

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOSENTETİK ORGANİZMALARI YAPI
CEPHELERİNE ENTEGRE ETME
OLASILIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yonca YAMAN

Ocak, 2022
İZMİR

**FOTOSENTETİK ORGANİZMALARI YAPI
CEPHELERİNE ENTEGRE ETME
OLASILIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı

Yonca YAMAN

Ocak, 2022

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

YONCA YAMAN, tarafından **DOÇ. DR. AYÇA TOKUÇ** ve **DR. ÖĞR. ÜYESİ GÜLTER GÜLDEN KÖKTÜRK** yönetiminde hazırlanan “**FOTOSENTETİK ORGANİZMALARIN YAPI CEPHELERİNE ENTEGRE ETME OLASILIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ayça TOKUÇ

Yönetici

Dr. Öğr. Üyesi İlker Kahraman

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Kutluğ Savaşır

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Öncelikle tanıştığımız andan itibaren bana bambaşka kapılar açan ve farklı deneyimler edinmemi sağlayan, desteğini her anlamda hissettiğim, bilgisiyle, tecrübesiyle, çalışma azmiyle bana yol gösteren ve örnek olan, sabrıyla, anlayışıyla, olumlu eleştirilerini üzerine katarak ilerlememi sağlayan, değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Ayça TOKUÇ'a teşekkür ederim.

İkinci olarak her zaman fikirlerini almaktan keyif aldığım, sürekli desteği, vizyonu ve tüm değerli ve yapıcı yorumları için sevgili hocam Dr. Öğretim Üyesi Gülter Gülten KÖKTÜRK'e teşekkür ederim.

Maddi ve manevi benden desteğini esirgemeyen, istediğim yolda ilerlememe olanak sağlayan başta babam Şehmus YAMAN ve annem Naile YAMAN olmak üzere, kardeşlerim Oktay ve Özkan YAMAN'a yanımda oldukları ve sonsuz destekleri için teşekkür ederim. Ayrıca bu süreçte her anıma tanık olan gösterdiği özen, ilgisi ve desteği için başta Sibel ÖZBEK olmak üzere yanımda oldukları ve bana kattıkları her şey için tüm arkadaşlarıma bir teşekkür borçluyum.

1001 Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında gerçekleştirilen 218M580 numaralı projeye desteğinden dolayı TÜBİTAK'a ve projede yer alan değerli hocalarım ve ekip arkadaşlarıma ayrı ayrı teşekkür ederim.

Yonca YAMAN

FOTOSENTETİK ORGANİZMALARI YAPI CEPHELERİNE ENTEGRE ETME OLASILIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZ

Günümüzde hız kazanan enerji tüketimindeki artış ve buna bağlı olarak gelişen çevresel tahribatlar, küresel enerji tüketiminde oldukça büyük bir paya sahip olan yapı sektöründe, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının araştırılmasına ve uygulanmasına doğru yönelmiştir. Mikroalgler yüksek yüzey verimliliğine sahip olup inorganik karbon tüketerek karbon nötr bir geleceğe olanak sağlayan bir yenilenebilir biyoenerji kaynağıdır. Bina cephelerine yenilikçi bir yapı elemanı olan fotobiyoreaktör (FBR) sisteminin entegre edilmesi ile cephede mikroalg üretiminin, binanın ısı ve görsel konforundan ödün vermeden enerji tüketimini azaltma potansiyeli bulunmaktadır. Bu çalışmada Akdeniz ikliminde mevcut bir ofis binasının güney cephesinde dört farklı FBR cephesi önerilerek FBR'lerin binanın ısı, görsel ve enerji performanslarına etkisi Octopus eklentisi ile optimize edilmiş ve değerlendirilmiştir. Böylece, tasarımcıların karar verme sürecini destekleyecek bina performans optimizasyon süreci kurgulanmıştır. Pencere duvar oranı, alg konsantrasyonuna bağlı olarak değişen FBR tipi, duvar tipi ve kalınlığı, yalıtım malzemesi kalınlığı, ısıtma-soğutma ayar noktası gibi tasarım değişkenlerinin etkisi araştırılarak her bir cephe için optimum günışığı, enerji performansı ve ısı konforu temsil eden Elverişli Günışığı Aydınlatması (EGA)'nın artırılması ve Enerji Kullanım Yoğunluğu (EKY)'nun ve Isıl Konfor İhlali (İKİ)'nin azaltılması hedeflenerek optimizasyon yapılmıştır. Elde edilmiş optimum çözümlerde ayrıca FBR'lerin iç mekanda oluşabilecek kamaşmaya etkisi ve üretilen biyokütle enerjisinin binanın enerji ihtiyacının ne kadarını karşıladığı hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular mevcut binadaki çift camlı pencere ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda düşük alg yoğunluklarının yanı sıra düşük pencere-duvar oranına sahip çözümlerin olduğu görülmüştür. Bütün alternatiflerde dengelenmiş en iyi çözümlerde farklı oranlarda iyileşme görülmüştür. Sonuç olarak, FBR cephe elemanının geleneksel pencere sistemlerine bir alternatif olabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Fotobiyoreaktör, çok amaçlı optimizasyon, elverişli günışığı aydınlatması, ısıl konfor ihlali, enerji kullanım yoğunluğu



EVALUATION OF POSSIBILITIES TO INTEGRATE PHOTOSYNTHETIC ORGANISMS INTO BUILDING FACADES

ABSTRACT

Increasing energy consumption, which is gaining momentum today, and the related environmental destruction has led to the research and application of renewable and clean energy sources in the construction sector, which has a large contribution to global energy consumption. Microalgae have high surface efficiency and are a renewable bioenergy resource that allows for a carbon-neutral future by consuming carbon. By integrating a photobioreactor (PBR), which is an innovative building element, into the facades of buildings, there is the potential to produce microalgae on the facade and reduce energy consumption without compromising the thermal and visual comfort of the building. In this study, four different PBR facades were proposed on the southern facade of an existing office building in a Mediterranean climate and the effect of PBRs on the thermal, visual, and energy performances of the building was evaluated by optimizing it with Octopus. In this format, a building performance optimization process has been established to support the decision-making process of designers. The effects of design variables such as PBR type that changes depending on algae concentration, window-to-wall ratio, wall type and thickness, insulation material thickness, heating-cooling set points were searched. It has been optimized to increase the Useful daylight illuminance (UDI), which represents optimum daylight, energy performance, and thermal comfort metrics for each facade and reduces the Energy Use Intensity (EUI) and the Thermal Comfort Violation (TCV). In the optimum solutions obtained, the effect of PBRs on glare that may occur in the interior and how much of the produced biomass energy supplied with the energy need of the building were also studied. The results were compared with the double-glazed window in the existing building and showed that there were solutions with low algae densities as well as low window-to-wall ratios. There has been an improvement in the optimized values of the best-balanced solutions at different rates in all alternatives. As a result, it has been exhibited that the PBR facade element can be an alternative to traditional window systems.

Keywords: Photobioreactor, multi-objective optimization, useful daylight illuminance, thermal comfort violation, energy usage intensity



İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLOLAR LİSTESİ.....	xv
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
4.1 Problem Tanımı.....	2
4.2 Tezin Amacı	4
4.3 Tezin Kapsamı.....	5
4.4 Tezin Yöntemi.....	5
BÖLÜM İKİ - BİNA PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ VE SİMÜLASYON	7
2.1 Binalarda Güneşli Performansı	7
2.1.1 Güneşli Performans Göstergeleri.....	8
2.1.2 Güneşli Simülasyonu	12
2.2 Binalarda Enerji Performansı	13
2.2.1 Enerji Performans Göstergeleri.....	14
2.2.2 Enerji Simülasyonu	15
2.3 Isıl Konfor Performansı.....	16
2.3.1 Fanger Metodu	17
2.3.2 Isıl Konfor Göstergeleri	18
2.4 Optimizasyon	20
2.5 Bina Cephelerine Mikroalglerin Entegrasyonu.....	24

BÖLÜM ÜÇ - BİNA CEPHESİNDE FOTOBİYOREAKTÖR UYGULAMALARI..... 26

3.1 Biyo Adaptif Cepheli Bina	26
3.2 Bina Gölgeleme Sistemi için Yenilikçi bir FBR	29
3.3 Işık-biyo-perdesi Gölgeleme Sistemi/ Bir Anaokulu binasında Gölgeleme Sistemi	31
3.4 Dış Mekan Çalışma Alanında Dinamik Gölgeleme Sistemi	32
3.5 Alg Penceresi	34
3.6 Alg Cephesi: Su Yosunlarından Şehir Sistemine	37
3.7 Enerji Üretim Birimleri Olarak Yüksek Katlı Bina Kabuklarının Potansiyeli	40
3.8 Enerji ve Güneş performansı için Binaya Entegre Fotobiyoreaktörlerin Çok Amaçlı Optimizasyonu.....	44
3.9 Fotobiyoreaktör Cephe Örneklerinin Değerlendirilmesi.....	46

BÖLÜM DÖRT - YÖNTEM..... 49

4.1 Bina Simülasyon Sonuçlarının Doğrulanması	52
4.1.1 Parametrik Yapı Modelinin Oluşturulması	52
4.1.2 İzmir İklim Verisi.....	55
4.1.3 Enerji Modelinin Kurulması.....	56
4.1.4 Simülasyon Çalışmalarının Doğrulanması.....	57
4.2 Cephe Önerileri İçin Yapı Modelinin Oluşturulması	59
4.2.1 FBR'nin Pencere Elemanı Olarak Tanımlanması	59
4.2.2 Parametrik Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi	64
4.3 Simülasyon.....	65
4.3.1 Güneş Modelinin Kurulması	65
4.3.2 Enerji ve Güneş Simülasyonlarının Çalıştırılması.....	66
4.3.3 Isıl Konfor Hesaplanması.....	66
4.4 Optimizasyon	67
4.5 Ek Analizler.....	68

**BÖLÜM BEŞ - CEPHE ÖNERİLERİ VE MEVCUT DURUM
KARŞILAŞTIRMALARI 71**

5.1	Mevcut Durumun Analizleri	72
5.1.1	Görsel Konfor Analizi	72
5.1.2	Enerji Performansı Analizi	73
5.1.3	Isıl Konfor Analizi	74
5.2	Alternatif 1 Optimizasyonu	75
5.2.1	Alternatif 1 Sonuçları	75
5.2.2	Alternatif 1 Optimizasyon Çalışması ve Mevcut Durum Karşılaştırması	79
5.3	Alternatif 2 Optimizasyonu	85
5.3.1	Alternatif 2 Sonuçları	85
5.3.2	Alternatif 2 Optimizasyon Çalışması ve Mevcut Durum Karşılaştırması	88
5.4	Alternatif 3 Optimizasyonu	94
5.4.1	Alternatif 3 Sonuçları	94
5.4.2	Alternatif 3 Optimizasyon Çalışması ve Mevcut Durum Karşılaştırması	97
5.5	Alternatif 4 Optimizasyonu	103
5.5.1	Alternatif 4 Sonuçları	103
5.5.2	Alternatif 4 Optimizasyon Çalışması ve Mevcut Durum Karşılaştırması	106
5.6	Mevcut Durum ve Cephe Önerilerinin Karşılaştırması	111

BÖLÜM ALTI - SONUÇ 117

KAYNAKLAR 121

EKLER..... 131

EK- 1	Kısaltmalar	131
-------	-------------------	-----

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Güneş ışığı faktörü bileşenleri	10
Şekil 2.2 ASHRAE ısıl duyum ölçeği.....	19
Şekil 2.3 Ortalama ısıl duyum (OID) fonksiyonu olarak tahmin edilen memnuniyetsizlik yüzdesi (TMY)	19
Şekil 2.4 Pareto optimum çözüm grafiği.....	21
Şekil 2.5 Bina tasarım alanı ve optimizasyon hedefi grafikleri	22
Şekil 3.1 BIQ binası ve destek yapısı-tedarik sistemi de dahil olmak üzere panel prototipinin oluşturulması	27
Şekil 3.2 Binanın bütüncül çalışma prensibi.....	28
Şekil 3.3 Güneybatıya bakan FBR'ler için biyokütle/güneş ısı verimlerine göre aylık ışınlam miktarı	28
Şekil 3.4 Bir anaokulu sınıfında tasarlanan ışık-biyo-perdesi	31
Şekil 3.5 Yapının parametrik tasarımı ve kesit-görünüşleri.....	33
Şekil 3.6 Simülasyonu yapılacak 6 farklı pencere boyutu parametresi	35
Şekil 3.7 Farklı alg türleri ve konsantrasyonlarının görünür ışık ve kızılötesi dalga boylarındaki ışık geçirgenlikleri. (A) <i>C. reinhardtii</i> 350-750 nm, (B) <i>C. reinhardtii</i> 750-1000 nm, (C) <i>C. vulgaris</i> 350-750 nm, (D) <i>C. vulgaris</i> 750-1000 nm	36
Şekil 3.8 Alg sisteminin bina ile bütünleşme detayı.....	38
Şekil 3.9 Gölgeleme sistemi	39
Şekil 3.10 Binanın enerji üretimi ve GO dengesi	40
Şekil 3.11 %90 duvar pencere oranı ile enerji simülasyon geometrisi, simülasyonda kullanılan yatay ve dikey gölgelemeyi ile %40 duvar pencere oranını gösteren enerji simülasyon geometrisi	41
Şekil 3.12 Güneş ışığı simülasyonu.....	42
Şekil 3.13 Yönelim analizi.....	43
Şekil 3.14 Binada uygulanan enerji üretim sistemleri	43
Şekil 3.15 Referans bina	44
Şekil 4.1 Araştırmanın akış şeması	51
Şekil 4.2 Grasshopper'da oluşturulan bina modeli	53

Şekil 4.3 Binanın 1. kat planı	53
Şekil 4.4 İzmir için yıllık kuru termometre sıcaklığı	55
Şekil 4.5 İzmir ili için aylık ortalama ve yönelime bağlı aylık ortalama güneş ışıını şiddetleri.....	56
Şekil 4.6 10 gün boyunca dalga boyuna göre %IG ölçümleri.....	61
Şekil 4.7 Günlük ışık geçirgenlik değerleri.....	62
Şekil 4.8 Sensör yerleşimi.....	66
Şekil 4.9 Farklı reaktör kalınlıkları için birim hacim ve birim alan başına üretilen biyokütle miktarı	70
Şekil 5.1 Cephe önerileri.....	71
Şekil 5.2 Yararlı günışığı aydınlatması değerinin görselleştirilmesi	72
Şekil 5.3 Kamaşma otonomisi değerinin görselleştirilmesi (GKO<%45)	73
Şekil 5.4 İzmir için yıllık konforsuzluk saati	74
Şekil 5.5 Pareto optimal çözümler ve çözüm uzayı	75
Şekil 5.6 Mevcut durum ve Alternatif 1'in bazı optimal çözümlerinin EGA karşılaştırması.....	79
Şekil 5.7 Alternatif 1'in bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık soğutma yükü enerjisi	80
Şekil 5.8 Alternatif 1'in bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık ısıtma enerjisi	80
Şekil 5.9 Alternatif 1'in bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık aydınlatma enerjisi	81
Şekil 5.10 Alternatif 1'in bazı optimal çözümler ile mevcut durumun konforsuz saat sayısı analizi.	82
Şekil 5.11 Mevcut durum ve Alternatif 1'in bazı optimal çözümlerin iç mekandaki kamaşmaya etkisi.....	83
Şekil 5.12 Alternatif 2 optimal çözümler ve çözüm uzayı.....	85
Şekil 5.13 Mevcut durum ve alternatif 2'nin bazı optimal çözümlerin EGA karşılaştırması.....	88
Şekil 5.14 Alternatif 2'nin bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık soğutma yükü enerjisi	89

