office Buildings*. Doctor of Philosophy, Arizona State University, Tempe, Arizona.

Kazanasmaz, T., Uygun, I. E., Akkurt, G. G., Turhan, C. ve Ekmen, K. E. (2014). On the relation between architectural considerations and heating energy performance of Turkish residential buildings in Izmir. *Energy Buildings*, 72, 38-50.

Kim, M., Kirby, L. ve Krygiel, E. (2016). *Mastering Autodesk Revit 2017 for Architecture*: USA: John Wiley & Sons, 5-843.

Kolokotroni, M., Robinson-Gayle, S., Tanno, S. ve Cripps, A. (2004). Environmental Impact Analysis for Typical Office Facades. *Building Research Information*, 32(1), 2-16.

- Konis, K., Gamas, A. ve Kensek, K. (2016). Passive performance and building form: An optimization framework for early-stage design support. *Solar Energy*, 125, 161-179.
- Krietemeyer, E. A. (2013). *Dynamic design framework for mediated bioresponsive building envelopes*. Doctor of Philosophy, Rensselaer Polytechnic Institute, New York.
- Lam, W. M. (1985). *Sunlighting as Formgiver for Architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold, 4.
- Li, D. H. ve Lam, J. C. (2003). An Investigation of Daylighting Performance and Energy Saving in A Daylit Corridor. *Energy Buildings*, 35(4), 365-373.
- Lin, S.H. (2014). *Designing-In Performance: Energy Simulation Feedback For Early Stage Design Decision Making*. Doctor of Philosophy, University of Southern California, Los Angeles.
- Lin, S.H. ve Gerber, D. J. (2014). Designing-in performance: A framework for evolutionary energy performance feedback in early stage design. *Automation in Construction*, 38, 59-73.
- Lin, S.H. ve Gerber, D. J. (2014a). Evolutionary Energy Performance Feedback for Design: Multidisciplinary Design Optimization and Performance Boundaries for Design Decision Support. *Energy Buildings*, 84, 426-441.
- MacKnight, P. (2018). *The Learning Facade*. Master of Science, The University of North Carolina, Charlotte.
- Makris, M. P. (2013). *Structural Design Tool for Performative Building Elements: A Semi-Automated Grasshopper Plugin for Design Decision Support of Complex Trusses*. Master of Building Science, University of Southern California, Los Angeles.
- Malkawi, A. M. (2004). Developments in Environmental Performance Simulation. *Automation in Construction*, 13(4), 437-445.
- Mohsenin, M. (2015). *Assessing Daylight Performance in Atrium Buildings by Using Climate Based Daylight Modeling*. Doctor of Philosophy, North Carolina State University, Raleigh.
- Nabil, A. ve Mardaljevic, J. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research Technology*, 37(1), 41-57.
- Negendahl, K. ve Nielsen, T. R. (2015). Building Energy Optimization in the Early Design Stages: A Simplified Method. *Energy Buildings*, 105, 88-99.
- Ng, R. (2013). Introduction: Experimental Performances: Materials as Actors. In R. Ng ve S. Patel (Eds.), *Performative Materials in Architecture and Design*. Chicago, USA: Intellect, 1-18.

- Nguyen, A.T., Reiter, S. ve Rigo, P. (2014). A Review on Simulation-Based Optimization Methods Applied to Building Performance Analysis. *Applied Energy*, 113, 1043-1058.
- Oral, G. K., Yener, A. K. ve Bayazit, N. T. (2004). Building Envelope Design with the Objective to Ensure Thermal, Visual and Acoustic Comfort Conditions. *Building Environment*, 39(3), 281-287.
- Oxman, R. (2017). Parametric design thinking. *Design Studies*, 52, 1-3.
- Özdemir, B. (2005). *Sürdürülebilir Çevre İçin Binaların Enerji Etkin Pasif Sistemler Olarak Tasarlanması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- 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.
- Peters, B. ve Peters, T. (2018). Introduction. 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, 1-13
- Peters, T. (2018a). Architecture Shapes Performance: GXN Advances Solar Modelling And Sensing. 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, 128-137.
- Peters, T. (2018b). New Dialogues About Energy: Performance, Carbon and Climate. 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, 14-27.
- Radford, A. D. ve Gero, J. S. (1987). *Design by Optimization in Architecture, Building, and Construction*. New York: John Wiley & Sons.
- Rahman, A. (2014). *Optimizing The Performance Of Building Envelope For Energy Efficiency Considering Adaptive Thermal Comfort: A Case Of Tropical Climate In Dhaka*. Doctor of Philosophy, Illinois Institute of Technology, Chicago.
- Rahmani Asl, M. (2015). *A Building Information Model (BIM) Based Framework for Performance Optimization*. Doctor of Philosophy, Texas A&M University, Texas.
- Reinhart, C. F., Mardaljevic, J. ve Rogers, Z. (2006). Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos*, 3(1), 7-31.
- Reinhart, C. F. ve Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic Radiance-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy Buildings*, 33(7), 683-697.
- Reinhart, C. F. ve Wienold, J. (2011). The Daylighting Dashboard—A Simulation-Based Design Analysis for Daylit Spaces. *Building Environment*, 46(2), 386-396.