Şekil 5.15 Alternatif 2'nin bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık ısıtma yükü enerjisi	89
Şekil 5.16 Alternatif 2'nin bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık aydınlatma yükü enerjisi.....	90
Şekil 5.17 Alternatif 2'nin bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun konforsuz saat analizi	91
Şekil 5.18 Mevcut durum ve alternatif 2'nin bazı optimal çözümlerin iç mekandaki kamaşmaya etkisi.....	92
Şekil 5.19 Alternatif 3 optimal çözümler ve çözüm uzayı.....	94
Şekil 5.20 Mevcut durum ve alternatif 3'ün bazı optimal çözümlerin EGA karşılaştırması.....	97
Şekil 5.21 Alternatif 3'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık soğutma yükü enerjisi	98
Şekil 5.22 Alternatif 3'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık ısıtma yükü enerjisi	98
Şekil 5.23 Alternatif 3'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık aydınlatma yükü enerjisi.....	99
Şekil 5.24 Alternatif 3'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun konforsuz saat analizi	100
Şekil 5.25 Mevcut durum ve alternatif 3'ün bazı optimal çözümlerin iç mekandaki kamaşmaya etkisi.....	101
Şekil 5.26 Alternatif 4 optimal çözümler ve çözüm uzayı.....	103
Şekil 5.27 Mevcut durum ve alternatif 4'ün bazı optimal çözümlerin EGA karşılaştırması.....	106
Şekil 5.28 Alternatif 4'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık soğutma yükü enerjisi	107
Şekil 5.29 Alternatif 4'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık ısıtma yükü enerjisi	107
Şekil 5.30 Alternatif 4'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık aydınlatma yükü enerjisi	107
Şekil 5.31 Alternatif 4'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun konforsuz saat analizi	108

Şekil 5.32 Mevcut durum ve alternatif 4'ün bazı optimal çözümlerin iç mekandaki kamaşmaya etkisi.....	109
---	-----



TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Güneş ışığı için beş örnek tanım.....	7
Tablo 2.2 Bina türlerine göre ABD enerji kullanım yoğunluğu	14
Tablo 2.3 Genel konfor için kabul edilebilir ısı ortam aralığı	19
Tablo 3.1 FBR prototiplerinin özellikleri.....	29
Tablo 3.2 Farklı mikroalg konsantrasyonlarının alg pencere sisteminin güneş ısı kazanç faktörü üzerindeki etkileri.....	35
Tablo 3.3 Enerji üretimi ve tüketimi	40
Tablo 4.1 Bina bileşenlerine ait katmanlar	54
Tablo 4.2 Federal Enerji Yönetim Programı (FEMP), Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE) ve Uluslararası Performans Ölçüm ve Doğrulama Protokolü (IPMVP) doğrulama kriterleri	58
Tablo 4.3 10 gün boyunca dalga boyuna göre %IG ölçümleri	63
Tablo 4.4 Tasarım parametreleri ve aralıkları.....	65
Tablo 4.5 Genel Konfor için kabul edilebilir ısı ortam.....	67
Tablo 5.1 m ² başına düşen yıllık toplam soğutma, ısıtma ve aydınlatma elektrik enerjisi tüketimi.....	73
Tablo 5.2 Mevcut binanın enerji performansı, ısı ve görsel konfor performansı göstergeleri	74
Tablo 5.3 Alternatif 1 Pareto optimal çözümler.....	78
Tablo 5.4 Alternatif 1'in bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun enerji yükleri karşılaştırması.....	81
Tablo 5.5 Alternatif 1 Biyokütleden enerji üretimi.....	84
Tablo 5.6 Alternatif 2 pareto optimal çözümler	87
Tablo 5.7 Alternatif 2'nin bazı optimal çözümleri enerji yükleri karşılaştırması.....	90
Tablo 5.8 Biyokütleden enerji üretimi	93
Tablo 5.9 Alternatif 3 pareto optimal çözümler	96
Tablo 5.10 Biyokütleden enerji üretimi	102
Tablo 5.11 Alternatif 4 pareto optimal çözümler	105
Tablo 5.12 Biyokütleden enerji üretimi	110

Tablo 5.13 Alternatif 1- Optimal çözümlerin performans değerlerinin mevcut durumla karşılaştırmasının özeti.....	113
Tablo 5.14 Alternatif 2- Optimal çözümlerin performans değerlerinin mevcut durumla karşılaştırmasının özeti.....	114
Tablo 5.15 Alternatif 3- Optimal çözümlerin performans değerlerinin mevcut durumla karşılaştırmasının özeti.....	115
Tablo 5.16 Alternatif 4- Optimal çözümlerin performans değerlerinin mevcut durumla karşılaştırmasının özeti.....	116



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Günümüzde hız kazanan enerji tüketimindeki artış ve buna bağlı olarak gelişen çevresel tahribatlar, küresel enerji tüketiminde oldukça büyük bir paya sahip olan yapı sektöründe, mimarları ve tasarımcıları yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının araştırmasına ve uygulanmasına doğru yönlendirmiştir. Bu durum sebebiyle birçok ülke ve uluslararası kuruluş tarafından ilgili mevzuatta düzenlemeler ve sürekli iyileştirmeler yapılmaktadır. Binalarda enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar “neredeyse sıfır enerjili bina” konsepti çerçevesinde yürütülmektedir. Konsept olarak neredeyse sıfır enerjili binalar, binanın enerji ihtiyacının mümkün olduğunca düşük tutulduğu ve bu azaltılmış enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılandığı binalar olarak değerlendirilebilir. Rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerjiler gibi, biyokütleden dönüştürülen biyoenerji de bir enerji kaynağı olarak fosil yakıta bağımlılığı azaltarak iklim değişikliği etkilerinin azaltılmasına olumlu katkıda bulunabilmektedir (IEA, 2017). Fritsche, Eppler, Fehrenbach ve Giegrich (2018), biyokütle, biyoenerji ve biyoyakıtlardan Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH)’nde açıkça bahsedilmese de, biyoenerjinin neredeyse tüm SKH'lere katkıda bulunma veya bunlar üzerinde olumlu etkileri olma potansiyeline sahip olduğunu belirtmektedir (Fritsche ve diğer., 2018).

Bina performansı ile ilgili olarak, enerji, gürültü ve konfor durumu, birbirini ve bina sakinlerini doğrudan etkileyen üç önemli hedeftir (Nasrollahzadeh, 2021; Aksin ve Arslan Selçuk, 2021). Ayrıca bu performanslar birçok parametreden etkilenir. Gürültü, enerji verimliliğine katkıda bulunur, yapay aydınlatma talebini azaltır (Wong, 2017). Binaların enerji tüketiminin büyük bir kısmı ısı konfor için olmaktadır (Yang, Yan ve Lam, 2014). İç mekandaki ısı konfor koşullarının sağlanması için iklimlendirme sistemleri kullanılmaktadır. Bu üç hedef bina sakinlerinin memnuniyeti, sağlığı ve üretkenliği ile bağlantılıdır ve bu hedeflerin işlevleri, bina kabuğu bileşenlerine ve dış iklim koşullarına bağlıdır.

Bina kabuğu, dış ortam ile doğrudan temas halinde olup, ısı kayıp/kazancının ortalama %75'i bina kabuğunda meydana gelmektedir (Zhao ve Du, 2020). Bina kabuğu enerji performansı, duvar yalıtımı, çatı yalıtımı, pencere alanı, pencere camı,

pencere gölgeleme, iklim bölgeleri ve bina yönelimi dahil olmak üzere çok sayıda bina parametresini içerir. Bina bileşenlerinden özellikle pencere, toplam ısı transfer katsayısı normalde bina kabuğunun diğer bileşenlerinden beş kat daha büyük olan ve bir binanın toplam enerji tüketiminin %60'ından sorumlu olan bina kabuğu bileşenidir (Zhao ve Du, 2020). Bu yüzden pencerelerin doğru tasarımı binanın enerji tüketimi açısından önemlidir. Aynı zamanda bina performansını iyileştirmek, çok sayıda parametre kombinasyonunun değerlendirilmesini gerektirir.

Günümüzde hesaplamalı tasarım dönemiyle birlikte, çeşitli tasarım araçları kullanılarak, daha iyi performansa sahip binalar tasarlamak mümkündür. Simülasyon tabanlı optimizasyon, düşük enerjili binalar, pasif evler, yeşil binalar, neredeyse sıfır enerjili binalar, sıfır karbonlu binalar gibi yüksek performanslı binalar için çeşitli ihtiyaçları karşılamak amacıyla en verimli önlemleri hesaplamakta yardımcı bir yöntemdir. Sonuç olarak, bina performansının hesaplanması karmaşık bir süreçtir; bu nedenle, araştırmacılar ve mimarlar, yüksek performanslı tasarım için simülasyon tabanlı optimizasyon yöntemini kullanmaktadır.

4.1 Problem Tanımı

Binaların erken tasarım aşamalarında verilen tasarım kararları, binanın günüşiği, konfor ve enerji performansını büyük ölçüde etkilemekte ve ileride çıkabilecek sorunlara karşı çeşitli önlemler alabilmeyi mümkün kılmaktadır. Ortaya konulan bu kararlarla birlikte yüksek performanslı binalar elde edilebilmekte, belirlenen enerji hedeflerine katkı sağlanmaktadır. Yapı kabuğu, enerji etkinliği açısından yapıların değerlendirilmesinde, iç ve dış ortam arasında bir tampon 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. Bu doğrultuda, bina performansı açısından bina kabuğu bileşenlerinin üzerinde yapılan değişimler ve en verimli değerlerin bulunması aşaması önemlidir. Ayrıca kabuk bileşenlerinde yenilikçi bir alternatif olarak mikroalg kullanımı binaların daha sürdürülebilir olmasını ve enerji dengesine olumlu yönde katkı yapabilmesini sağlayacaktır.

Mikroorganizmaların, yeşil binaların bir parçası olarak kullanılması doğal ortamlarını taklit ederek kapalı bir büyüme ortamını sağlayan bir fotobiyoreaktör (FBR) yardımıyla olabilir. Düz panel FBR'ler içinde sıvı yani su+alg ortamı olan çift camlı bir pencereye benzer. Bu tip FBR'ler, net enerji tüketimini azaltma, arıtılmış atık su gibi atık emisyonları tüketme, fotosentez yoluyla O₂ üreterek iç hava kalitesini artırma, dinamik gölgeleme ve ısı yalıtımı amacıyla kullanılarak bina performansına katkıda bulunabilir. FBR'lerin binalara getireceği faydaları araştıran çalışmalar bulunmaktadır. Pruvost, Le Gouic, Lepine, Legrand ve Le Borgne (2016), yazın, FBR'lerin termal yükleri filtrelediğini ve binayı koruduğunu, kışın ise binayı ısıtmak için kullanılabileceğini belirtmiştir. Arajı ve Shahid (2018) çalışmasında alg prototipi, fotosentez yapma süresi ve panel eğimi parametrelerine bağlı olarak enerji üretimi, CO₂ biyofiksasyonu ve arazi kaynakları kullanımının azaltılması açısından faydalarını değerlendirmiştir. Elrayies (2018), cephelerin potansiyellerini günışığı ve termal performans, potansiyel görünürlük, akustik performans, ekonomik ve çevresel uygulanabilirlik ve estetik özellikler olarak sınıflandırmış ve değerlendirmiştir. Talaei, Mahdavejad ve Azari (2020), FBR'lerin yeşil cepheler ve çift cidarlı cephelerle termal performansı açısından karşılaştırma yaparak, FBR'nin termal performansına etki eden parametreleri incelemiştir. Kim ve Patel (2018), mikroalg cephelerinin, karbon tutma ve yenilenebilir enerji üretimi dahil olmak üzere bina kabuklarının iyileştirilmiş enerji performansı yoluyla bir binanın sürdürülebilirliğe katkısını incelemiştir. Tüm bu çalışmalar, canlı organizmaların bina cephelerinde kullanılması ile binaların enerji tasarrufu ve üretimindeki pasif ve aktif rollerini artırabileceğini göstermektedir. FBR cephe uygulamalarında, dış ve iç mekanlar arasında bağlantı sağlamanın yanı sıra biyoenerji için yeni bir üretim alanı sağlanarak yenilenebilir enerji kullanımını yaygınlaştırılmakta, böylece binalar hem daha enerji verimli hem de sürdürülebilir hale gelmektedir. Bina cephesinin mikroalg üretim alanı olarak kullanılması, üretilen biyokütlenin binanın ihtiyaçları için gerekli olan enerjinin kullanılmasında önemli rol oynamaktadır.

Son yıllarda, mimarlar ve tasarımcılar tarafından mikroalgleri mimariyle bütünleştirmek için çeşitli çalışmalar artmaktadır. Ancak algin performansını çeşitli yönlerden belgelemek, diğer teknolojilere kıyasla verimliliğini artırmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Bu doğrultuda şu ana kadar yapılan çalışmaları incelendiğinde

literatürde FBR cephelerini yüksek güneşli performansı ve düşük enerji kullanımı için optimize eden çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu yenilikçi sistemlerin geleneksel pencere sistemlerine göre enerji dostu bir alternatif olarak sunulabileceği bazı çalışmalar bulunmakla birlikte FBR cephelerinin güneşli ve enerji performansının yanında ısı konfor performansını optimize eden çalışma bulunmamaktadır. Düz panel tipi FBR'lerin mekanda içeriye giren fazla güneş ışımasını ve yansımalarından oluşabilecek kamaşmaya etkisi hiç bir yayında incelenmemiştir. Ayrıca FBR elemanının tanımlanması hakkında literatürde çeşitli ölçümler ve hesaplamalar yapılmış olmakla birlikte gerçek performansını ne kadar ortaya koyabildikleri konusunda bir bilgi boşluğu vardır.

4.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı doğada gözlemlenen karbon nötr döngüsel sistemlerden ilham alan yenilikçi ve doğa tabanlı bir cephe elemanı olan FBR'nin yapıyla bütünleşmesi durumunda uygulandığı yapının enerji tüketimine ve ısı-görsel konforuna etkisini araştırmaktır. Dört hedef, bu araştırma amacı ile doğrudan ilişkilidir:

- FBR'lerin enerji tüketimi ve ısı-görsel konfor performanslarına etkisinin geri bildirimini hızlı bir şekilde alacak ve tasarımcılara karar verme sürecini destekleyecek bir bina performans optimizasyon süreci kurgulamak ve test etmek,
- FBR elemanının bina performans modelinin doğru tanımlanması için literatür araştırması ve deneysel ölçümler yapılması ve elemanın yazılıma uygun biçimde tanıtılabilmesi,
- FBR ile bütünleşik kurgulanan alternatif bina cephelerinin simülasyon çalışmaları ile farklı bina performansları için hangi parametrelerin etkisinin olduğunun araştırılması,
- Önerilen FBR cephelerinin istenilen performanslara uygun mevcut pencere sistemi ile karşılaştırmasının yapılarak iyi alternatif önerilerini kullanıcıya sunabilmek.

4.3 Tezin Kapsamı

Bu tezin kapsamı; sürdürülebilir, karbon nötr bir yapılı çevre oluşturmak, yapılı çevrenin olumsuz çevresel etkilerini azaltmak ve binaların girdi ve çıktılarını en aza indirmek için canlı organizmaların sisteme dahil edilmesinin araştırılmasıdır. Bu bağlamda mikroalglerin bina cephelerine entegre edilmesiyle enerji verimli binaların oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır.

Bu sistem Akdeniz ikliminde yer alan bir bina cephesine uygulanmaktadır. FBR sisteminin ısı, görsel ve enerji performansı değerlendirilmiş, ancak FBR pencere sistemi olarak kabul edilip bina ile bütünleşmesi ve teknik uygulanabilirliği, maliyet hesabı, yaşam döngüsü analizi, çevresel performansı bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.

FBR sistemin bilgisayar programlarında tanımlanması ile ilgili gerekli veriler literatürde kısıtlıdır. Bu çalışma kapsamında bazı ölçüm ve hesaplamalarla üretilen veriler kullanılmıştır. Fakat bu veriler büyük ölçekli bir FBR ölçümü ile doğrulanmamıştır. Ayrıca alg konsantrasyonundaki zamana bağlı değişim, standart EnergyPlus malzeme özelliklerini dinamik olarak değiştirmesine izin vermediği için her durumun sabit koşulları değerlendirilmiştir.

Simülasyonlarda FBR bir pencere sistemi olarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda içerisinde bulunan suyun ısı kütlesinin etkisinin literatürdeki çalışmalarda ihmal edildiği görülmüştür. Bu çalışmada da ısı kütlesi etkisi ihmal edilerek literatür ile karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmanın bir diğer sınırlılığı da çoğu optimizasyon çalışmasında olduğu gibi değişken ve ısı bölge sayısı arttıkça optimizasyon süresinin uzamasıdır. Bu nedenle daha fazla seçenek değerlendirmenin mümkün olduğu gösterilmiş ancak ofis binasını temsil etmek için tek bir ısı bölge seçilerek optimize edilmiş ve bu sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.4 Tezin Yöntemi

Bu tez çalışmasında, literatür incelemesi sonrasında, nitel araştırma yöntemi olarak vaka çalışması nicel çalışma yöntemi olarak da deneysel ölçümler ve bilgisayar tabanlı

simülasyon-optimizasyon araştırma yöntemleri kullanılmıştır. Bu tez şu şekilde organize edilmiştir;

Bölüm 1’de tez çalışmasının problem tanımı, amacı, kapsamı ve yöntemi açıklanmıştır.