- Rogers, Z. (2006). *Daylighting Metric Development Using Daylight Autonomy Calculations in the Sensor Placement Optimization Tool*. Colorado: Architectural Energy Corporation, 7.
- Rolvink, A., van de Straat, R. ve Coenders, J. (2010). Parametric Structural Design and Beyond. *International Journal of Architectural Computing*, 8(3), 319-336.
- Sadineni, S. B., Madala, S. ve Boehm, R. F. (2011). Passive Building Energy Savings: A Review of Building Envelope Components. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3617-3631.
- Sayın, S. ve Çelebi, G. (2019). A Practical Approach to Performance-Based Building Design in Architectural Project. *Building Research and Information*, 1-23.
- Shan, R. (2016). *Climate Responsive Façade Optimization Strategy*. Doctor of Philosophy, The University of Michigan, Ann Arbor.
- Shapiro, I. M. (2016). *Energy Audits and Improvements for Commercial Buildings*. New Jersey: John Wiley & Sons, 3.
- Spastri, M. (2014). *Energy Savings by Using Dynamic Environmental Controls in the Cavity of Double Skin Facades*. Master of Building Science, University of Southern California, Los Angeles.
- Stevanović, S. (2013). Optimization of Passive Solar Design Strategies: A Review. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 25, 177-196.
- Su, Z. (2015). *Improving Design Optimization and Optimization-based Design Knowledge Discovery*. Doctor of Philosophy, Texas A&M University, Texas.
- Tang, M., Anderson, J., Aksamija, A. ve Hodge, M. (2012). *Performance-Based Generative Design, An investigation of the Parametric Nature of Architecture*. Paper presented at the Proceedings of the 100th ACSA Conference: Digital Aptitudes, Boston, USA.
- Toutou, A., Fikry, M. ve Mohamed, W. (2018). The parametric based optimization framework daylighting and energy performance in residential buildings in hot arid zone. *Alexandria engineering journal*, 57(4), 3595-3608.
- Turrin, M., von Buelow, P., Kilian, A. ve Stouffs, R. (2011). *Parametric modeling and optimization for adaptive architecture*. Paper presented at the Proceedings of the 2011 EG-ICE workshop. Twente University, Netherlands, 6–8 July, 2011.
- Veitch, J. A. (2001). Psychological Processes Influencing Lighting Quality. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 30(1), 124-140.
- Verso, V. R. L., Fregonara, E., Caffaro, F., Morisano, C. ve Peiretti, G. M. (2014). Daylighting as the Driving Force of the Design Process: from the Results of a Survey to the Implementation into an Advanced Daylighting Project. *Journal of Daylighting*, 1(1), 2-7.

- 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.
- Vong, N. (2016). *Climate Change and Building Energy Use: Evaluating the Impact of Future Weather on Building Energy Performance in Tropical Regions*. Doctor of Architecture, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Walker, A. (2013). *Solar Energy: Technologies and Project Delivery for Buildings*. New Jersey: John Wiley & Sons, 1.
- Wang, N. (2013). *Towards Reducing Building Energy Consumption: Comparison of the Residential Planning Patterns in Beijing, Shanghai and Guangzhou*. Doctor of Philosophy, Illinois Institute of Technology, Chicago.
- Wang, T. H. (2012). *Customizing Pattern-Based Tessellation for NURBS Surface Reconstruction with Irregular Boundary Conditions*. Doctor of Philosophy, Carnegie Mellon University, Pittsburgh.
- Warner, J. L. (1995). Selecting Windows for Energy Efficiency. *Home Energy*, 12(4).
- Weisstein, E. W. (2002). *CRC Concise Encyclopedia of Mathematics*: CRC Press.
- Wetter, M. (2004). *Simulation-Based Building Energy Optimization*. Doctor of Philosophy (Unpublished), University of California, Berkeley.
- Woldekidan, K. F. (2015). *Indoor Environmental Quality (IEQ) And Building Energy Optimization Through Model Predictive Control (MPC)*. Doctor of Philosophy, Syracuse University, New York.
- Wong, L. (2017). A Review of Daylighting Design and Implementation in Buildings. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 74, 959-968.
- Wonoto, N. (2017). *Integrating Parametric Structural Analysis and Optimization in the Architectural Schematic Design Phase*. Doctor of Philosophy, Clemson University, Clemson.
- Yan, W. (2014). Parametric BIM SIM: Integrating Parametric Modeling, BIM, and Simulation for Architectural Design In K. Kensek ve D. Noble (Eds.), *Building Information Modeling: BIM in Current Future Practice*. USA: John Wiley & Sons, 59-75.
- 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.
- Yuan, P. (2016). Parametric Regionalism. In P. Schumacher (Ed.), *Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's Agenda for the 21st Century*. London: John Wiley & Sons, 92-99.

EKLER

EK-1. Birinci nesilde üretilen bireylerin değerleri

NESİL 1	BATI CEPHE CAM ORANI	GÜNEY CEPHE CAM ORANI	GÖLGELEME ELEMANLARI			DUYAR TİPİ	CAM TİPİ	ENERJİ METRİĞİ	GÜNEŞİĞİ METRİĞİ
			DERİNLİK	SAYI	AÇI			EUI	SDA
1	0,5	0,4	0,25	5	-30	tip 2	tip 2	171,40	71,30
2	0,8	0,6	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	164,95	96,52
3	0,3	0,7	0,15	5	15	tip 4	tip 3	164,68	75,22
4	0,9	0,6	0,15	1	0	tip 2	tip 2	177,41	96,52
5	0,6	0,9	0,15	5	-15	tip 1	tip 3	216,09	98,26
6	0,6	0,8	0,35	4	-45	tip 2	tip 2	165,91	60,87
7	0,7	0,7	0,25	4	45	tip 2	tip 2	182,46	76,52
8	0,5	0,5	0,4	5	-30	tip 2	tip 2	172,75	72,17
9	0,6	0,6	0,15	5	-15	tip 2	tip 2	171,08	84,35
10	0,5	0,4	0,25	1	-15	tip 4	tip 2	167,92	76,52
11	0,2	0,7	0,15	1	0	tip 4	tip 2	161,00	80,43
12	0,3	0,8	0,25	2	-45	tip 2	tip 1	165,44	89,57
13	0,7	0,3	0,25	2	45	tip 2	tip 2	177,34	66,09
14	0,9	0,8	0,25	1	45	tip 2	tip 3	166,77	97,39
15	0,5	0,4	0,25	3	-45	tip 2	tip 3	167,09	72,61
16	0,8	0,8	0,3	1	-30	tip 1	tip 3	207,57	98,26
17	0,8	0,7	0,25	3	-15	tip 2	tip 3	166,32	96,09
18	0,9	0,7	0,3	4	-15	tip 1	tip 3	212,94	95,22
19	0,5	0,8	0,2	3	-75	tip 2	tip 2	171,74	90,87
20	0,6	0,7	0,3	5	-15	tip 4	tip 1	177,16	84,78
21	0,8	0,8	0,25	3	45	tip 2	tip 2	180,75	95,22
22	0,3	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	159,23	94,35
23	0,5	0,8	0,35	2	-75	tip 2	tip 2	171,40	92,61
24	0,2	0,7	0,35	4	-30	tip 2	tip 2	161,17	75,22
25	0,8	0,4	0,25	4	-15	tip 2	tip 3	170,86	76,96
26	0,8	0,9	0,25	5	-15	tip 1	tip 3	209,65	98,70
27	0,6	0,4	0,25	4	-45	tip 2	tip 2	169,80	78,26
28	0,8	0,7	0,25	4	-15	tip 2	tip 3	167,24	93,04
29	0,2	0,4	0,2	5	-30	tip 2	tip 2	164,48	67,39
30	0,5	0,6	0,3	4	-45	tip 4	tip 3	164,19	83,48
31	0,7	0,8	0,2	5	30	tip 4	tip 2	180,58	91,74
32	0,3	0,8	0,15	3	45	tip 2	tip 3	162,79	84,35
33	0,9	0,6	0,3	5	15	tip 2	tip 3	177,27	74,78
34	0,9	0,7	0,15	3	-15	tip 1	tip 3	209,95	97,39
35	0,5	0,9	0,25	3	60	tip 1	tip 3	213,29	90,00
36	0,9	0,9	0,4	5	-15	tip 1	tip 2	225,25	98,26
37	0,5	0,6	0,25	5	15	tip 2	tip 3	167,55	82,61
38	0,9	0,6	0,25	3	-30	tip 2	tip 3	167,09	92,17
39	0,7	0,4	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	166,07	79,57
40	0,8	0,8	0,25	1	75	tip 2	tip 2	177,88	96,96
41	0,7	0,8	0,4	2	60	tip 4	tip 2	177,13	80,87
42	0,7	0,7	0,25	5	45	tip 2	tip 2	185,96	70,87
43	0,8	0,7	0,3	2	-15	tip 1	tip 1	221,99	97,39
44	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	164,37	98,26
45	0,3	0,7	0,25	4	-45	tip 2	tip 2	164,81	78,26
46	0,3	0,8	0,25	2	-45	tip 2	tip 2	163,53	89,57
47	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 2	176,12	98,26
48	0,2	0,7	0,3	4	-30	tip 2	tip 2	160,89	75,22
49	0,3	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 2	163,15	93,48
50	0,8	0,7	0,35	1	-15	tip 4	tip 3	164,94	97,39

EK-2. İkinci nesilde üretilen bireylerin değerleri

NESİL 2	BATI CEPHE CAM ORANI	GÜNEY CEPHE CAM ORANI	GÖLGELEME ELEMANLARI			DUVAR TİPİ	CAM TİPİ	ENERJİ METRİĞİ EUI	GÜNEŞİĞİ METRİĞİ SDA
			DERİNLİK	SAYI	AÇI				
1	0,8	0,9	0,25	2	-15	tip 1	tip 2	218,44	98,7
2	0,2	0,7	0,15	5	0	tip 4	tip 3	163,23	76,06
3	0,8	0,8	0,25	1	-30	tip 1	tip 3	207,48	98,26
4	0,3	0,8	0,25	2	-45	tip 2	tip 1	165,44	89,57
5	0,5	0,5	0,15	4	-75	tip 4	tip 2	172,16	75,22
6	0,5	0,8	0,2	3	-45	tip 2	tip 3	162,1	96,09
7	0,8	0,6	0,15	4	-30	tip 2	tip 3	165,95	90,43
8	0,5	0,4	0,25	1	-45	tip 4	tip 3	164,66	77,39
9	0,9	0,7	0,3	3	-15	tip 1	tip 1	224,37	96,52
10	0,8	0,7	0,3	2	-15	tip 1	tip 3	210,6	97,39
11	0,2	0,6	0,15	5	-30	tip 2	tip 3	162,04	75,22
12	0,9	0,7	0,3	4	15	tip 2	tip 2	186,48	90
13	0,7	0,8	0,25	1	60	tip 2	tip 3	164,75	96,52
14	0,8	0,6	0,25	2	-30	tip 2	tip 2	174,12	95,22
15	0,8	0,7	0,2	4	-75	tip 2	tip 2	180,39	84,78
16	0,5	0,8	0,4	2	-15	tip 2	tip 3	162,66	97,83
17	0,8	0,6	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	164,95	96,52
18	0,5	0,4	0,25	3	-45	tip 2	tip 3	167,09	72,61
19	0,5	0,6	0,25	3	-30	tip 4	tip 2	167,31	83,91
20	0,2	0,7	0,15	1	0	tip 2	tip 3	159,73	80,43
21	0,9	0,6	0,15	5	15	tip 2	tip 3	170,67	91,74
22	0,8	0,8	0,25	1	75	tip 2	tip 2	177,88	96,96
23	0,3	0,8	0,25	1	0	tip 4	tip 2	163,71	91,74
24	0,2	0,7	0,15	1	-45	tip 2	tip 2	160,6	82,61
25	0,7	0,6	0,25	3	-30	tip 2	tip 2	171,98	84,78
26	0,9	0,8	0,25	1	45	tip 2	tip 3	166,77	97,39
27	0,8	0,9	0,25	5	-15	tip 1	tip 3	209,65	98,7
28	0,8	0,7	0,25	4	-15	tip 2	tip 3	167,24	93,04
29	0,3	0,4	0,15	1	0	tip 4	tip 2	164,41	70,43
30	0,7	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	162,89	98,26
31	0,3	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	159,57	93,48
32	0,8	0,7	0,15	3	-15	tip 1	tip 3	210,26	96,96
33	0,8	0,9	0,4	2	-15	tip 2	tip 2	177,14	98,26
34	0,9	0,8	0,25	5	-15	tip 1	tip 2	222,18	98,26
35	0,9	0,6	0,3	5	15	tip 2	tip 3	177,27	74,78
36	0,3	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 2	163,15	93,48
37	0,8	0,4	0,2	1	-45	tip 2	tip 3	166,91	80,43
38	0,5	0,8	0,25	3	-75	tip 2	tip 2	172,71	86,96
39	0,2	0,7	0,25	4	-45	tip 2	tip 2	162,6	74,35
40	0,8	0,8	0,3	1	75	tip 2	tip 2	178,21	96,52
41	0,5	0,8	0,2	3	-75	tip 2	tip 2	171,74	90,87
42	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 2	176,12	98,26
43	0,3	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	159,23	94,35
44	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	164,37	98,26
45	0,2	0,7	0,15	1	0	tip 4	tip 2	161	80,43
46	0,3	0,8	0,15	3	45	tip 2	tip 3	162,79	84,35
47	0,2	0,7	0,3	4	-30	tip 2	tip 2	160,89	75,22
48	0,8	0,7	0,35	1	-15	tip 4	tip 3	164,94	97,39
49	0,3	0,4	0,15	5	-30	tip 2	tip 2	164,48	67,39
50	0,9	0,9	0,4	5	-15	tip 1	tip 2	225,25	98,26