Bölüm 2, bina performanslarına yönelik kavramlar, enerji verimli bina tasarımında simülasyon ve optimizasyon çalışmalarının önemi ve bina cephelerine mikroalglerin entegrasyonunun bina performansına etkisine ilişkin bir literatür incelemesini içermektedir.

Bölüm 3’te, literatürdeki binalara entegre edilmiş FBR cephe uygulamaları incelenmiş ve sonraki bölümlerde önerilecek cephe çalışmaları için bir kaynak oluşturulmuştur. İncelemede cephelerin kullanım amaçları, mimarların eğilimleri ve düşünceleri, bu tür binaların mimari tasarımında ihtiyaç duyulan gereksinimler ve olanaklar hakkında bir fikir oluşturulmuştur. Örnek araştırmaların yöntem ve sonuçları, enerji ve güneş ışığı etkileri ön planda tutularak değerlendirilmiştir.

Bölüm 4’te, önerilen bina performans optimizasyon metodolojisi tanımlanmıştır. Mevcut binanın simülasyon sonuçlarının doğrulanması ve sonrasında bina performansını iyileştirmek adına önerilen cephelerin optimizasyon modelinin uygulanma süreci detaylı açıklanmıştır.

Bölüm 5’te önerilen dört cephe alternatifinin optimizasyon sonuçlarının ısı-ışık-görsel konfor, enerji tüketimi açısından analiz ve değerlendirmeleri yapılmıştır. Mevcut bina ile karşılaştırmalar yapılmış, ek olarak alglerin fotosentez sonucunda ürettiği biyokütleden enerjiye dönüşümüyle bina enerji tüketiminin ne kadarını karşıladığı incelenmiştir.

Bölüm 6’da ise çalışmadan çıkarılan sonuçları özetlenmektedir. Ayrıca önerilen metodolojiyi geliştirmek için gelecekte yapılacak çalışmalar ana hatlarıyla belirtilmektedir.

BÖLÜM İKİ

BİNA PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ VE SİMÜLASYON

2.1 Binalarda Güneşli Performansı

Güneşli algısı, iç mekan çevre kalitesinde önemli bir faktördür. Güneşli, fiziksel çevre konularıyla ilişkili olduğu için hem mimari hem de birçok disiplin tarafından üzerinde çalışılan bir konudur ve mimari tasarımlarda çok farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır (Arpacıoğlu, Çalışkan, Şahin ve Ödevci, 2020). “İyi güneşli nedir?” sorusunun yanıtını farklı meslek grupları, soruya farklı yönlerden odaklandığı için belirlemek zordur. Reinhart ve Galasiu (2006) tarafından yapılan çalışmada sürdürülebilir bina tasarımında güneşli kullanımına ilişkin yapılan anketle, güneşli için birçok tanım elde edilmiş olup, bu tanımlar Tablo 2.1’de sunulmaktadır.

Tablo 2.1 Güneşli için beş örnek tanım (Reinhart ve Galasiu, 2006).

Mimari tanım: Görsel olarak uyarıcı, sağlıklı ve üretken bir iç ortam sağlamak için doğal ışık ve bina formunun etkileşimi
Aydınlatma Enerji Tasarrufu tanımı: İç mekân elektrik aydınlatma ihtiyaçlarının güneşliyle değiştirilmesi, aydınlatma için yıllık enerji tüketiminin azalmasıyla sonuçlanır
Bina Enerji Tüketimi tanımı: Genel bina enerji gereksinimlerini (ısıtma, soğutma, aydınlatma) azaltmak için pencere sistemleri ve duyarlı elektrikli aydınlatma kontrollerinin kullanılması
Yük Yönetimi tanımı: En yüksek elektrik talebini ve yük şeklini yönetmek ve kontrol etmek için fenestrasyon ve aydınlatmanın dinamik kontrolü
Maliyet tanımı: İşletme maliyetlerini en aza indirmek ve çıktı, satış veya üretkenliği en üst düzeye çıkarmak için güneşli stratejilerinin kullanılması

Görsel konfor kavramı, etrafımızdaki ışık seviyelerini kontrol etme yeteneğimize bağlıdır. İnsan gözü sürekli olarak ışık seviyelerine uyum sağladığından, ışık seviyelerindeki değişiklikler veya keskin kontrast, strese ve yorgunluğa neden olabilir. Yapay ışıkla karşılaştırıldığında güneşli, yoğunluk, yön ve spektral bileşimde tutarlı değişiklikler içerdiğinden görmek için daha iyi koşullar sunmaktadır (Wong, 2017). Bunun yanı sıra, güneşli kullanmak sağlığı, farkındalığı, üretkenliği ve rahatlık hissini iyileştirmeye yararlı olur (Jakubiec ve Reinhart, 2016). Yapılı çevrede güneşli tasarımı ve uygulamalarının avantajları büyük ölçüde belgelenmiştir. Konforlu ve

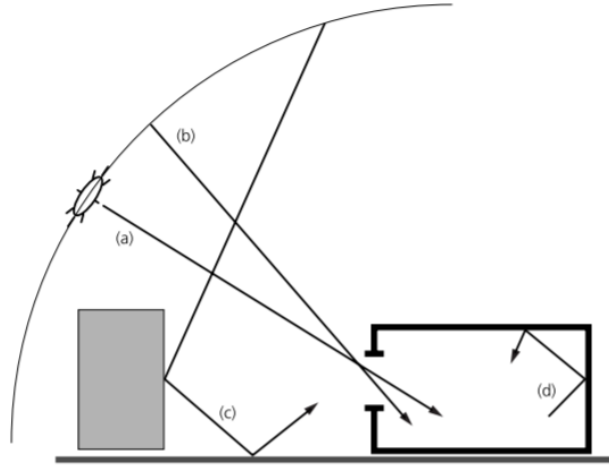
üretken alanları garanti etmek için bina sakinlerine kabul edilebilir ışık seviyeleri sağlanmalıdır (Chraibi ve diğer., 2016). Bu nedenle günışığının niteliği ve niceliğini hangi faktörlerin etkilediğini anlamak gerekmektedir.

Günışığını kullanmak aynı zamanda binanın yapay aydınlatma kaynaklı elektriksel enerji yükünün azaltılmasını sağlamaya yardımcı olmaktadır. Wong (2017)'nin de belirttiği gibi elektrikli aydınlatmalar binanın yıllık enerji tüketiminin yaklaşık %25-40'nı oluşturmaktadır ve yapay aydınlatmaya alternatif olarak günışığının enerji verimliliğini artırmanın en basit yöntemlerinden biri olarak görülmektedir. Ancak, günışığı tek başına enerji tasarrufu sağlamamaktadır. Kullanıcı varlığı, zaman planlaması, manuel karartma, günışığına bağlı olarak otomatik karartma işlemlerini gerçekleştiren aydınlatma stratejileri veya fotosensörler entegre edilebilirse maliyet ve enerji tasarrufuna katkıda bulunmaktadır (Doulos, Tsangrassoulis ve Topalis, 2008). Aydınlatma enerjisini azaltma potansiyeline ek olarak, günışığı yapay aydınlatmaların yaydığı ısıyı azaltarak binanın soğutma yükünü de azaltabilir. Ancak aşırı cam alanı, büyük ısı kaybına ve ısı kazanımına neden olabilmektedir ve binanın ısıtma ve soğutma enerji tüketimini artırabilir. Bu nedenle, günışığı aydınlatma sisteminin uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir (Fang, 2017).

Binaların erken tasarım aşamasında, günışığı performansının belirlenmesi ve değerlendirilmesi ile karar verilip uygulanması aşamasından sonra günışığı etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Günışığının doğru bir şekilde kullanılması, birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Günışığının kalitesi ve yoğunluğu coğrafi enlem, yıl içindeki mevsim, günün saati, yerel hava durumu, gökyüzü koşulları ve bina geometrisine, günışığı açıklığının hemen etrafındaki bileşenlere ve iç mekanların konfigürasyonuna göre değişmektedir (Wong, 2017).

2.1.1 Günışığı Performans Göstergeleri

Günışığı, değerlendirmesi zor bir yapı performansı stratejisidir. Görsel konforun farklı yönlerini (ışık miktarı, ışık homojenliği, ışık kalitesi ve kamaşma) değerlendirmek için geliştirilen günışığı indeksleri, günışığı performansını nasıl ölçtükleri ve değerlendirdikleri konusunda birbirinden farklıdır. EN 17037, BIS 8206 gibi teknik standartlarda ve LEED, BREEAM, IES, DNGB gibi derecelendirme



Şekil 2.1 Günişığı faktörü bileşenleri a) güneşten doğrudan ışık, b) gökyüzünden doğrudan gelen ışık c)dışarıdan yansıyan ışık d)içerden yansıyan ışık (Mardaljevic, 1998)

GF'nin en büyük zayıflığı, araştırılan binanın yöneliminin GF'yi etkilememesidir, çünkü CIE referans gökyüzü rotasyonel olarak değişmez ve incelenen binanın coğrafi enleminden bağımsızdır (Reinhart, 2010). Bununla birlikte GF yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ve belirli bir binanın iç kısmının ne kadar "parlak" veya "karanlık" olduğuna dair bir his sağlar. Tek bir gökyüzü durumuna dayandığından, belirli bir binadaki genel günişığı durumunu yargılama güvenilirliği doğası gereği sınırlıdır (Reinhart, 2010). İngiliz Standartları Enstitüsü, %2 altı ve %5 üstü değerlerin genel anlamda memnuniyetsizlik sınırını oluşturduğunu ifade etmektedir. %2 altı değer, yetersiz günişığı; %5 üstü değer, kamaşma sınırını ifade etmektedir (BS 8206-2:2008).

Günişığı Aydınlik Düzeyi Faktörü: Bir yüzeyde, birim alana düşen ışık akısının, yüzeyin alanına bölümü olarak tanımlanır. Birimi lux'tur. İç ortamın parlaklığını değerlendirmek için en yaygın kullanılan ölçüdür. Önerilen aydınlatma seviyeleri Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu (IES) tarafından alan ve görsel görevlerin türüne, bina sakinlerinin yaşına vb. göre tanımlanır. Yeminli İnşaat Mühendisleri Enstitüsü (CIBSE) standartlarında ofisler için önerilen ortalama aydınlık düzeyi en az 300 lux; derslikler, amfi ve laboratuvar için en az 500 lux, giriş holü için en az 200 lux ve dolaşım alanı için en az 100 lux'tür (CIBSE, 2002).

Günişığı Otonomisi (GO): Bir yıl içinde bir hacimde istenen aydınlık düzeyinin yalnızca doğal aydınlatma ile sağlandığı saatlerin toplamının, yıl içindeki toplam

kullanım saatlerine oranı olarak nitelendirilmektedir (Şener Yılmaz, 2014). GO, günışığının alana ne kadar iyi nüfuz edeceğine dair sezgisel bir bakış açısı getirir. Dinamik bir günışığı aydınlatma ölçütüdür. Temel dezavantajı, GO'nun günışığı aydınlatma değeri için bir üst limite sahip olmaması nedeniyle, aşırı güneş ışığı gibi yüksek eşik değerlerinde oluşacak görsel konforu dikkate almamasıdır.

Elverişli Günışığı Aydınlığı (EGA): Günışığı kullanılabilirliğini değerlendirmek için kullanılan en yaygın dinamik ölçümlerden biridir. Günışığının sağladığı aydınlatmanın yararlı bir aralıkta olduğu yıldaki saat sayısının, bir yıldaki toplam dolu saat sayısına oranıdır (Nabil ve Mardaljevic, 2005). Bu yöntemde, hacimlerde oluşan günışığının “faydalı” olma aralıkları, dünyada bu konuda yapılmış çeşitli çalışmalara dayandırılarak şu şekilde gruplandırılmıştır: 100 lux’ ten küçük olan değerleri yetersiz, 2000 lux’ten yüksek değerleri ise istenmeyen günışığı aydınlığı olarak tanımlamışlardır. Aradaki değerleri ise elverişli aydınlatma değeri olarak belirtmişlerdir (Nabil ve Mardaljevic, 2005; Şener Yılmaz, 2014). GO en az değer, EGA ise bir aralık vermektedir. Bu gösterge GO’yu tamamlayıcı niteliktedir.

Mekansal günışığı otonomisi (MGO): Kullanılan saatlerin %50'si için 300 lux’ün üzerindeki alan yüzdesini tanımlar. Yani hem mekansal hem de zamansal özellikler değerlendirilmektedir. Literatürde yaygın olarak İngilizce kısaltması olan sDA olarak belirtilir. %55 ile %74 arasındaki bir sDA değeri, günışığının bina sakinleri tarafından "nominal olarak kabul edildiği" bir alanı belirtir. Bu nedenle aydınlatma tasarımcıları, açık plan ofis veya sınıf gibi düzenli olarak kullanılan alanlarda %75 veya daha yüksek ve günışığının az önemli olduğu alanlarda en az %55 sDA değerleri elde etmeyi hedeflemelidir (Lee ve diğer., 2019).

Günışığı kamaşma olasılığı (GKO): Günışığından gelen parlamayı değerlendirmek için, görsel alanın genel parlaklığını ve mekanın algılanan kontrastını tek bir gösterge ile birleştiren yaygın olarak kullanılan bir ölçümdür (Shafavi, Zomorodian, Tahsildoost ve Javadi, 2020). Mekanlarda ölçülen aydınlık ve parıltı değerleri ile kullanıcıların aydınlatma koşullarına olan tepkisi arasındaki ilişkiye dayanır. Binanın yıllık kullanım süresinin %5’inde GKO değerinin %45’i aşması istenmemektedir. GKO dört aralıkta sınıflandırılır:

- Algılanamayan kamaşma ($GKO < 0,35$),
- Algılanabilir kamaşma ($0,35 \leq GKO < 0,4$),
- Rahatsız edici kamaşma ($0,4 \leq GKO < 0,45$)
- Dayanılmaz kamaşma ($GKO \geq 0,45$) (Jakubiec ve Reinhart, 2010).

2.1.2 Güneşli Simülasyonu

Binalarda güneşli performansı çeşitli yöntemlerle değerlendirilebilmektedir. Bu yöntemler simülatörlü ölçekli modeller, matematiksel modeller, alan ölçümü için tam ölçekli modeller ve bilgisayar simülasyon yazılımlarıdır (Wong, 2017). Bütün yöntemler karşılaştırıldığında şu sonuçlar çıkarılabilir; tam ölçekli modeller ve maketler en güvenilir yöntem olmasına rağmen çok maliyetli ve zaman alıcıdır. Ölçekli modeller, tam ölçekli modellere göre daha ucuz ve kolaydır. Fakat mümkün olduğunca doğru sonuçlar elde etmek için bir güneşli modeli oluştururken birçok parametrenin (geometri, ışık sızıntılarının olmaması, malzeme seçimi vb. gibi) belirli kurallar doğrultusunda dikkatli bir şekilde bütünleştirilmesi gerekir (Wong, 2017). Bilgisayar simülasyon programları ise çok sayıda tasarım değişkenlerini içermesi kabiliyeti ve doğru sonuçları nedeniyle bina tasarımı aşamasında en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Araştırmacılara elde edilmesi uzun zaman alan daha karmaşık sonuçları karşılaştırmaları için daha hızlı ve gelişmiş yollar sağlayabilmektedir (Ochoa Morales, Aries ve Hensen, 2012). Simülasyon programları ile binaların erken tasarım aşamasında, iç mekanlarda oluşabilecek günlük ve mevsimsel aydınlık düzeyi değerleri tespit edilebilmektedir (Şener Yılmaz, 2014). Mekan içindeki aydınlık dağılımı incelenebilmektedir. Güneşli'ne bağlı olarak ısıtma, soğutma ve elektrik yükünün azaltılmasıyla elde edilen enerji tasarrufunun potansiyeli anlaşılabilmektedir. Bina sakinleri için kamaşma problemlerinin ortadan kaldırılabilmesi ile görsel konfor koşulları sağlanabilmektedir. Ayrıca analiz sonuçlarına göre gölgeleme elemanları (güneş kırıcılar) tasarımı yapılabilmektedir.