EK-3. Üçüncü nesilde üretilen bireylerin değerleri

NESİL 3	BATI CEPHE CAM ORANI	GÜNEY CEPHE CAM ORANI	GÖLGELEME ELEMANLARI			DUVAR TİPİ	CAM TİPİ	ENERJİ METRİĞİ	GÜNEŞİĞİ METRİĞİ
			DERİNLİK	SAYI	ACI			EUI	SDA
1	0,3	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	159,57	93,48
2	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	164,37	98,26
3	0,8	0,6	0,25	2	-30	tip 2	tip 3	165,38	95,22
4	0,8	0,7	0,35	1	-15	tip 4	tip 2	175,08	97,39
5	0,7	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	162,89	98,26
6	0,8	0,7	0,25	1	-30	tip 1	tip 3	209,16	97,39
7	0,2	0,7	0,15	2	-30	tip 4	tip 3	159,4	80
8	0,5	0,6	0,25	3	0	tip 2	tip 1	172,57	83,48
9	0,3	0,7	0,15	1	0	tip 4	tip 2	163,08	85,65
10	0,8	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	164,03	98,26
11	0,5	0,6	0,15	4	-15	tip 4	tip 3	164,09	84,78
12	0,8	0,7	0,35	1	-45	tip 4	tip 3	164,39	97,39
13	0,3	0,8	0,25	2	0	tip 4	tip 2	164,43	91,3
14	0,3	0,8	0,25	1	0	tip 4	tip 2	163,71	91,74
15	0,8	0,9	0,15	2	-15	tip 1	tip 3	206,32	98,7
16	0,7	0,8	0,25	1	75	tip 2	tip 2	175,3	96,09
17	0,8	0,7	0,35	1	75	tip 4	tip 3	166,97	90,43
18	0,8	0,8	0,25	2	-15	tip 2	tip 3	164,85	97,83
19	0,5	0,8	0,2	3	-45	tip 2	tip 3	162,1	96,09
20	0,2	0,7	0,35	4	-30	tip 2	tip 2	161,17	75,22
21	0,3	0,9	0,15	5	-15	tip 1	tip 3	209,8	94,35
22	0,2	0,7	0,15	1	0	tip 4	tip 2	161	80,43
23	0,8	0,9	0,25	2	-15	tip 1	tip 2	218,44	98,7
24	0,5	0,6	0,15	4	-45	tip 4	tip 3	164,18	83,48
25	0,7	0,8	0,25	1	45	tip 2	tip 2	174,86	96,96
26	0,9	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	165,58	98,26
27	0,8	0,6	0,25	3	-30	tip 2	tip 2	174,42	88,26
28	0,2	0,7	0,15	1	0	tip 2	tip 3	159,73	80,43
29	0,3	0,8	0,25	2	-45	tip 2	tip 2	163,53	89,57
30	0,7	0,8	0,25	1	60	tip 2	tip 3	164,75	96,52
31	0,7	0,4	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	166,07	79,57
32	0,8	0,8	0,25	1	-30	tip 1	tip 3	207,48	98,26
33	0,8	0,7	0,35	1	-15	tip 4	tip 3	164,94	97,39
34	0,8	0,7	0,25	4	-15	tip 2	tip 3	167,24	93,04
35	0,8	0,9	0,25	1	0	tip 1	tip 2	219,07	98,7
36	0,8	0,8	0,25	2	75	tip 2	tip 2	179,41	96,52
37	0,9	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 3	165,22	98,26
38	0,5	0,8	0,2	3	45	tip 2	tip 3	165,51	91,3
39	0,3	0,8	0,25	2	-45	tip 2	tip 3	159,74	89,57
40	0,3	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 2	163,26	94,35
41	0,8	0,6	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	164,95	96,52
42	0,8	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	164,4	98,26
43	0,3	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	159,39	93,48
44	0,8	0,9	0,25	5	-15	tip 1	tip 3	209,65	98,7
45	0,5	0,8	0,4	2	-15	tip 2	tip 3	162,66	97,83
46	0,3	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	159,23	94,35
47	0,3	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 2	163,15	93,48
48	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 2	176,12	98,26
49	0,3	0,8	0,15	3	45	tip 2	tip 3	162,79	84,35
50	0,2	0,7	0,3	4	-30	tip 2	tip 2	160,89	75,22

EK-4. Dördüncü nesilde üretilen bireylerin değerleri

NESİL 4	BATI CEPHE CAM ORANI	GÜNEY CEPHE CAM ORANI	GÖLGELEME ELEMANLARI			DUVAR TİPİ	CAM TİPİ	ENERJİ METRİĞİ	GÜNEŞİĞİ METRİĞİ
			DERİNLİK	SAYI	AÇI			EUI	SDA
1	0,8	0,9	0,15	2	-30	tip 1	tip 3	205,98	98,7
2	0,7	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	163,24	98,26
3	0,8	0,8	0,25	2	-30	tip 2	tip 3	164,24	98,26
4	0,9	0,7	0,25	1	45	tip 2	tip 3	167,08	96,52
5	0,8	0,8	0,25	1	-30	tip 1	tip 3	207,48	98,26
6	0,2	0,7	0,15	2	-30	tip 2	tip 3	159,36	80
7	0,8	0,8	0,3	1	-30	tip 4	tip 3	164,1	98,26
8	0,9	0,8	0,25	1	45	tip 2	tip 3	166,77	97,39
9	0,5	0,8	0,2	3	-45	tip 2	tip 3	162,1	96,09
10	0,3	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	159,57	93,48
11	0,8	0,8	0,3	1	-30	tip 2	tip 3	164,42	97,39
12	0,8	0,9	0,15	2	-15	tip 1	tip 3	206,32	98,7
13	0,3	0,8	0,15	3	-15	tip 2	tip 3	160,14	93,04
14	0,3	0,7	0,35	2	-45	tip 4	tip 3	160,95	80
15	0,8	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 2	176,19	98,26
16	0,8	0,8	0,15	2	-15	tip 1	tip 3	207,88	98,26
17	0,8	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	164,4	98,26
18	0,7	0,7	0,3	4	-30	tip 2	tip 3	163,36	85,22
19	0,2	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 2	160,55	89,57
20	0,8	0,7	0,35	1	-15	tip 4	tip 3	164,94	97,39
21	0,2	0,7	0,15	1	-45	tip 2	tip 2	160,6	82,61
22	0,3	0,8	0,25	2	-30	tip 2	tip 2	162,57	91,3
23	0,3	0,8	0,25	2	-45	tip 2	tip 2	163,53	89,57
24	0,8	0,8	0,35	1	-45	tip 4	tip 3	164,05	98,26
25	0,8	0,7	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	164,71	97,39
26	0,8	0,8	0,25	2	-15	tip 2	tip 2	175,94	97,83
27	0,3	0,8	0,15	3	45	tip 2	tip 3	162,79	84,35
28	0,8	0,9	0,15	2	0	tip 1	tip 3	206,83	98,7
29	0,9	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 3	165,22	98,26
30	0,5	0,7	0,3	4	-45	tip 4	tip 2	169,69	82,61
31	0,2	0,6	0,2	4	-45	tip 2	tip 3	162,56	75,35
32	0,9	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	165,58	98,26
33	0,3	0,7	0,25	4	0	tip 4	tip 2	168,01	80
34	0,2	0,8	0,3	2	-30	tip 2	tip 2	160,21	85,22
35	0,5	0,8	0,25	4	-15	tip 4	tip 3	163,56	96,09
36	0,3	0,5	0,15	1	-15	tip 2	tip 2	163,08	78,7
37	0,7	0,8	0,25	1	60	tip 2	tip 3	164,75	96,52
38	0,8	0,9	0,25	5	-15	tip 1	tip 3	209,65	98,7
39	0,7	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	162,89	98,26
40	0,8	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	164,03	98,26
41	0,5	0,8	0,4	2	-30	tip 2	tip 3	161,41	96,09
42	0,3	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	159,23	94,35
43	0,5	0,8	0,4	2	-15	tip 2	tip 3	162,66	97,83
44	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	164,37	98,26
45	0,8	0,9	0,25	2	-15	tip 1	tip 2	218,44	98,7
46	0,8	0,9	0,25	1	0	tip 1	tip 2	219,07	98,7
47	0,3	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 2	163,15	93,48
48	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 2	176,12	98,26
49	0,3	0,8	0,25	1	0	tip 4	tip 2	163,71	91,74
50	0,2	0,7	0,15	1	0	tip 4	tip 2	161	80,43

EK-5. Beşinci nesilde üretilen bireylerin değerleri

NESİL 5	BATI CEPHE CAM ORANI	GÜNEY CEPHE CAM ORANI	GÖLGELEME ELEMANLARI			DUVAR TİPİ	CAM TİPİ	ENERJİ METRİĞİ	GÜNEŞİĞİ METRİĞİ
			DERİNLİK	SAYI	AÇI			EUI	SDA
1	0,8	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	164,03	98,26
2	0,5	0,8	0,4	2	-15	tip 2	tip 3	162,66	97,83
3	0,5	0,8	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	161,03	98,26
4	0,3	0,8	0,25	3	-45	tip 2	tip 3	160,8	85,22
5	0,8	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	164,4	98,26
6	0,8	0,8	0,35	1	-45	tip 4	tip 3	164,05	98,26
7	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	164,37	98,26
8	0,3	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	159,57	93,48
9	0,2	0,7	0,15	2	-30	tip 4	tip 3	159,4	80
10	0,8	0,8	0,2	3	-45	tip 4	tip 3	165,19	97,83
11	0,5	0,8	0,35	1	-45	tip 2	tip 3	160,8	97,83
12	0,8	0,9	0,25	1	0	tip 1	tip 2	219,07	98,7
13	0,3	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	159,23	94,35
14	0,5	0,8	0,4	1	-15	tip 2	tip 3	161,43	97,83
15	0,7	0,8	0,25	2	-15	tip 2	tip 3	163,79	98,26
16	0,5	0,8	0,2	3	-45	tip 2	tip 3	162,1	96,09
17	0,2	0,7	0,15	1	-45	tip 2	tip 2	160,6	82,61
18	0,9	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	165,58	98,26
19	0,7	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	163,24	98,26
20	0,5	0,8	0,4	2	-30	tip 2	tip 2	167,22	96,09
21	0,2	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	158,24	89,57
22	0,8	0,9	0,25	1	-15	tip 1	tip 2	218,66	98,7
23	0,8	0,8	0,25	1	0	tip 2	tip 3	164,81	97,83
24	0,7	0,8	0,3	1	-15	tip 2	tip 3	163,34	98,26
25	0,7	0,9	0,25	1	0	tip 1	tip 2	217,63	98,26
26	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 2	176,12	98,26
27	0,3	0,8	0,15	3	-15	tip 2	tip 3	160,14	93,04
28	0,8	0,9	0,15	2	-30	tip 1	tip 2	218,23	98,7
29	0,3	0,8	0,25	2	0	tip 2	tip 3	161,08	91,3
30	0,8	0,8	0,25	2	-15	tip 1	tip 3	208,42	97,83
31	0,8	0,9	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	164,23	98,7
32	0,2	0,9	0,25	1	0	tip 1	tip 2	212,02	92,61
33	0,8	0,7	0,15	1	-45	tip 2	tip 2	175,28	97,39
34	0,8	0,8	0,2	3	-45	tip 2	tip 3	165,17	97,83
35	0,5	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 2	168,11	97,83
36	0,8	0,8	0,25	2	-30	tip 2	tip 3	164,24	98,26
37	0,8	0,9	0,15	2	-15	tip 1	tip 3	206,32	98,7
38	0,2	0,8	0,3	2	-30	tip 2	tip 2	160,21	85,22
39	0,8	0,9	0,15	2	-30	tip 1	tip 3	205,98	98,7
40	0,5	0,8	0,4	2	-30	tip 2	tip 3	161,41	96,09
41	0,7	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	162,89	98,26
42	0,2	0,7	0,15	2	-30	tip 2	tip 3	159,36	80
43	0,3	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	159,39	93,48
44	0,8	0,9	0,15	2	0	tip 1	tip 3	206,83	98,7
45	0,3	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 2	163,26	94,35
46	0,3	0,8	0,25	1	0	tip 4	tip 2	163,71	91,74
47	0,8	0,9	0,25	5	-15	tip 1	tip 3	209,65	98,7
48	0,3	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 2	163,15	93,48
49	0,8	0,9	0,25	2	-15	tip 1	tip 2	218,44	98,7
50	0,3	0,8	0,15	3	45	tip 2	tip 3	162,79	84,35