Güneşli performansı için en sık kullanılan bilgisayar simülasyon araçları şu şekildedir; Radiance, Adeline, Ecotect, Daysim ve Relux, Dialux'tur. Aydınlatma enerjisi tasarrufunun küresel bina enerji tüketimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için güneşli ve termal simülasyon programları (DOE, EnergyPlus) entegre edilmiştir. Güneşli simülasyon programları, binalardaki aydınlık hesaplamaları için farklı

yöntem ve algoritmalar kullanır. Günümüzde en çok uygulanan iki aydınlatma algoritması vardır: ışın izleme (görüntüye bağlı algoritma) ve radyosity (sahneye bağlı algoritma). Radiance, geriye dönük bir ışın izleme programıdır. Relux, yapay aydınlatma ve günışığı simülasyonu yapabilen radyosite tabanlı bir programdır (noktadan noktaya yöntemi).

Radiance, Ward tarafından Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı'nda geliştirilen ve yapılı çevrede en popüler günışığı modelleme ve simülasyon paketi olarak kabul edilen geriye dönük ışın izleme programıdır. Bu programın sonuçlarının doğruluğu, Uluslararası Aydınlatma komisyonu tarafından bilgisayar tasarım araçlarının doğrulanması için 2006 yılında yayınlanan teknik rapordaki (CIE 171:2006) doğrulama kalıplarına göre değerlendirilmiştir. Bu teknik rapor kullanılarak yapılan çeşitli testlerde Radiance programının oldukça iyi performans gösterdiği, dolayısıyla binaların günışığı tasarımı için önerilebilir bir program olduğu söylenebilmektedir (Geisler-Moroder ve Dur, 2008; Vajkay ve Zizka, 2014). Ayrıca program çıktıları araştırmacılar tarafından birçok çalışmada yerinde ölçüm ve ölçekli model çıktıları ile doğrulanmıştır (Ochoa Morales ve diğer., 2012). Radiance'ın kullanıcı arayüzünün olmaması sebebiyle Daysim gibi araçların içine aydınlatma simülasyon motoru olarak dahil edilmektedir (Fang, 2017).

Daysim, Almanya'daki Fraunhofer Güneş Enerjisi Sistemleri Enstitüsü (ISE) ile iş birliği içinde Kanada Ulusal Araştırma Konseyi'nde geliştirilmiştir. Radiance tabanlı bir günışığı analiz aracı olan Daysim, yerel iklim verilerine ve günışığı katsayısına dayalı olarak, yıllık aydınlık/parlaklık profillerini verimli bir şekilde hesaplamaktadır. Otomatik aydınlatma kontrolleri ve gölgeleme cihazlarından elde edilen elektrik aydınlatması enerji tasarruflarını, yıllık ışığa maruz kalmayı ve GO gibi günışığı performans göstergelerini tespit edebilmektedir.

2.2 Binalarda Enerji Performansı

Binaların ısı performansını, binanın çevresinin mikro iklimi, bina fiziki ve bina içinde gerekli ısı konforu ile ilgilidir. Bu üç kategori arasında bina fiziki, özellikle bina kabuğu parametreleri, bina enerji performansını ve konforunu önemli ölçüde etkileyebilir. Bina kabuğu bileşenleri, bir binanın iç ve dış arasındaki termal bariyeri

oluşturan parçaları olarak, aktif uygulamalar yapılmasa bile binanın enerji tüketimini ve konforunu önemli ölçüde etkiler. Bir binadaki ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerji tüketimini malzemenin ısı iletimi, pencereden iletilen güneş enerjisi, gölgeleme özellikleri, görünür geçirgenlik gibi özelliklerle etkiler (Kheiri, 2018). Bu sebeple bina kabuğu parametrelerini optimize ederek tüketilen enerji miktarını azaltmaya çalışmak çok fazla araştırmacının odak konusu olmuştur.

2.2.1 Enerji Performans Göstergeleri

Enerji kullanım yoğunluğu (EKY), binalarda enerji kullanımını temsil eden bir ölçü birimidir. Binanın bir yılda tükettiği toplam enerjinin, binanın toplam brüt kat alanına bölünmesiyle hesaplanır. EKY'nin birimleri $\text{kBtu/ft}^2\text{yıl}$ veya $\text{kWh/m}^2\text{yıl}$ ' dır. EKY, bina enerji performansını ve enerji tasarrufu potansiyelini değerlendirmek için önemli bir göstergedir. Genel olarak, düşük EKY, bir binanın daha iyi enerji performansının göstergesidir (Ghobad, 2013).

EKY, tasarıma başlamadan önce enerji performansı için bir hedef belirlemek, bir binanın tasarlanmış veya operasyonel performansını aynı bina tipindeki diğerleriyle kıyaslamak veya enerji yönetmeliği gerekliliklerine uygunluğu değerlendirmek dahil olmak üzere birçok farklı şekilde kullanılır (AIA California, 2020). Bina enerji kullanımı, bina tipi, hava durumu, çalışma saatleri, bina sakinlerinin sayısı, priz yükleri ve kullanıcı programları gibi çok sayıda iç ve dış faktörden etkilenebilir. Bina tipine göre EKY değerleri Tablo 2.2'de verilmiştir. Bir hastane veya restoran, bir konut veya küçük ofis binasından daha yüksek bir EKY'ye sahip olmaktadır.

Tablo 2.2 Bina türlerine göre ABD enerji kullanım yoğunluğu (EPA, 2016)

Birincil işlev	Kaynak EKY (kBtu/ft^2)	Arazi EKY (kBtu/ft^2)
Laboratuvar	123,1	78,8
Öğrenci yurdu	114,9	73,9
Ofis	148,1	67,3
Otel	162,1	73,4
Alışveriş merkezi	235,6	93,7
Üniversite	262,6	130,7
Hastane	389,8	196,9
Restoran	432	223,8

2.2.2 Enerji Simülasyonu

Binalar bulundukları bölgelerin iklim koşullarına, bina işlevlerine ve bina kabuğunun performansına bağlı olarak ısı konfor koşullarını sağlamak için belirli bir miktar enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu gereksinim pasif sistemlerin yanı sıra iklimlendirme ve havalandırma için aktif sistemlerden de karşılanmaktadır. Binaların işletilmesinin yanında iklimlendirme ve aydınlatma amaçlı tükettiği bu enerji küresel enerji tüketim miktarına etkisi büyüktür. Binaların enerji performansının artırılması için öncelikle bir binanın yıl boyunca ne kadar enerji tükettiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Binaların enerji tüketimini ve verimliliğini değerlendirmek, çeşitli yöntemlerle ele alınan karmaşık bir görevdir. Bina enerji modellemesi, tasarım ve yenileme enerji verimliliği önlemlerini değerlendirmek için yaygın olarak uygulanan, binaların enerji verimliliğini değerlendirmede yaygın yöntemler arasındadır (Kampelis ve diğer., 2020).

Simülasyon modelleri, yapı gereksinimlerinin, çevresel performanslarının ve bina sakinleri için iç mekan konfor koşullarının doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağladığından, tasarımı daha başlangıç aşamalarından desteklemek için uygun bir aracı temsil eder. Bu nedenle, hava koşulları, inşaat teknolojileri, malzemeler, enerji sistemleri, işletme ayarları, doluluk vb. belirli girdilerden başlayarak gerçekçi bina enerji performansını tahmin etmek mümkündür. Aynı zamanda karar verme sürecine yardımcı olmak için birbiriyle ilişkili performans hedeflerini eşzamanlı olarak hesaplamak, daha fazla zaman ve maliyet gerektiren prototip üretimi için büyük bir çaba sarf etmeden farklı tasarım seçeneklerini keşfetmek mümkün olacaktır (Castaldo ve Pisello, 2017). Bu nedenle günümüzde bilgisayar tabanlı programlar (simülasyon araçları) bina tasarımında, işletiminde ya da iyileştirilmesinde yardımcı olmak amacıyla karar verme sürecinin ayrılmaz bir parçası olarak kullanılmaya başlanmıştır (Yılmaz, 2012). Bina enerji simülasyon programları Yeşil Bina tasarımının ve LEED sertifikasyonu gibi süreçlerin de önemli araçlarından olup, yapılması zorunlu tutulmuştur (Çakmanus, 2011).

Yıllar boyunca, tüm bina performans simülasyonlarını gerçekleştirmek için birkaç farklı araç ve yazılım uygulanmıştır. En sık kullanılanlar arasında DesignBuilder, DOE-2, TRNSYS, ENERGYPLUS bulunmaktadır. Bu tür enerji simülasyon araçları,

termal konfor ve enerji tüketimini etkileyen kilit değişkenlerin hangileri olduğunu belirlemek ve dolayısıyla bina tasarım sürecini desteklemek için binanın termal-enerji performansını doğru bir şekilde tahmin etmeye izin verir.

Amerikan Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilmiş olan EnergyPlus, en popüler bina enerji simülasyon programlarından biridir. Gelişmiş bir tüm bina enerji simülasyon motorudur ve binalarda hem enerji tüketimini hem de su kullanımını modellemek için kullanılabilir. BESTEST protokolleri ile doğru hesap yaptığı ortaya konulduğundan bilimsel çalışmalarda geniş ölçüde kullanılmaktadır. EnergyPlus, binanın enerji performansını ve teknik sistemlerinin farklı dış koşullara nasıl yanıt verdiğini ve iç mekân hava kalitesi, termal ortam ve aydınlatma için önceden belirlenmiş iç mekân gereksinimlerine nasıl yanıt verdiğini değerlendirmek için hava durumu veri seti kullanarak yıllık bazda yapar. Veri setleri, ölçülen veya hesaplanan kuru termometre sıcaklığı, rüzgâr hızı, bağıl nem, günlük güneş alan saat sayısı gibi parametrelerin farklı saatlik değer kombinasyonlarından oluşur ve dış hava girişlerini ele almak ve binanın ihtiyaçlarına daha derin bir bakış sağlamak için binanın iç ortam ihtiyaçları hakkında bilgi sağlayabilmektedir.

2.3 Isıl Konfor Performansı

İnsan termal konforunun tanımlanmasına yönelik üç ana yaklaşım vardır: psikolojik yaklaşım, termofizyolojik yaklaşım ve insan enerji dengesine dayalı bir yaklaşım (Höppe, 2002). Psikolojik yaklaşım, termal konforu hem ISO 7730 (1994) hem de ASHRAE 55 (2004) standartlarında yer alan “ısıl ortamdan duyulan memnuniyeti ifade eden zihin durumu” olarak tanımlamaktadır. Bu tanıma göre, termal konfor öznel ve bireyler arasında, ayrıca çevreye ve iklime göre değişebilir. Diğer iki tanıma göre cilt sıcaklık değerinin baskın rol oynadığı görülmektedir. Termofizyolojik yaklaşımda deride ve beyinde (hipotalamus) bulunan sıcaklığa veya sıcaklık değişimine duyarlı sinir uçları tarafından gönderilen sinyallere dayanır (Hensen, 1990). Enerji dengesine dayalı yaklaşımda ise insan vücuduna giren ve çıkan ısı akışları dengelendiğinde, cilt sıcaklığı ve ter hızının içinde bulunduğu termal konfor durumu ve sadece metabolizmaya bağlı bir konfor aralığıdır (Fanger, 1972). Literatürde bulunan başlıca ısı konfor metodlarından bir tanesi Fanger metodudur.

2.3.1 Fanger Metodu

İnsanların bir binayı nasıl algıladıkları, yapılı çevrede nasıl davrandıkları ve günlük tükettikleri enerji miktarı üzerinde konforun önemli bir rolü vardır. Buna bağlı olarak konfor bina tarafından üretilen bir ürün olmamakla birlikte bina sakinlerinin ulaşmak istedikleri bir amaç olduğu söylenebilir (Bakmohammadi ve Noorzai, 2020). Bina sakinlerinin ısı gereksinimlerini elde etmek için binalarda çeşitli mekanik sistemler kullanılır. Çalışma takvimi ve sistem tipolojisi, bina sakinlerinin ihtiyacına, bina tipolojisine veya hava koşullarına göre binadan binaya değişiklik gösterebilir. Bu durum ISO7730 ve ASHRAE 55 gibi termal konfor standartlarının ve modellerinin oluşturulmasına yol açmıştır. Bu standartlar insan vücudu ve çevresi arasındaki ısı dengesi denklemlerine dayanan “Fanger Metodu”na dayanmaktadır.

Fanger tarafından 1966-1970 yılları arasında geliştirilen ısı konfor modeli, ısı konforu belirlemeye yönelik ilk çalışmalardan biri olarak kabul edilmektedir. Fanger üniversite çağındaki katılımcılarla farklı türlerde yaptığı etkinliklere dayanarak bina sakinlerinin kendilerini "termal açıdan nötr" hissedecekleri koşulları öngören bir termal konfor denklemi geliştirmiştir. Termal konfor için altı parametrenin önemli olduğunu vurgulamıştır:

- i) Ortam sıcaklığı
- ii) Bağıl nem
- iii) Hava hızı
- iv) Ortalama ışıyım sıcaklığı
- v) Metabolik oran
- vi) Giysinin ısı direnci.

Hava sıcaklığı, iletken ısı transferini tanımladığı için termal konfor üzerinde baskın çevresel faktör olarak yaygın olarak kabul edilmektedir. Ortalama bağıl nemin termal konforda önemli bir gösterge olmasının nedeni, insan vücudundaki su veya ter gibi bir sıvının ısıtıldığında buharlaşarak çevreye ısı kaybına neden olmasıdır (Parson, 2014). ISO 7730 standartlarına göre, %30 ile %70 arasındaki bağıl nem aralığı, insan konforu için idealdir (ISO 7730, 1994). Hava hızı (m/s) hava hareketinin hızıdır ve vücut boyunca hava hareketi, konveksiyon mekanizması yoluyla vücudun ısı transferini

etkileyebilir. ISO 7730 standartlarına göre hava hızı ısıtma ve soğutma periyotlarına göre 0,2 m/s'dir. Ortalama ışıınım sıcaklığı, insan vücudu ve çevre yüzeyler arasında oluşan ışıınım alışverişidir. İnsanın mekandaki duruşuna ve konumuna, çevredeki yüzeylerin sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterir. Konforu etkileyen kişisel faktörlerden biri olan metabolik oran, vücudun iç ısı yükü olup yapılan aktiviteye bağlı olarak değişir. Ayrıca cinsiyete, yaşa, vücut şekline ve kıyafet yalıtımına göre bu oran değişebilir. Diğer bir faktör ise giysinin ısı direncidir. Giysiler vücudun yalıtımı gibi görev yaparak ısı kaybını korur ve sabit bir sıcaklığın korunmasına yardımcı olmaktadır. Döneme ve mekana bağlı olarak giysi yalıtımı değişiklik gösterir. Isıl konfor hesaplamalarında giysilerin ısı direnci için "clo" birimi kullanılmaktadır.

2.3.2 Isıl Konfor Göstergeleri

İnsan vücudunun ısı duyumu tek parametre ile değerlendirilmez. Önceki bölümde açıklanan çevresel ve kişisel parametrelerin eş zamanlı etkilerinin birleştirilmesi ile değerlendirilir. Isıl konforu tahmin etmek için araştırmacılar insanların çevrelerindeki ısı, fizyolojik ve psikolojik tepkilerini araştırmışlar ve birkaç model geliştirmişlerdir. Bunlardan birincisi ortalama ısı duyumu (OID) ve adaptif (uyarlanabilir) yaklaşımdır. İlk model insan vücudunun ısı dengesi üzerine kurulu iken, ikincisi ise bir dereceye kadar ısı ortama uyum sağlamayı varsayan bir yaklaşımdır.