EK-6. Altıncı nesilde üretilen bireylerin değerleri

NESİL 6	BATI CEPHE CAM ORANI	GÜNEY CEPHE CAM ORANI	GÖLGELEME ELEMANLARI			DUVAR TİPİ	CAM TİPİ	ENERJİ METRİĞİ	GÜNEŞİĞİ METRİĞİ
			DERİNLİK	SAYI	AÇI			EUI	SDA
1	0,7	0,8	0,3	2	-15	tip 2	tip 3	164,05	98,26
2	0,8	0,9	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	164,23	98,7
3	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	164,37	98,26
4	0,5	0,8	0,3	3	-45	tip 2	tip 3	162,89	89,57
5	0,8	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	164,16	98,26
6	0,3	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	159,57	93,48
7	0,8	0,9	0,15	2	0	tip 1	tip 3	206,83	98,7
8	0,7	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	162,89	98,26
9	0,7	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	163,24	98,26
10	0,8	0,9	0,2	1	-15	tip 2	tip 2	177,45	98,7
11	0,5	0,8	0,2	1	-15	tip 1	tip 3	208,68	98,26
12	0,5	0,8	0,4	1	-30	tip 2	tip 3	160,77	97,83
13	0,3	0,8	0,25	3	-15	tip 2	tip 3	161,06	90
14	0,7	0,8	0,15	1	-30	tip 2	tip 3	162,85	98,26
15	0,7	0,8	0,25	2	-15	tip 2	tip 3	163,79	98,26
16	0,5	0,8	0,2	3	-45	tip 2	tip 3	162,1	96,09
17	0,2	0,9	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	157,59	93,04
18	0,8	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	164,4	98,26
19	0,2	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 2	160,55	89,57
20	0,5	0,8	0,4	2	-30	tip 2	tip 3	161,41	96,09
21	0,8	0,9	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	164,13	98,7
22	0,5	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	161,28	98,26
23	0,3	0,8	0,25	2	-45	tip 2	tip 3	159,74	89,57
24	0,5	0,9	0,25	5	-15	tip 1	tip 3	210,88	98,26
25	0,8	0,8	0,4	1	-15	tip 2	tip 3	164,71	98,26
26	0,3	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 2	163,16	93,48
27	0,8	0,9	0,25	5	-15	tip 1	tip 3	209,65	98,7
28	0,3	0,8	0,25	2	-15	tip 2	tip 3	160,07	92,17
29	0,3	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 2	163,26	94,35
30	0,2	0,9	0,25	2	-15	tip 1	tip 3	209,27	92,17
31	0,9	0,7	0,15	5	-30	tip 4	tip 3	166,45	96,09
32	0,5	0,8	0,3	1	-30	tip 2	tip 3	160,73	97,83
33	0,7	0,8	0,4	1	-15	tip 2	tip 3	163,58	97,83
34	0,5	0,8	0,35	1	-15	tip 2	tip 3	161,31	98,26
35	0,5	0,8	0,4	1	-45	tip 2	tip 3	160,82	97,83
36	0,5	0,8	0,35	1	-45	tip 2	tip 3	160,8	97,83
37	0,3	0,8	0,15	3	-15	tip 2	tip 3	160,14	93,04
38	0,8	0,7	0,25	1	-45	tip 2	tip 3	164,43	97,39
39	0,2	0,8	0,15	1	-30	tip 4	tip 2	160,79	90,43
40	0,2	0,7	0,15	1	-45	tip 2	tip 2	160,6	82,61
41	0,5	0,8	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	161,03	98,26
42	0,2	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	158,24	89,57
43	0,3	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	159,23	94,35
44	0,5	0,8	0,4	1	-15	tip 2	tip 3	161,43	97,83
45	0,2	0,7	0,15	2	-30	tip 2	tip 3	159,36	80
46	0,8	0,9	0,15	2	-30	tip 1	tip 3	205,98	98,7
47	0,5	0,8	0,4	2	-15	tip 2	tip 3	162,66	97,83
48	0,8	0,9	0,15	2	-15	tip 1	tip 3	206,32	98,7
49	0,2	0,7	0,15	2	-30	tip 4	tip 3	159,4	80
50	0,3	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 2	163,15	93,48