2.3.2.1 Ortalama Isıl Duyum

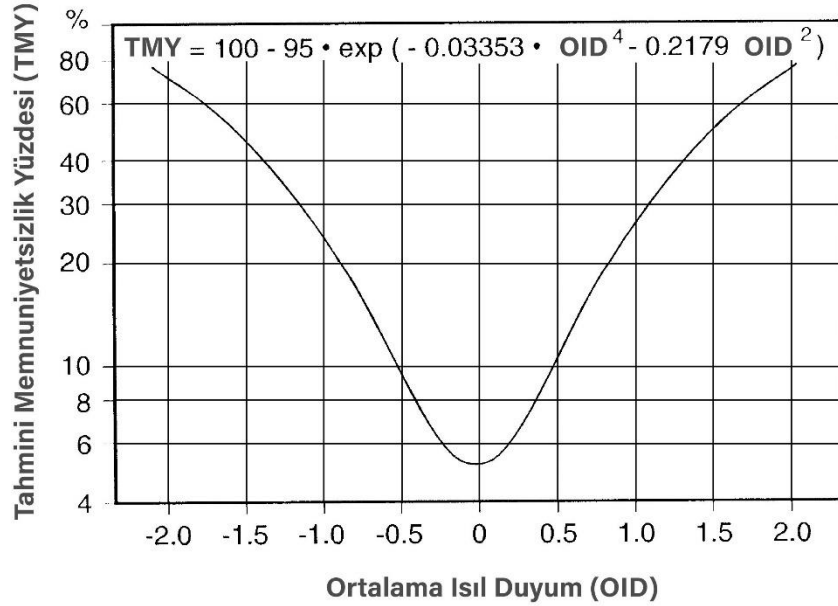
1970'lerde Fanger tarafından çeşitli laboratuvar ve iklim odası çalışmalarından geliştirilmiştir. 2.3.1'de bahsedildiği üzere, bu çalışmalarda, katılımcılar tamamen aynı aktivite ve giysi yalıtımı ile farklı termal ortamlara maruz bırakılmıştır. Model, kararlı hal koşullarında ve başlangıçta klimalı binalar için kullanıcıların termal duyumu oylarını tahmin etmek için geliştirilmiştir. Katılımcılara Şekil 2.2'de gösterilen ASHRAE ısı duyumu ölçeği kullanılarak nasıl hissettikleri konusunda oylama yapılmıştır. OID, +3 = sıcak ile -3 = soğuk arasında değişen 7 puanlık bir endekste bir grup insanın ortalama oyunu tahmin etmektedir. Negatif değerler, soğuk hissi nedeniyle, pozitif değerler ise sıcak hissi nedeniyle rahatsız edici bir duyguyu gösterir. Sıfır, konfor durumunu temsil eden nötr noktadır. Fanger'ın geliştirdiği fizyolojik yaklaşıma göre, vücuda giren ve vücuttan çıkan ısı akışı dengede olduğunda insanlar

kendilerini rahat hissederler. Bu durumda vücut ısısı 36,5-37,5°C arasında, terleme hızı konfor aralığında ve cilt ısısı 34-35°C civarındadır (Fanger, 1972).

-3	-2	-1	0	1	2	3
Soğuk	Serin	Biraz serin	Nötr	Biraz ılık	Ilık	Sıcak

Şekil 2.2 ASHRAE ısı hissi ölçeği (ASHRAE 55, 2004)

OID endeksine dayalı olarak, Fanger memnun olmayanların yüzdesini tahmin eden tahmini memnuniyetsizlik yüzdesi (TMY) adında başka bir gösterge önermiştir. Isıl hissi ölçeğinde +2, +3, -2 veya -3 oyu veren kişilerin memnun olmadığı varsayımına ve TMY'nin nötr bir OID etrafında simetrik olduğu basitleştirmesine dayanır. ASHRAE 55 (2004)'te yer alan genel konfor için kabul edilebilir ısı ortam aralığı Tablo 2.3'te verilmiştir. Konforlu bir ortam için OID değerlerinin $\pm 0,5$ değerleri arasında kalmasını önermektedir. Bu değer ortamdaki bulunan memnuniyetsiz kişilerin oranının %10'u aşmaması anlamına gelmektedir.



Şekil 2.3 Ortalama ısı hissi (OID) fonksiyonu olarak tahmin edilen memnuniyetsizlik yüzdesi (TMY) (ASHRAE 55, 2004)

Tablo 2.3 Genel konfor için kabul edilebilir ısı ortam aralığı (ASHRAE 55, 2004)

TMY	OID Aralığı
<10	-0.5<OID<0.5

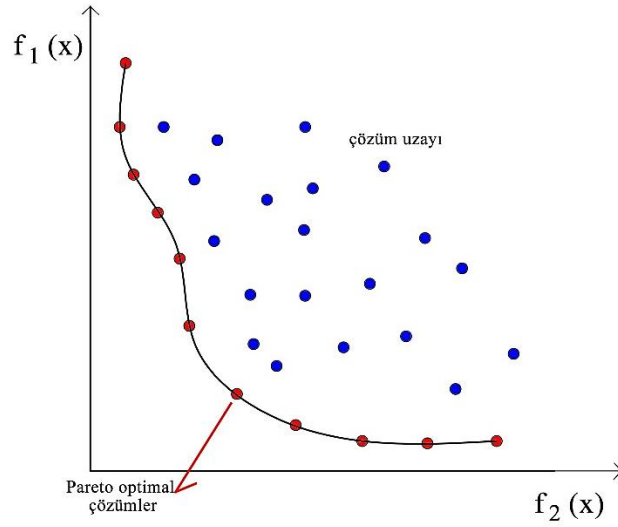
2.3.2.2 Adaptif (Uyarlanabilir) Yaklaşım

Uyarlanabilir modeller temel olarak insan davranışına ve dış hava koşullarına dayandığından, genellikle çok çeşitli binalarda, iklimlerde ve kültürlerde kapsamlı termal konfor araştırmalarına dayanır. OID modeli klimalı binalara uygulanabilirken, uyarlanabilir model sadece mekanik sistemlerin kurulmadığı binalara uygulanabilir. Psikolojik, fizyolojik ve davranışsal olmak üzere üç kategoriye ayrılan ısı adaptasyon bulunmaktadır. Psikolojik adaptasyonda ısı konforun öznel algısı, alışkanlıklar ve tekrar eden durumlar gibi önceki deneyimlerin hafızasından etkilenebilir. Fizyolojik olarak vücut aşırı sıcak ve aşırı soğuk ortamlarda kendini adapte edebilme yeteneğine sahiptir. Davranışsal olarak ise bina sakinleri termal ortamlarını giysiler, açılabilir pencereler, fanlar, kişisel ısıtıcılar ve güneşlikler aracılığıyla kontrol edebilir.

2.4 Optimizasyon

Günümüzde binaların küresel enerji tüketimine olumsuz etkisinden dolayı binalarda performans kavramına odaklanılmaktadır. Bu konu ile ilgili literatürde özellikle erken tasarım aşamasında bina performansını optimize eden çok fazla çalışma bulunmaktadır. Optimizasyon, verilen fonksiyonların en küçük veya en büyük değerlerini bulmak ve değişkenlerin 'en iyi kombinasyonuna' dayalı tasarım ve karar seçeneklerini değerlendirmek esaslı matematiksel bir süreçtir. Mimari tasarımda optimizasyon için geliştirilmiş farklı uygulamalar bulunmaktadır. Bina enerji simülasyon araçlarıyla birleştirilebilen optimizasyon platformları, bina tasarımcılarının yüksek performanslı bina tasarımları elde etmek için en uygun yakın tasarım alternatiflerini aramalarına yardımcı olan örneklerdir (Kheiri, 2018). Bir binada ideal koşulları sağlamak için tasarım problemleriyle başa çıkmanın en yaygın yollarından biri, birden fazla tasarım alternatifini hesaplayarak birbiri ile kıyaslamaktır. Bu tasarım alternatifleri, genelde binanın performansını etkileyen belirli bir parametrenin her seferinde değiştirilmesi ve diğer parametrelerin sabit tutulması ile elde edilir. Böylece ulaşılmak istenen orana uygun ideal bir değer bulunur ve son olarak da yapılan analizlerle tasarımın gidişatı belirlenir. Bir başka yaklaşım ise birden çok parametrenin değiştirilmesi ile farklı amaçları değerlendirmekte kullanılan evrimsel algoritmaların kullanılmasıdır.

Çok amaçlı optimizasyon, temel olarak birbiriyle çelişen (birinde en yüksek elde etmeye çalışırken diğesinde en düşük değeri elde etmek gibi) amaçlar olduğunda veya birkaç hedefi aynı anda karşılamakta kullanılmaktadır. Daha karmaşık doğası ile tek amaçlı optimizasyondan farklılık göstermektedir. Tek amaçlı optimizasyon problemlerinde bir tek en iyi sonuç vardır ve çözümler en iyiden en kötüye doğru sıralanmaktadır. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde ise, bir tek en iyi çözüm yerine en yaygın yöntemlerden biri olan pareto optimal çözümler olarak adlandırılan, Şekil 2.2’de görüldüğü gibi birden fazla en iyi çözüm vardır. Çok amaçlı optimizasyon problemleri çözüm kümesinde bir amaca göre iyi olan çözüm, diğere amaca göre kötü olabilir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin asıl hedefi, pareto cephesini bulmak veya yaklaşmak ve bu cephe üzerinde düzgün bir dağılım sağlayarak, karar vericiye alternatif karar seçenekleri sunmaktır (Kaya ve Fığlalı, 2016). Bu yüzden tek amaçlı yöntemlerin getirdiği dezavantajlar yerine (tek bir çözüm üretme, seçeneklerin sınırlı olması gibi) pareto optimal çözümler kullanılarak avantajlı bir duruma gelinmektedir.



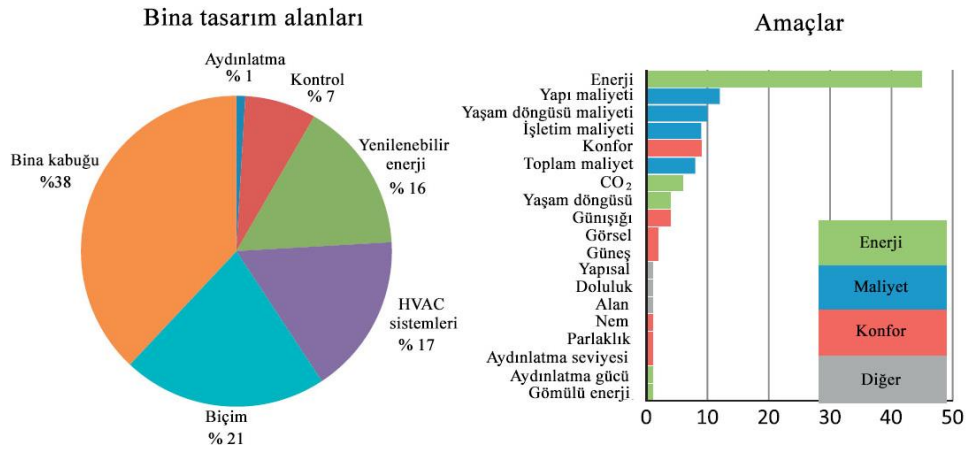
Şekil 2.4 Pareto optimum çözüm grafiği

Çok sayıda değişkenli problemler için verimli bir optimizasyon yöntemi olarak Genetik Algoritma (GA), birçok mimari optimizasyon probleminde kullanılan yöntemlerden biridir. Bina enerji performansını optimize etmek için, bir optimizasyon algoritması, bina enerji simülasyon araçları veya sayısal hesaplamalar gibi diğere değerlendirme teknikleri ile birleştirilmelidir. Görselleştirme araçlarını kullanan çalışmaların yarısından fazlasında Rhinoceros (Grasshopper) kullanılmaktadır. Sonra sırasıyla DesignBuilder, SketchUp, Revit izlemektedir. Kheiri (2018) enerji verimli

bina geometrisi ve kabuk tasarımında uygulanan optimizasyon yöntemleri üzerine literatür araştırmasında en yaygın olarak kullanılan optimizasyon aracının MATLAB olduğu daha sonra bunu GenOpt, JEPlus, BeOpt, modeFRONTIER vb. izlediğini bildirmiştir. Diğer kullanılan optimizasyon araçlarından bazıları ise Rhinoceros (Grasshopper) eklentileri olan Galapagos ve Octopus'tur.

Galapagos, Grasshopper modelini ve/veya Grasshopper'a bağlı Rhino modelini optimize etmek için genetik algoritması veya sürü algoritması kullanan Grasshopper için tek amaçlı bir optimizasyon aracıdır. Tüm bina enerji simülasyonu için EnergyPlus ve DIVA gibi günışığı analiz araçları ile birleştirilebilir. Octopus, Grasshopper için başka bir optimizasyon aracıdır. Octopus, geliştirilmiş bir elitist çok amaçlı evrimsel algoritma olan SPEA-2'ye dayanmaktadır. Aranan farklı hedefler arasında en iyi dengeyi verir. Tasarımcı, Pareto optimal çözümleri arasında seçim yapabilir.

Bina tasarımında optimizasyon, bina geometrisi, yapı kabuğu, iklimlendirme sistemleri ve kontrol tasarımı gibi farklı alanlarda kullanılmıştır. Evins (2013) sürdürülebilir bina tasarımında hesaplamalı eniyileme yöntemlerinin kullanımını araştırdığı literatür incelemesinde Şekil 2.5'te görüldüğü gibi en yaygın optimizasyon kullanılan alan bina kabuğudur. En yaygın optimizasyon hedefi ise, çalışmaların %60'ında bulunan enerji ile ilgili amaçlar (enerji kullanımı, CO₂ salımı, yaşam döngüsü vb.) iken, bunu sırasıyla maliyet, konfor ve diğer (yapısal – biçimsel) hedefler izlemektedir (Evins, 2013).



Şekil 2.5 Bina tasarım alanı ve optimizasyon hedefi grafikleri (Evins, 2013)

Binanın gn ve enerji verimliliği iklime bağlıdır; başka bir deyişle, aynı bina tasarımı farklı konumlarda farklı performanslar gösterir. İklime, dış ortam sıcaklığı ile bina soğutma ve ısıtma yükü arasındaki ilişkiyi doğrudan etkiler. Gn performansı, binanın bulunduğu enlemden büyük ölçüde etkilenir. Acar, Kaska ve Tokgoz (2021), bina kabuğu parametrelerinin çok amaçlı optimizasyonu iki farklı iklim bölgesinde yer alan konut binası için yapmıştır. Amaçları ısıtma enerji ihtiyacının en aza indirilmesi ve ilk yatırım maliyetinin en az olmasıdır. NSGA-II genetik algoritma ve bina enerji analiz programını birlikte alıtırabilen bir Matlab kodu geliştirilmiştir. Sonuçta, her iki iklim bölgesine göre parametreler farklılık göstermiştir. Binaların enerji verimli tasarımı için karar verilmesi gereken pasif parametreleri, n tasarım aşamasında optimizasyon süreci ile belirlemişlerdir. Aksin ve Arslan Selçuk (2021), simülasyon programlarının ve optimizasyon araçlarının entegrasyonunun farklı iklimlerde ofis binalarının gn, enerji ve ısıtma performansları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Optimizasyon aracı olarak Octopus eklentisi kullanılmıştır. Her iki iklim için farklı parametrelerin performans ölçüleri üzerinde farklı etkilerinin olduğu, aynı zamanda bazı parametrelerin benzer değer ve etkilere sahip olduğu da gözlemlemişlerdir.

Pencereler ve gölgelendirme tasarımı için bina yönelimi önemlidir. Binanın yönelime dayalı tasarım ilkesi, odaya giren doğal ııı en üst düzeye çıkarmak ve yapay aydınlatma talebini azaltmaktır. Aynı zamanda, iç mekan soğutma yükünü azaltmak için yazın aşırı doğrudan güneş ııından kaçınılmalıdır. Bu nedenle, binanın yönelimi, pencerelerin ve gölgeleme sisteminin konfigürasyonu üzerinde etkili olmaktadır. Pencere boyutu, gölgeleme elemanları ve cephe yönelimi ile ilgili tasarım optimizasyon problemleri birçok kez araştırılmıştır. Talaei, Mahdavinjad, Azari, Prieto ve Sangin (2021), soğuk yarı kurak iklime sahip bir bölgede yer alan ofis binasına entegre edilen mikroalg penceresinin gn ve enerji performansını optimize etmiştir. Dört ana yn için pencere duvar oranı ve alg konsantrasyonunun etkisini incelemiştir. Sonuçlar, kuzeyde, güneyde, doğuda ve batıda enerji performansı göstergelerinin ortalama değerlerini %21,37, %33,25, %36,22, %39,67 oranlarında ve gn lmelerinin %4,60, %14,43, %13,34, %14,33 oranında iyiletirdiini göstermiştir. Fang ve Cho (2019), yukarıda da belirtildiği gibi üç farklı iklim için bina geometrisi, çatı penceresi ve pencerelerin boyutu, yönelimi ve gölgeleme elemanları

gibi değişkenlerin gnşığına ve enerji performansına etkisini incelemiştir. Octopus kullanılarak çalıştırılan optimizasyonda önemli performans iyileştirmesi olan tasarım mleri bulunmuştur.  şehrin ortalama performans değerlerine göre EGA değerleri %38,7, %31,6 ve %28,8 artırılmış, EKY değerleri %20,2, %18,5 ve %17,9 azaltılmıştır. Zhao ve Du (2020), dört farklı iklim için yüksek katlı bir ofis binasının bina yönelimi, pencerelerin ve gölgeleme sisteminin konfigürasyonunu inceleyerek ısıtma, soğutma, aydınlatma enerji tüketimi ve konforsuzluk saatlerini en aza indirmeyi amaçlamıştır. DesignBuilder enerji simülasyon yazılımı ile optimizasyon algoritması NSGA-II kullanılmıştır. Sonuçlara göre şiddetli soğuk iklimdeki enerji tüketiminde artış konforsuzluk saatlerinde iyileşme grlmştır. Diğer iklimlerde ise enerji tüketimi sırasıyla %8,08, %11,70 ve %26,70 düşmüş ve konforsuzluk saatleri sırasıyla %2,53, %0,81 ve %1,74 oranında azalmıştır.

Tasarım ilerledikçe, duvar ve yalıtım malzemeleri, ısıtma-soğutma ayar noktaları da dahil olmak üzere daha fazla ayrıntı optimize edilebilir. Giouri, Tenpierik ve Turrin (2020), Yunanistan'da yer alan yüksek katlı bir ofis binası için, bina kabuğu bileşenleri, cephenin hava sızdırmazlığı, soğutma ayar noktası ve fotovoltaiik cephe yüzey alanı parametreleriyle, enerji talebinin en aza indirilmesi, enerji üretimi ve termal konforun maksimize edilmesi için optimizasyon çalışması yapmıştır. Simülasyon aracı olarak EnergyPlus ile optimizasyon aracı olarak Mode-Frontier kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre binanın enerji performansı %33 oranında azaltılmış ve konfor saatleri %18,2 oranında artırılmıştır. Tuhus-Dubrow ve Krarti (2010), farklı bina şekilleri ve parametreleri tanımlayarak yaşam döngüsü maliyeti ve enerji tüketiminin minimize edilmesi için optimizasyon çalışması yapmıştır. Yönelim, duvar tipi, pencere tipi, pencere alanı, hava sızıntısı oranı ve yalıtım kalınlığı gibi karar değişkenleri seçilmiş olup optimizasyon Matlab, DOE-2 ve PERL programları birlikte kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlarına bakıldığında, bulgular, incelenen kare, dikdörtgen, yamuk, L ve T biçimli binalar arasında, tüm iklim türleri için kare biçimli binaların en düşük maliyete sahip olduğunu göstermiştir.

2.5 Bina Cephelerine Mikroalglerin Entegrasyonu

İnsan faaliyetlerden kaynaklanan CO₂ salımlarının sanayi öncesi döneme kıyasla büyük lde arttığı ve bunun sonucunda sel, kuraklık, deniz seviyesi değişiklikleri

gibi iklimsel değişikliklerin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bir binanın inşası ve işletilmesi süreci, kaynak tüketimine ve sera gazı salımlarına kayda değer ölçüde katkıda bulunmaktadır (Kim, 2013). FBR cepheler, iyi iç mekan hava kalitesi, bina sakinleri için daha çok memnuniyet sunan ve enerjiyi karbonsuz üreten yapıları çevre sağlayarak yoğun kentsel alanlardaki bu yükü azaltmaya yönelik bir çözüm sunmaktadır (Kim ve Patel, 2018).

Bina sistemlerine entegre edilen FBR'ler kullanıcı konforu için bir girdi olarak değerlendirilebilmektedir ve ısı konfor açısından çift cam giydirmeye cephe elemanı ile benzer ısı iletim değerleri elde edilmektedir. Ayrıca FBR'nin ısı depolama etkisinden de yararlanılabilmektedir (Tokuç, Köktürk ve Savaşır, 2019). FBR'nin bina cephesine dahil edilmesiyle, biyoyakıt ve elektrik için biyokütle üretimi yoluyla binaların ve biyoreaktörlerin enerji gereksinimleri karşılanabilmektedir. FBR'ler, binanın ısı düzenlemesinin ayarlandığı adaptif bir gölgeleme perdesi olarak da işlev görebilmektedir. FBR'nin cephede gölgeleme elemanı olarak kullanılması hem güneş ısı kazanımında azalma sağlar hem de cepheyi güneş ışınlarından korur. Fotosentez yoluyla ışığı emerek mikroalgler büyür ve kültürün yoğunluğu artar. Cervera Sardá ve Vicente (2016), binalara PBR'lerin eklenmesiyle mikroalglerin fotosentez yoluyla güneşi emdiğini ve gölgeleme etkisi sayesinde sıcaklığı azalttığını belirtmişlerdir. Alg biyokütlesinin depolanıp daha sonra enerji ve ısı üretiminde kullanılması binalar için önemlidir. Bütün bu avantajları ile yeni bir enerji kaynağı olarak değerlendirilen algler, sürdürülebilirlik için bir alternatif olma yolundadır.

Binanın bulunduğu bölgenin iklim koşulları, güneş ışınım yoğunluğu, FBR malzemesi, alg tipi, FBR boyutu ve yönü gibi faktörler biyokütle verimliliğinde etkilidir (Yaman ve diğer., 2021). FBR'lerin farklı açılarda konumlandırılması mevsimlere bağlı olarak yakalanan ışık miktarını değiştirdiği için elde edilen biyokütle verimi farklılık göstermektedir. Bina cephesine FBR uygulamaları ile ilgili önemli konular üçüncü bölümde detaylı ele alınmıştır.

BÖLÜM ÜÇ

BİNA CEPHESİNDE FOTOBİYOREAKTÖR UYGULAMALARI

İnşaat sektörü, küresel ısınmaya en fazla etki eden sektörlerden biri olarak bilinmektedir. Bu nedenle, yeni çözümler uygulayarak binaları hem enerji verimli hem de sürdürülebilir kılmak dünya çapında birçok araştırmacının temel amacıdır. Alglerle çalışan binalar bağlamında mimarların eğilimleri ve düşünceleri, bu tür binaların mimari tasarımında ihtiyaç duyulan gereksinimler ve olanaklar hakkında bir fikir oluşturmada yardımcı olabilir. Canlı organizmaların binalarda kullanılması onların enerji tasarrufu ve üretimindeki pasif ve aktif rollerini artırabilmektedir. Bu bağlamda sekiz tane binaya entegre edilen FBR uygulaması bu çalışmada değerlendirilmek üzere seçilmiştir. Seçilen vaka çalışmaları şu şekildedir:

- 1) Biyo Adaptif Cepheli Bina (BIQ)
- 2) Bina Gölgeleme Sistemi için Yenilikçi bir FBR
- 3) Işık-biyo-perdesi Gölgeleme Sistemi
- 4) Dış Mekan Çalışma Alanında Dinamik Gölgeleme Sistemi
- 5) Alg Penceresi
- 6) Alg Cephesi: Su Yosunlarından Şehir Sistemine
- 7) Enerji Üretim Birimleri Olarak Yüksek Katlı Bina Kabuklarının Potansiyeli
- 8) Enerji ve Güneş ışığı performansı için Binaya Entegre Fotobiyoreaktörlerin Çok Amaçlı Optimizasyonu

İlk çalışma gerçek hayatta uygulanmış binadır. Diğer çalışmalar ise binaların enerji ve güneş ışığı performansını simülasyonlar ve optimizasyonlar yoluyla inceleyen çalışmalardır.

3.1 Biyo Adaptif Cepheli Bina / ARUP-COLT İş Birliği ve Splitterwerk Mimarlık (2013)

BIQ binası Hamburg'daki Uluslararası Yapı Sergisi'nde bir FBR cepheyi sergileyen dünyanın ilk pilot projesidir. Bina tasarlanırken kendi kendine yetebilen sürdürülebilir bir yapı ortaya çıkarma düşüncesinden yola çıkılmıştır. Arup ve Colt şirketleri tarafından "SolarLeaf" biyoreaktör cephesi olarak patenti alınmış bu FBR cephesi, dünyada yenilenebilir enerji kaynakları olarak ısı ve biyokütle üretmek için mikroalg

yetiştiren ilk cephe sistemidir. Sistem aynı zamanda dinamik gölgeleme, ısı yalıtımı ve gürültü azaltma gibi ek işlevleri yerine getirerek bu teknolojinin potansiyelini vurgulamaktadır.

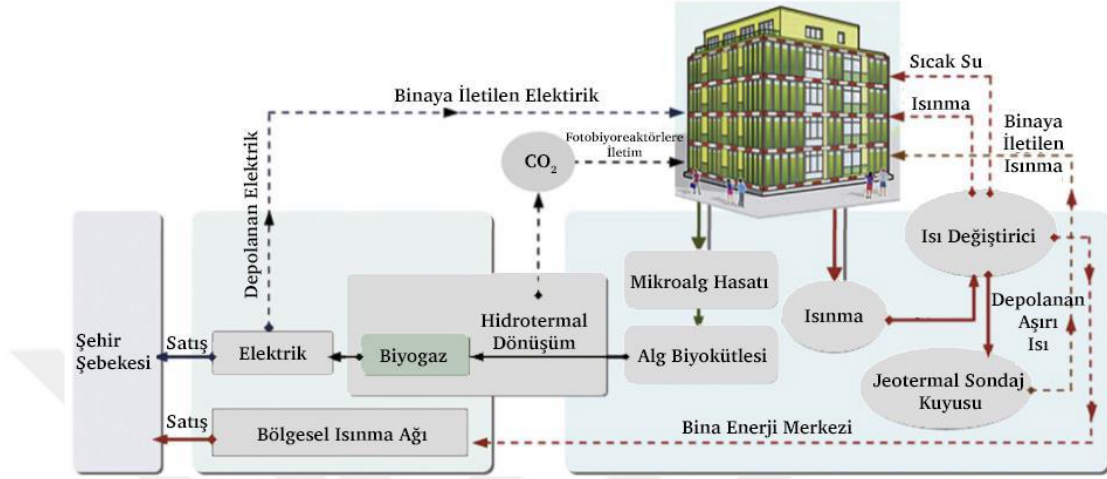
Toplam dört katlı konut binasının güneybatı ve güneydoğu cephelerine ikincil bir cephe oluşturarak, 2,5x0,7 m ölçülerinde 200 metrekarelik 129 adet FBR kurulmuştur (şekil 3.1) (Arup, bt). SolarLeaf FBR'leri, dört cam katmana sahiptir. İki iç bölme, yetiştirme ortamını dolaştırmak için 24 litrelik bir hacme sahiptir. Bu bölmelerin her iki yanındaki boşlukların argon ile doldurulup yalıtılması ısı kaybını en aza indirmeye yardımcı olur. Dış cam levha, iç cam levhalardan biri kırılırsa parçaları tutmak için lamine bir güvenlik camıdır. Dış cam yüzeylerin çoğu, yansıtıcı özelliktedir. (Wurm ve Pauli, 2016).



Şekil 3.1 BIQ binası ve destek yapısı-tedarik sistemi de dahil olmak üzere panel prototipinin oluşturulması (Wurm, bt)

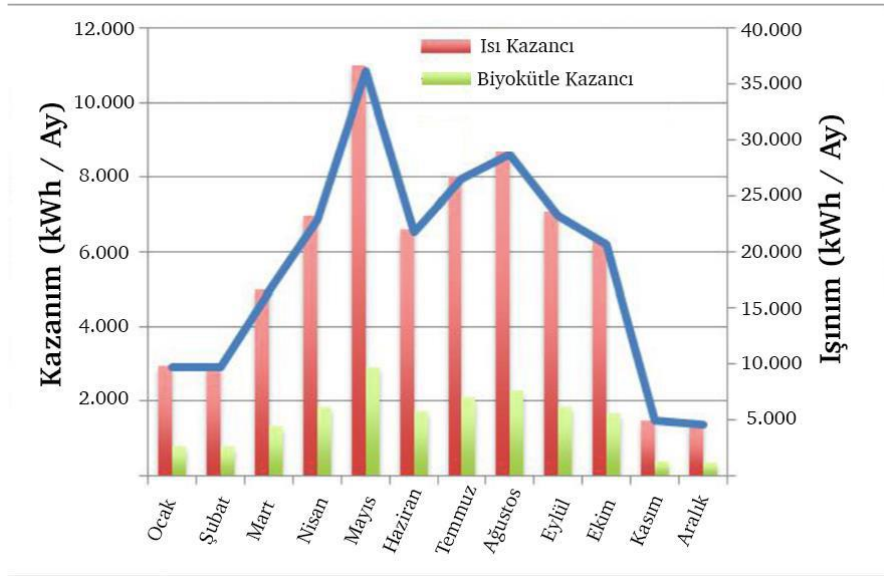
FBR temelde iki işlemi gerçekleştirmektedir: Işığın ısıya dönüştürölmesi ve ışığın biyokimyasal bir süreçte (fotosentetik işlem) biyokütleye dönüştürölmesi. FBR'nin içine basınçlı hava verilmesini sağlayan ve büyüme ortamını besleyen iki boru sistemi vardır. FBR'nin bu iki boru sistemi, binanın servis kısmına kapalı bir döngü ile entegre edilmiştir. Panelin altına yerleştirilen borudan basınçlı hava verilmesi mikroalglerin homojen karışımını sağlarken aynı zamanda bir noktada birikmesini önler ve sıvı içindeki gaz sirkülasyonunu gerçekleştirir. İkinci boru sistemiyle, içeriğinde besin olarak nitrojen, fosfor ve eser elementlerle zenginleştirilmiş su bulunan büyüme ortamı verilir. Besin için gereken karbon, yakınlardaki herhangi bir yakma işleminden (yakındaki bir binada bir kazan gibi) alınabilir. Böylece karbon döngüsü kısılır ve

atmosfere giren ve iklim değişikliğine katkıda bulunan karbon emisyonları önlenir (Arup, bt). Binanın bütüncül çalışma sistemi Şekil 3.2’de görülmektedir. Bina, operasyona girdiği ilk zamanlarda ölçülmüş ve yıl boyunca 6 tona kadar CO₂ azaltımı sağlamıştır (Buildup, 2015).



Şekil 3.2 Binanın bütüncül çalışma prensibi (Elrayis, 2018)

Şekil 3.3’te binanın bir yıllık verileri sonucunda elde edilen ısı ve biyokütle kazancı grafiği verilmiştir. Yapının yıl boyunca 150 kWh/m²y ısı enerjisi ve 30 kWh/m²y biyoenerji ürettiği tespit edilmiştir (Buildup 2015). Paneller tarafından üretilen ısı, geleneksel bir güneş enerjisi kaynağından elde edilen %60-65 verim yerine %38 verime sahiptir ve üretilen biyokütle ise geleneksel bir fotovoltaiik ile elde edilen %12-15 verime kıyasla %10’luk bir verim göstermektedir (Buildup 2015).