EK-7. Yedinci nesilde üretilen bireylerin değerleri

NESİL 7	BATI CEPHE CAM ORANI	GÜNEY CEPHE CAM ORANI	GÖLGELEME ELEMANLARI			DUVAR TİPİ	CAM TİPİ	ENERJİ METRİĞİ	GÜNEŞİĞİ METRİĞİ
			DERİNLİK	SAYI	AÇI			EUI	SDA
1	0,5	0,9	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	160,66	98,7
2	0,8	0,8	0,4	1	-15	tip 2	tip 3	164,71	98,26
3	0,5	0,8	0,4	2	-15	tip 4	tip 3	162,70	97,83
4	0,2	0,7	0,15	1	-30	tip 2	tip 3	159,13	83,48
5	0,2	0,7	0,15	2	-30	tip 2	tip 3	159,36	80
6	0,3	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	159,57	93,48
7	0,3	0,8	0,15	3	-15	tip 2	tip 3	160,14	93,04
8	0,5	0,8	0,2	3	-45	tip 2	tip 3	162,1	96,09
9	0,7	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	162,89	98,26
10	0,7	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	163,24	98,26
11	0,3	0,8	0,15	1	-30	tip 2	tip 3	158,99	93,91
12	0,7	0,8	0,2	2	-15	tip 2	tip 3	163,54	98,26
13	0,3	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	159,39	93,48
14	0,7	0,8	0,2	1	-30	tip 2	tip 3	162,85	98,26
15	0,3	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	159,23	94,35
16	0,5	0,8	0,4	1	-30	tip 2	tip 3	160,77	97,83
17	0,7	0,8	0,25	2	-15	tip 2	tip 3	163,79	98,26
18	0,9	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	165,58	98,26
19	0,3	0,9	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	158,95	94,78
20	0,2	0,9	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	157,59	93,04
21	0,5	0,8	0,4	1	-45	tip 2	tip 3	160,82	97,83
22	0,8	0,9	0,15	1	0	tip 1	tip 3	206,34	98,7
23	0,5	0,8	0,4	2	-30	tip 2	tip 3	161,41	96,09
24	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	164,37	98,26
25	0,7	0,9	0,15	2	0	tip 1	tip 3	207,05	98,7
26	0,8	0,9	0,25	5	0	tip 2	tip 3	169,7	98,26
27	0,5	0,7	0,4	1	-30	tip 1	tip 3	210,53	96,96
28	0,5	0,8	0,4	1	-15	tip 2	tip 3	161,43	97,83
29	0,3	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 3	159,05	93,48
30	0,5	0,8	0,35	1	-15	tip 2	tip 3	161,31	98,26
31	0,5	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	160,97	97,83
32	0,3	0,8	0,2	2	-15	tip 2	tip 3	159,78	92,61
33	0,2	0,7	0,25	2	-30	tip 4	tip 3	159,64	80
34	0,7	0,8	0,15	1	-30	tip 2	tip 3	162,85	98,26
35	0,5	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	161,11	98,26
36	0,3	0,8	0,2	3	-45	tip 2	tip 2	164,02	86,96
37	0,3	0,8	0,25	3	-15	tip 2	tip 3	161,06	90
38	0,5	0,8	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	161,03	98,26
39	0,5	0,8	0,3	1	-30	tip 2	tip 3	160,73	97,83
40	0,8	0,9	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	164,13	98,7
41	0,5	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	161,28	98,26
42	0,2	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	158,24	89,57
43	0,8	0,9	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	164,23	98,7
44	0,8	0,9	0,2	1	-15	tip 2	tip 2	177,45	98,7
45	0,5	0,8	0,35	1	-45	tip 2	tip 3	160,8	97,83
46	0,3	0,8	0,25	2	-45	tip 2	tip 3	159,74	89,57
47	0,8	0,9	0,15	2	-30	tip 1	tip 3	205,98	98,7
48	0,3	0,8	0,25	2	-15	tip 2	tip 3	160,07	92,17
49	0,2	0,7	0,15	2	-30	tip 4	tip 3	159,4	80
50	0,8	0,9	0,15	2	-15	tip 1	tip 3	206,32	98,7

EK-8. Sekizinci nesilde üretilen bireylerin değerleri

NESİL 8	BATI CEPHE CAM ORANI	GÜNEY CEPHE CAM ORANI	GÖLGELEME ELEMANLARI			DUVAR TİPİ	CAM TİPİ	ENERJİ METRİĞİ EUI	GÜNEŞİĞİ METRİĞİ SDA
			DERİNLİK	SAYI	AÇI				
1	0,3	0,8	0,15	1	-30	tip 2	tip 3	158,99	93,91
2	0,3	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	159,39	93,48
3	0,3	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	159,23	94,35
4	0,8	0,8	0,15	2	-30	tip 1	tip 3	207,51	98,26
5	0,8	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	164,16	98,26
6	0,3	0,8	0,25	2	-15	tip 2	tip 3	160,07	92,17
7	0,5	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	160,97	97,83
8	0,3	0,8	0,4	1	-45	tip 2	tip 3	158,98	93,91
9	0,3	0,7	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	160,19	85,65
10	0,3	0,8	0,4	1	-30	tip 2	tip 3	158,98	93,91
11	0,5	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 3	160,82	97,83
12	0,8	0,9	0,15	2	0	tip 2	tip 3	164,73	98,7
13	0,8	0,9	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	164,23	98,7
14	0,3	0,9	0,15	2	-30	tip 1	tip 3	207,69	94,78
15	0,8	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	164,37	98,26
16	0,7	0,8	0,15	1	-30	tip 2	tip 3	162,85	98,26
17	0,5	0,8	0,4	2	-15	tip 4	tip 3	162,7	97,83
18	0,7	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	163,24	98,26
19	0,2	0,8	0,3	1	-30	tip 2	tip 3	158,25	90,87
20	0,2	0,9	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	157,59	93,04
21	0,5	0,8	0,3	2	-30	tip 2	tip 3	161,16	97,83
22	0,5	0,8	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	161,03	98,26
23	0,3	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	159,57	93,48
24	0,3	0,9	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	158,81	94,78
25	0,3	0,8	0,15	1	0	tip 2	tip 3	159,55	92,61
26	0,7	0,8	0,2	1	-30	tip 2	tip 3	162,85	98,26
27	0,3	0,8	0,35	1	-15	tip 2	tip 3	159,59	93,04
28	0,5	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	161,28	98,26
29	0,2	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 2	160,55	89,57
30	0,3	0,9	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	158,95	94,78
31	0,3	0,8	0,4	1	-15	tip 2	tip 3	159,71	93,91
32	0,5	0,8	0,15	1	-45	tip 2	tip 3	160,85	97,83
33	0,5	0,9	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	160,6	98,7
34	0,3	0,8	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	159,29	93,91
35	0,5	0,9	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	160,66	98,7
36	0,5	0,8	0,3	1	-30	tip 2	tip 3	160,73	97,83
37	0,8	0,9	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	164,13	98,7
38	0,2	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	158,24	89,57
39	0,5	0,8	0,4	1	-30	tip 2	tip 3	160,77	97,83
40	0,5	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	161,11	98,26
41	0,3	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 3	159,05	93,48
42	0,2	0,7	0,15	1	-30	tip 2	tip 3	159,13	83,48
43	0,8	0,9	0,2	1	-15	tip 2	tip 2	177,45	98,7
44	0,5	0,8	0,35	1	-45	tip 2	tip 3	160,8	97,83
45	0,2	0,7	0,15	2	-30	tip 2	tip 3	159,36	80
46	0,5	0,8	0,35	1	-15	tip 2	tip 3	161,31	98,26
47	0,5	0,8	0,4	1	-45	tip 2	tip 3	160,82	97,83
48	0,8	0,9	0,15	2	-30	tip 1	tip 3	205,98	98,7
49	0,3	0,8	0,2	2	-15	tip 2	tip 3	159,78	92,61