Şekil 3.3 Güneybatıya bakan FBR’ler için biyokütle/güneş ısı verimlerine göre aylık ısıtım miktarı (Wurm, bt)

3.2 Bina Gölgeleme Sistemi için Yenilikçi bir FBR / Pagliolico, Verso, Bosco, Mollea, ve La Forgia (2017)

Pagliolico, Verso, Bosco, Mollea, ve La Forgia (2017), mikroalg üretimi için pencerelerde gölgeleme sistemi olarak içinde *S. obliquus* yetiştirilen beş farklı plastik torba FBR prototipinin optik performanslarını değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında gerçek bir odada (3,9x2,4x3,5 m boyutlarında) mikroalglerin büyüme oranı ve FBR'nin ışık geçirgenliği arasındaki ilişkiyi deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Deney düzeneğinde oluşturulan beş adet FBR prototipin boyutları, şekilleri, yerleşimleri ve yüzey alanı/hacim oranları farklıdır ve Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 FBR prototiplerinin özellikleri (Pagliolico ve diğer., 2017)

Kod ve Tanımlama	Torba			Birim				
	Boyut (mm)	Kültür hacmi (mL)	Duvar kalınlığı (mm)	Boyut (mm)	Kültür hacmi (mL)	Max Kalınlık (mm)	Yüzey alanı/hacim (mm ⁻¹)	Havalandırma oranı (vvm)
Tek kullanımlık buz torbası kare ambalajlı 9 dairesel hücre	150x150	120	0,05	Φ =45	13	17,5	0,12x2	-
Havalandırılmış tek kullanımlık buz torbası kare ambalajlı 9 dairesel hücre	150x150	120	0,05	Φ =45	13	17,5	0,12x2	0,4
3 üç yatay çizgi halinde düzenlenmiş dikdörtgen hücreler	150x150	120	0,125	35x135	40	19,5	0,09x2	-
Altıgen ambalajlı 10 dairesel hücre	300x240	250	0,1	Φ =65	25	18,5	0,13x2	-
Altıgen ambalajlı 10 havalandırılmalı dairesel hücre	300x240	250	0,1	Φ =65	25	18,5	0,13x2	0,2

Yapılan deney sonuçlarına göre dairesel geometrili FBR'ler dikdörtgen olanlardan daha iyi performans göstermiştir. Bu sonuçlar daha yüksek yüzey alanı/hacim oranı ve daha kısa ışık yolu olan geometrilerde büyümenin daha hızlı olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca hava karıştırmanın etkisi için gerçekleştirilen deneylerde hava kabarcıklarının hücreye zarar verdiği görüldüğünden bu deneylere devam edilmemiştir. Organik karbon kaynağı içeren ortam, inorganik karbon kaynağı içeren ortamdaki daha iyi performans göstermiştir. Karıştırılmayan kare ambalaj ve inorganik karbon kaynağı ile düzenlenmiş dairesel hücrelerden oluşan plastik torba FBR'lerin *S. obliquus* yetiştiriciliği için daha uygun olduğu görülmüştür (Pagliolico ve diğer., 2017).

Daha önceki çalışmalarında optik yoğunluk ölçümleri yoluyla mikroalglerin büyüme hızını; alandaki gerçek ölçümler yoluyla ışık geçirgenliği (IG) gibi parametreler elde edilmiştir (Pagliolico ve diğer., 2015). Bu çalışmada ise Daysim yazılımı ile odadaki günışığı miktarı ve aydınlatma için gereken enerji ihtiyacı, İtalya’da farklı iki konum (Turin, Palermo) ve üç farklı yön için (güney, batı, kuzey) değerlendirilmiştir. Binalarda yaygın kullanılan bir önlem olan jaluzi de simüle edilmiş, sonuçlar jaluzi sistemleriyle karşılaştırmalı olarak aktarılmıştır.

Işık geçirgenliği için 5 hafta alanda aydınlık değerlerinin ölçümü yapılmıştır. Aydınlık değerlerini kaydeden veri kaydedicilerden iki adedi camın arkasına dört adedi ise alg içeren FBR’lerinin arkasına yerleştirilmiştir. Ayrıca alg sisteminin varlığı ve yokluğunda olmak üzere parlaklık ölçümleri de yapılmıştır. Işık Geçirgenliği (IG) Denklem 3.1’de verildiği üzere, cam+mikroalg sistemin arkasına yerleştirilen ve mikroalg sistemi olmadan (sadece camın) yerleştirilen sensörlerden elde edilen değerlerin bir oranı olarak hesaplanmıştır. Günışığından yararlanmak için, alg sisteminin IG’sinin hem algler hem de mercek görevi gören hücreler (FBR) tarafından üretilen saçılma etkisi nedeniyle 1’in üzerindeki değerlerde zamanla değiştiği gözlemlenmiştir. Bu değerlerde algli sistemlerde olmayan durumlardan daha fazla kamaşmanın olduğu görülmüştür.

$$IG = \frac{\text{cam+alg sisteminin arkasındaki sensörlerin ortalananması}}{\text{cam arkasındaki sensörlerin ortalananması}} \quad (3.1)$$

Alandaki görsel konfor, yıllık günışığı kamaşma olasılığı (GKO) değeri hesaplanarak özel olarak araştırılmıştır. Yıllık GKO profili Radiance yazılım paketinde bulunan bir eklenti olan Evalglare kullanılarak hesaplanmıştır. Daysim ve Radiance, DIVA yazılımı kullanılarak çalıştırılmıştır. Görsel konfor ve enerji tasarrufu simülasyon sonuçlarında; cam + alg sistemi ve cam + jaluzi karşılaştırması yapılmış ve FBR’lerin ışık geçirgenliğinin geleneksel jaluzilerden daha yüksek olmasından dolayı odaya daha fazla ışık aldığı görülmüştür. Bir yıl boyunca cam + alg sisteminin analizinde gözü rahatsız eden parlamaların fazla görüldüğü ve bu yüksek günışığı miktarlarının kullanıcılarda görsel rahatsızlığa neden olacağı tahmin edilmiştir. Panjurları kontrol etmek için günışığı kamaşma olasılığı tabanlı bir kontrol algoritması kullanıldığında, ışık şiddetine dayalı kontrol durumuna kıyasla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kontrol sistemi kullanılması, aydınlatma için gerekli enerji talebini %57’ye

kadar azalmıştır. Kullanılan FBR'ler ile CO₂ tutma, iç mekanın hava kalitesini iyileştirme, iç mekanda biyokütle üretimi ve yeşil yüzeyler sayesinde bina sakinlerinin psikolojik olarak görsel konforunun sağlanmasının sürdürülebilirlik açısından önemi vurgulanmaktadır.

3.3 Işık-biyo-perdesi Gölgeleme Sistemi/ Bir Anaokulu Binasında Gölgeleme Sistemi/ Pagliolico, Lo Verso, Zublena, ve Giovannini (2019)

Pagliolico, Lo Verso, Zublena, ve Giovannini (2019), İtalya'da bir anaokulu sınıfında gölgeleme sistemi olarak kullanılan bir foto-biyo-perdeyi (FBP) optik olarak incelemiştir (Şekil 3.4). FBP'in görünür geçirgenliği yerinde aydınlatma ölçümleriyle belirlenirken, odadaki günışığı miktarı ve aydınlatma için enerji ihtiyacı Diva yazılımı ile hesaplanmıştır. Bu amaçla, yıllık hesaplamalar için doğrulanmış Radiance algoritmasını kullanan Daysim yazılımı kullanılmıştır.

Simülasyonlar için, EnergyPlus kütüphanesinde konum için bulunan iklim verileri kullanılmıştır. Analizler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada okulun spor salonu ve çevredeki dağların profili de dahil olmak üzere dış engeller Rhino yazılımı ile üç boyutlu modellenmiştir. İkinci aşamada sınıfın gerçek konfigürasyonu, parametrik bir çalışma yürütmek ve iklim ve yönelim gibi bir dizi değişkenin odaya giren günışığı miktarı üzerindeki etkisini analiz etmek için modellenmiştir. Amaç, sonuçları alanın özelliklerinden (dağlar ve binanın diğer bölümleri gibi) bağımsızlaştırarak daha genel hale getirmektir.



Şekil 3.4 Bir anaokulu sınıfında tasarlanan ışık-biyo-perdesi

IG'nin doğrudan ve dağınık güneş ışıınımı kombinasyonlarıyla değişip değişmediğini araştırmak için IG değerleri ile gökyüzü koşulları arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Farklı gök koşulları altında, gün içinde ölçülen değerlerin ortalaması

alınarak bir temsili değer ($IG_{ortalama}$) bulunmuştur. Daha sonra camın arkasındaki FBR'nin IG 'si ($IG_{cam+FBR}$) Denklem 3.2 ile elde edilmiştir.

$$IG_{cam+FBR} = IG_{ortalama} \times IG_{cam} \quad (3.2)$$

Çalışmanın her iki aşaması için cam ve gölgelendirme sistemleri karşılaştırıldığında: Düz cam: Bu, farklı gölgeleme sistemlerinin gölgeleme kapasitesini değerlendirmek için temel referans olarak kabul edilmiştir; camın görünür ışık geçirgenliği 0,65'tir. Jaluzili gölgeleme sistemi: Simülasyona göre kapalı durumdaki panjurlar, doğrudan güneş ışınımının tamamen kesilmesiyle 0,25 dağınık ışık geçirgenliğine sahiptir. FBP'li gölgeleme sistemi (cam + FBP kombinasyonu): Işık geçirgenliği 0,494'tür.

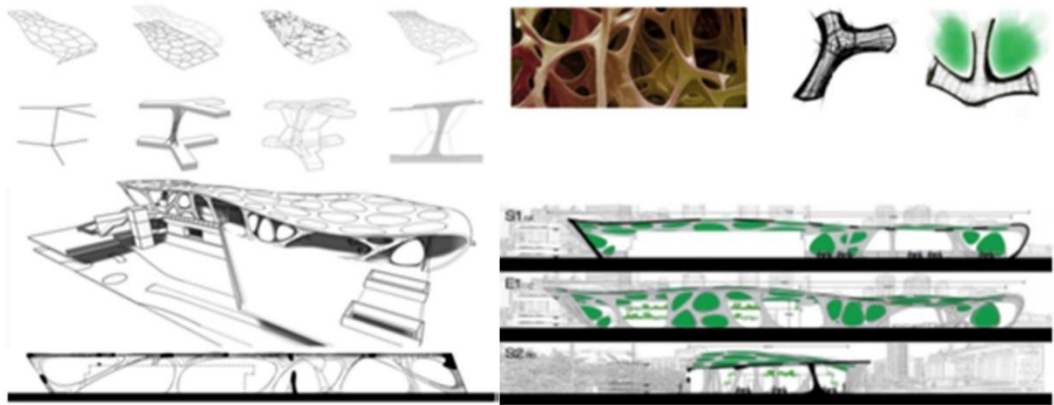
Sonuçta günışığı faktörü söz konusu olduğunda, sınıftaki günışığı, her iki sınıf için İtalyan yönetmeliklerine uygun değildir. FBP'nin ışık geçirgenliği gün içi saate göre 0,5÷2 aralığında değişmektedir. Bu nedenle, birkaç zaman adımı için 1'den büyük bir ışık geçirimi değeri gözlenmiştir (2'nin üzerindeki bazı değerler analizden çıkarılmıştır). Nitekim, bu bulgu aynı yazarların önceki çalışmasında gözlemlenenlerle uyumludur (Pagliolico ve diğer., 2017). Işık geçirgenliği değerleri çeşitli gökyüzü türleri için benzer aralıklar ve medyan değerleri gösterdiğinden net bir eğilimin belirlenemediğini göstermiştir.

3.4 Dış Mekan Çalışma Alanında Dinamik Gölgeleme Sistemi / Lo Verso, Javadi, Pagliolico, Carbonaro, ve Sassi (2019)

Lo Verso, Javadi, Pagliolico, Carbonaro, ve Sassi (2019), bir FBR'nin Brisbane'deki Queensland Eyalet Kütüphanesi'nin açık terasında bulunan harici bir çalışma alanı için bir gölgeleme sistemi olarak özel tasarlandığı bir vakayı sunmaktadır. Önerilen gölgeleme sisteminde, sahanın doğrudan güneş ışığına ve değişken hava koşullarına maruz kalmasına rağmen çok amaçlı bir çalışma alanı için yeterli görsel rahatlık sağlamak üzere doğal ışığı düzenleyebilen yarı saydam perdeleme elemanları olarak FBR kullanılmaktadır. Sistemde, FBR tarafından üretilen biyokütlenin tesis dışında işlenmek üzere çıkarılması ve ortaya çıkan biyoyakıtın daha sonra elektrik ve ısı üretmek için sisteme geri gönderilmesi önerilmektedir. Lo Verso ve diğer. (2019)'un çalışmasının iki ana hedefi vardır:

- (i) Özel olarak tasarlanmış FBR sisteminin uygulamasını tanımlamak;
- (ii) FBR sisteminin kurulu olduğu dış mekanın günışığı performansını değerlendirmektir. Farklı ışık geçirgenliği değerleri için aydınlatma değerleri, DIVA yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

Yapı kütesinin ilk modelini oluşturmak ve geometrisini organik tabanlı geliştirmek için Rhino Grasshopper yazılımı kullanılarak parametrik bir tasarım yapılmıştır (Şekil 3.5). Burada FBR panellerin birincil işlevi olan çalışma alanına iletilen günışığı miktarı, paneller içinde dolaşan kültür ortamındaki biyokütle yoğunluğunun değiştirilmesiyle gerçekleştirilmesidir. Biyokütlenin dolaşımı, bir dizi ışık sensöründen gelen girdileri hava tahmini verileriyle birleştiren bir izleme yazılımı tarafından bağımsız olarak kontrol edilmektedir. Biyokütle yoğunluğu arttığında, ışık yolu boyunca daha fazla günışığı emilir. Bu da panelden iç mekana daha az ışık aktarılmasına neden olur. Yapıya gömülü ışık sensörleri, öncelikle FBR panellerin dış yüzeyinde ve yine aşağıdaki çalışma düzlemi seviyesinde olmak üzere iki alandaki ışık seviyelerini ölçmektedir. Elektrik aydınlatmasıyla birlikte daha sonra FBR panellerin geçirgenliği düzenlenerek hedeflenen bir aydınlatma seviyesini korumak için bu girdi kullanılmaktadır. Aydınlık değerleri iki tür analiz edilmiştir: bir yıl boyunca belirli zaman aşamaları için nokta aydınlatmaları (iki gündönümü ve sonbahar ekinoksu); ve belirli iklime dayalı günışığı ölçümlerinin yıllık belirlenmesi.



Şekil 3.5 Yapının parametrik tasarımı ve kesit-görünüşleri (Lo Verso ve diğer., 2019)

Toplam yıllık günışığı aydınlatma performansı için, Günışığı otonomisi ve Faydalı Günışığı Aydınlatması gibi sentetik iklim bazlı günışığı ölçümleri kullanılmıştır. İç mekanda günışığı aydınlatması için tanımlanan bu terimler, dış mekan günışığı

aydınlatmasına uyarlanarak, özellikle teras alanındaki konfor koşullarını araştırmak için farklı aydınlatma seviyeleri eşik değerler tanımlanmıştır. Analizlerde oluşturulan konfor aralıkları; 300-3000 Lux ('optimum' aralık) ve 300-6000 Lux ('kabul edilebilir' aralık)'tır. Simülasyonlar öncelikle Brisbane için yapılmış, daha sonra Turin ve Dubai iklimleri için gerçekleştirilmiştir. Bunun nedeni, farklı iklimlerde biyokütle yoğunluğu (ve dolayısıyla FBR'lerin ışık geçirgenliği) açısından farklı bir ayarın nasıl gerekli olabileceğini anlamaktır. Bu sayede, tüm sistemin kopyalanması ve çeşitli iklimlerdeki farklı gerçek binalara uygulanması amaçlanmıştır.

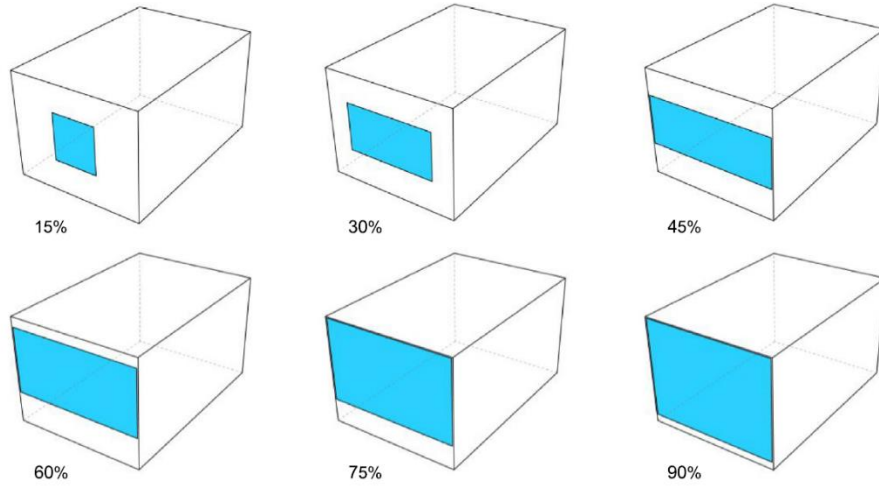
3.5 Alg Penceresi / Negev ve diğer. (2019)

Negev ve diğer. (2019) çalışmasında mikroalglerin cephelerle bütünleşmesini “Alg Penceresi” olarak adlandırdıkları pencere elemanı üzerinden incelemiştir. Çeşitli şeffaf cephe elemanı performans değişkenlerinin bir binanın enerji tüketiminin azaltılması üzerindeki etkisini irdelemiştir. Alg Penceresi'nde iki mikroalg türü (*Chlorella vulgaris* ve *Chlamydomonas reinhardtii*) yetiştirilmesinin, hücre yoğunluklarının ısı transferi ve ışık iletimine etkisi araştırılmıştır. Alg Penceresinin U (ısıl iletkenlik) faktörü, Işık geçirgenliği (IG) ve Güneş ısı kazanım katsayısı (GIKK) değerleri pencereler için hesap yöntemleri ile hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen değerlerden bu elemanın Tel-Aviv Üniversitesi'nde LEED onaylı Porter binasındaki bir ofis alanında uygulanmasına karar verilmiştir. İncelenen binadaki ofisin gerçek pencere boyutu 0,85 m² ve %15 pencere duvar alanına sahiptir. Oda ısı yalıtımlı ve içi beyaz sıva kaplamalı beton duvarlardan oluşmaktadır. Araştırma, EnergyPlus programında gerçekleştirilmiştir. İklim verisi olarak Tel Aviv, İsrail'in verileri kullanılmıştır.