EK-9. Dokuzuncu nesilde üretilen bireylerin değerleri

NESİL 9	BATI CEPHE CAM ORANI	GÜNEY CEPHE CAM ORANI	GÖLGELEME ELEMANLARI			DUVAR TİPİ	CAM TİPİ	ENERJİ METRİĞİ	GÜNEŞİĞİ METRİĞİ
			DERİNLİK	SAYI	AÇI			EUI	SDA
1	0,3	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	159,23	94,35
2	0,3	0,8	0,25	2	-15	tip 2	tip 3	160,07	92,17
3	0,5	0,8	0,35	1	-30	tip 2	tip 3	160,75	97,83
4	0,2	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 3	158,32	90,87
5	0,8	0,9	0,4	2	-15	tip 2	tip 3	165,4	98,26
6	0,5	0,8	0,15	1	-30	tip 2	tip 3	160,74	97,83
7	0,3	0,8	0,2	1	-45	tip 2	tip 3	159,07	93,91
8	0,3	0,8	0,4	1	-15	tip 2	tip 3	159,71	93,91
9	0,3	0,9	0,15	1	-30	tip 1	tip 3	207,52	94,35
10	0,8	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	164,4	98,26
11	0,2	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	158,24	89,57
12	0,3	0,8	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	158,96	93,48
13	0,2	0,9	0,3	1	-15	tip 2	tip 3	158,09	93,04
14	0,3	0,8	0,15	1	-30	tip 2	tip 3	158,99	93,91
15	0,5	0,8	0,35	1	-15	tip 2	tip 3	161,31	98,26
16	0,5	0,8	0,3	1	-30	tip 2	tip 3	160,73	97,83
17	0,5	0,8	0,4	1	-30	tip 2	tip 3	160,77	97,83
18	0,2	0,9	0,25	1	-30	tip 2	tip 3	157,59	93,04
19	0,3	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	159,57	93,48
20	0,3	0,9	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	158,68	95,22
21	0,3	0,8	0,25	1	-45	tip 2	tip 3	159,05	93,48
22	0,3	0,8	0,4	2	-15	tip 2	tip 3	160,96	90
23	0,5	0,8	0,15	1	-60	tip 2	tip 3	161,04	97,83
24	0,3	0,9	0,15	2	-30	tip 1	tip 3	207,69	94,78
25	0,5	0,8	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	160,97	97,83
26	0,5	0,8	0,2	2	-15	tip 2	tip 3	161,49	97,83
27	0,3	0,8	0,4	1	-45	tip 2	tip 3	158,98	93,91
28	0,3	0,9	0,25	1	0	tip 2	tip 3	159,36	94,35
29	0,3	0,8	0,15	2	-45	tip 2	tip 3	159,5	92,61
30	0,5	0,8	0,15	1	-45	tip 2	tip 3	160,85	97,83
31	0,3	0,8	0,35	2	-15	tip 2	tip 3	160,61	92,17
32	0,3	0,9	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	158,81	94,78
33	0,5	0,9	0,15	1	-15	tip 2	tip 3	160,6	98,7
34	0,3	0,9	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	158,95	94,78
35	0,5	0,9	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	160,66	98,7
36	0,2	0,8	0,3	1	-30	tip 2	tip 3	158,25	90,87
37	0,3	0,8	0,4	1	-30	tip 2	tip 3	158,98	93,91
38	0,5	0,8	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	161,03	98,26
39	0,8	0,9	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	164,13	98,7
40	0,8	0,9	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	164,23	98,7
41	0,5	0,8	0,25	1	-15	tip 2	tip 3	161,11	98,26
42	0,5	0,8	0,15	2	-15	tip 2	tip 3	161,28	98,26
43	0,8	0,9	0,15	2	0	tip 2	tip 3	164,73	98,7
44	0,5	0,8	0,35	1	-45	tip 2	tip 3	160,8	97,83
45	0,3	0,8	0,2	1	-15	tip 2	tip 3	159,29	93,91
46	0,8	0,9	0,2	1	-15	tip 2	tip 2	177,45	98,7
47	0,5	0,8	0,4	1	-45	tip 2	tip 3	160,82	97,83
48	0,7	0,8	0,15	1	-30	tip 2	tip 3	162,85	98,26

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKSİN, Feyza Nur
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 02.04.1993, Sivas
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0506 644 4576
 e-mail : feyzanursariyildiz@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Mimarlık	Devam ediyor
Lisans	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi / Mimarlık	2016
Lise	Hacı Ömer Tarman Anadolu Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2017	YTD Mimarlık	Mimar
2016	SFMM-Fikirlier Mimarlık	Mimar

Yabancı Dil

İngilizce, Arapça

Yayınlar

Aksin, F. N. ve Arslan Selçuk, S. (2019). Using Parametric Algorithms Within The Context of Energy Optimization of Building Skins. *Gazi University Journal of Science Part B: Art Humanities Design and Planning*, 7(3), 413-425.

Hobiler

Fotoğrafçılık, Seyahat



GAZİ GELECEKTİR..