Simülasyonlar iki ana kısımdan oluşmaktadır:

- 1) Mevcut bir pencerede iki farklı alg türünün farklı konsantrasyonlarda (%10'dan %100'e kadar) simüle edilmesi,
- 2) Dört temel yön (güney, doğu, batı, kuzey) ve altı farklı duvar pencere alanı (%15, %30, %45, %60, %75 ve %90) için, referans cephe profili ve farklı konsantrasyonlarda iki mikroalg türünü içeren alg penceresi için parametrik tasarımın gerçekleştirilmesi (Şekil 3.6).

Referans cephe profili 2 adet 6 mm şeffaf cam arası 20 mm boşluktan oluşmaktadır.



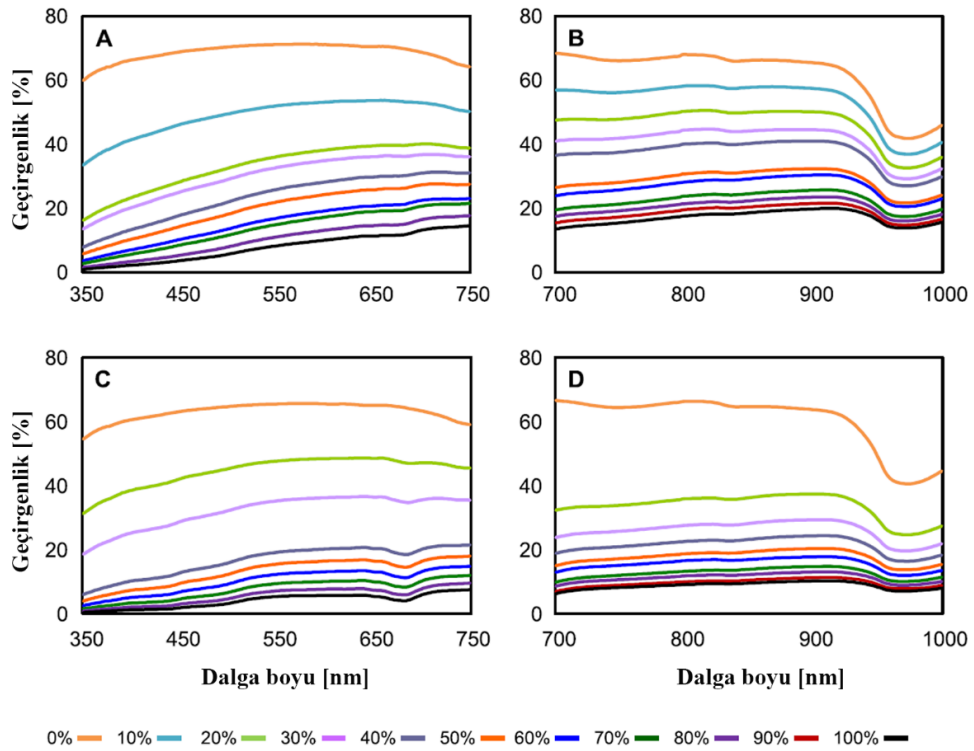
Şekil 3.6 Simülasyonu yapılacak 6 farklı pencere boyutu parametresi

Tablo 3.2'ye göre her iki alg türü için de konsantrasyon arttıkça ısı kazanım kat sayısının azaldığı görülmüştür. Alg türlerine göre %100 konsantrasyonda *C. vulgaris* 'ten *C. reinhardtii*'ye göre daha az ısı iletimi ve dolayısıyla enerji kazancı olduğu görülmüştür.

Tablo 3.2 Farklı mikroalg konsantrasyonlarının alg pencere sisteminin güneş ısı kazanç faktörü üzerindeki etkileri

Alg türü ve özellikleri		Boş	Mikroalg konsantrasyonu [%]									
			10	20	25	30	40	50	60	70	85	100
<i>C. reinhardtii</i>	IG	0,82	0,53	-	0,41	0,37	0,31	0,27	0,23	0,21	0,16	0,13
<i>C. vulgaris</i>	GIKK	0,82	-	0,40	-	0,30	0,20	0,16	0,13	0,11	0,09	0,07

Şekil 3.7'de farklı alg konsantrasyonlarının 350-750 nm görünür ışık ve 700-1000 nm kızılötesi ışığın dalga boylarındaki ışık geçirgenliği gösterilmektedir. Buna göre alg konsantrasyonunun ışık geçirgenliği üzerinde önemli bir etkisi olduğu sonucuna varılmaktadır. Alg konsantrasyonlu pencere boyutlarının enerji tüketimi üzerinde etkisi büyüktür. Şekil 3.7 incelendiğinde, farklı alg türleri ve alg konsantrasyonlarının, tek camlı ve çift camlı ünitelerle karşılaştırıldığında %0 alg konsantrasyonlu temel sulu pencerenin çift camlı üniteye göre daha az, tek camlı üniteden çok daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir. 4 yön için farklı pencere boyutlarında farklı sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3.7 Farklı alg türleri ve konsantrasyonlarının görünür ışık ve kızılötesi dalga boylarındaki ışık geçirgenlikleri. (A) *C. reinhardtii* 350-750 nm, (B) *C. reinhardtii* 750-1000 nm, (C) *C. vulgaris* 350-750 nm, (D) *C. vulgaris* 750- 1000 nm

Aydınlatma amaçlı enerji tüketim farklılıkları küçüktür, ancak pencere boyunca soğutma enerjisi ile ilişkili değişmektedir, bu da küçük pencere boyutlarında (%15-%30) aydınlatma ve soğutma isteğinin daha fazla olduğunu gösterir. Ancak, pencere boyutu %90'a kadar arttığında, soğutma isteği artarken aydınlatma isteği azalmaktadır. Tek cam pencereye göre alg penceresindeki en yüksek konsantrasyonlarda, güneyde 20 KWh/m²y; doğuda 8 KWh/m²y; batıda 14 KWh/m²y değerine ulaşmıştır. Kuzeyde ise 18 KWh/m²y kadar enerjiden tasarruf edebilmektedir.

Simülasyon sonuçları enerji tüketimine göre incelendiğinde, kuzey cephesinin diğer yönlerden farklı olduğunu görülmektedir. Kuzeye doğrudan nüfuz eden ışınlam olmadığı için, kuzey cephesinde, IG ve GIKK'nin ışınlam etkisinden daha büyük bir termal etki, U-faktörü kaynaklıdır. Güney, doğu ve batı yönelimlerinde ise ışınlam geçirgenliği ve gölgelendirmenin etkisi termal etkiden daha güçlüdür. Sonuç olarak, pencerede alg konsantrasyonu arttıkça odada daha az enerji sarfiyatına ihtiyaç duyulmakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Pencere boyutu %30'dan küçük

olduğunda, her dört yönde de alg penceresinden enerji tasarrufu sağlanmaz, çünkü enerji tüketimi esas olarak aydınlatmadan kaynaklanmaktadır.

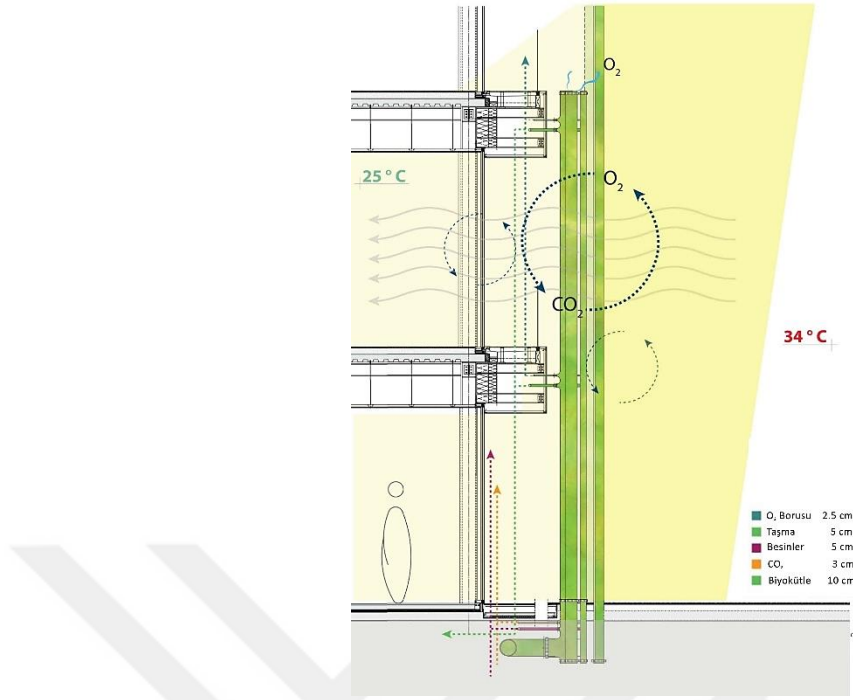
Çalışmanın sonuçları, alg penceresinin Akdeniz iklimi koşulları altında incelenen binada enerji verimliliğini artırmak için pasif bir unsur olarak hareket etme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

3.6 Alg Cephesi: Su Yosunlarından Şehir Sistemine / Kaba el Halabi ve Genova, 2019

Kaba el Halabi ve Genova (2019) tezlerinde binaya sağladığı yeşil döngü ile entegre olan bir cephe sistemi önermiştir. Çalışmanın amacı, binanın hem elektrik hem de ısıtma tüketimini karşılayacak enerjiyi fosil yakıttan farklı bir kaynakla, yerinde üretilen alg bazlı biyokütle ile sağlamaktır. Ayrıca, alg sistemini binaya entegre ederek gölgeleme işlevi sayesinde iç mekân konforunu sağlamak ikincil amaç olarak seçilmiştir.

Bina kabuğuna alg sisteminin uygulanmasıyla elde edilecek üretim verimini hesaplamak için, boru şeklindeki FBR'nin içindeki büyüme matematiksel model üzerinden değerlendirilmiştir. Binanın enerji ihtiyacı, İtalya, Milano'daki hava koşulları için parametrik yazılım üzerinden değerlendirilmiştir. Bina modellemesi Rhinoceros, Grasshopper kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Honeybee eklentisinde EnergyPlus enerji simülasyonu yardımıyla binanın enerji ihtiyaçları değerlendirilmiştir.

Önerilen tasarımda dikey tübüler FBR'ler Milano'daki bir binanın güney cephesine ikincil bir cephe olarak entegre edilmektedir. Tasarlanan sistem; binanın cephesinde alg üretiminin gerçekleştiği halk ve kullanıcılar tarafından görünen kısımdan ve binanın -1. katındaki sistemin çalışmasını alg biyokütle toplama, işleme sonrası ve yeniden giriş süreçlerini sağlayan görünmeyen kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3.8). Alg kültürünün sıcaklığı 38°C'de tutulmuştur. Alg büyümesinin sürekliliğini sağlamak için doğal güneş ışığının bulunmadığı saatlerde aydınlatma sisteminden oluşan hibrit bir sistem bulunmaktadır.



Şekil 3.8 Alg sisteminin bina ile bütünleşme detayı (Kaba el Halabi ve Genova, 2019)

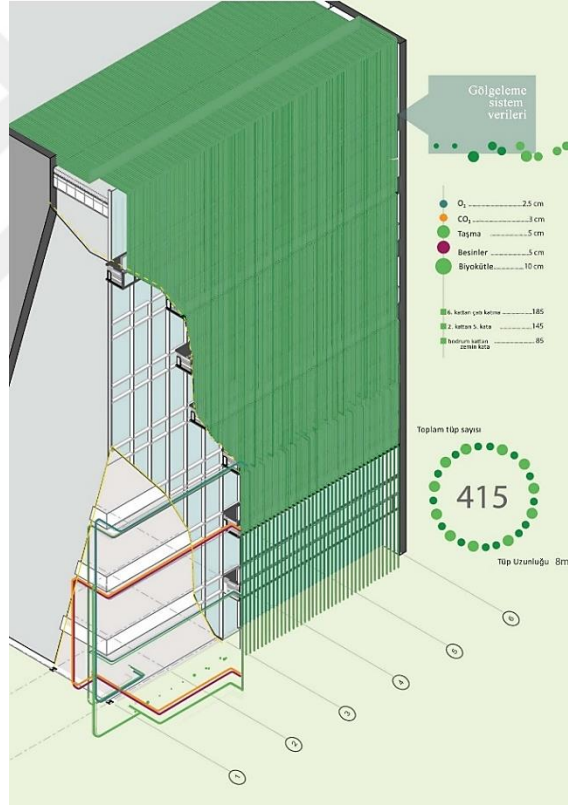
İlk çalışmalar, gereken enerji miktarını ve ne kadar alg tüpüne ihtiyaç duyulacağını anlamak için yapılmıştır. Olası alg biyokütle üretiminin hesaplanmasında, üretim tüplerinin çapı için iki olasılık araştırılmış ve tasarlanan sistem cephe yüzeyine kaplanmıştır. Tek birim üretim tüpü uzunluğu 8 metre seçilmiştir.

Genel enerji tüketimi simülasyonu, kurulu ekipmanın enerji ihtiyaçlarına, bina sakinlerinin termal konfor koşullarını korumak için ısıtma ve soğutma yüklerine ve aydınlatma ekipmanına dayanmaktadır. Daha az karmaşık olması amacıyla simülasyon sadece iki adet üst kat için yıllık bazda ve farklı bölgelerde belirlenen kullanım profiline uygun çalıştırılmaktadır. Simülasyon çalıştırıldıktan sonra, değerlendirilen iki üst kat için belirlenen yük 8158 kWh'dır. Tüp başına hacim, büyüme hızı, çalışma ve güneş ışınlamı koşulları ile sistem içinde üretilen biyokütlenin enerji eşdeğeri 34,83 kWh olup, 8158 kWh enerji eşdeğeri biyokütle üretimi için toplam uzunluğu 1874 metre olan 234 adet tüp sayısına ihtiyaç olduğu belirlenmiştir.

Daha sonra bu miktarda tüplerin bina cephesine entegre edilmesinin günışığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen verilere göre optimizasyon yapılarak, optimizasyon sonuçlarına göre belirlenen tüp sayısı ile birlikte nihai bir simülasyon gerçekleştirilmiştir. İlk ve optimizasyon için yapılan simülasyonlar 0,5x0,5 metre bir

ağ ve 72 cm yüksekliğinde çalışma düzlemi temel alınarak çalıştırılmıştır. Son simülasyon ise 1x1 metre bir ağda çalıştırılmıştır. Simülasyondaki analizler GF, GO ve yıllık güneşli verilerini bulmaya yönelik gerçekleştirilmiştir.

İlk hesaplara göre yerleştirilen tüp sayısı aşırı gölgelendirme yaptığı ve kullanıcılara sağlıklı ve konforlu bir ortam yaratmayacağı için tüp sayısının azaltılması gerektiği görülmüştür. Bu noktada enerji üretiminin azalmaması için çatıda yatay tüplerin yapılmasına karar verilmiştir. Simülasyon tek bir oda için, seçilmiş bir günde 4 farklı saatte, 4 farklı şeffaflık derecede ve ayrıca 1 yıl boyunca 4 farklı gün için 4 farklı şeffaflık derecesine göre çalıştırılmıştır. Ek olarak, alg sisteminin cepheden ne kadar uzakta yerleştirileceği de test edilmiştir. Sonuçlara göre 60 cm uzaklıktaki cephe, 40 ve 80 cm'e göre %13 daha iyi performans göstermiştir (Şekil 3.9).



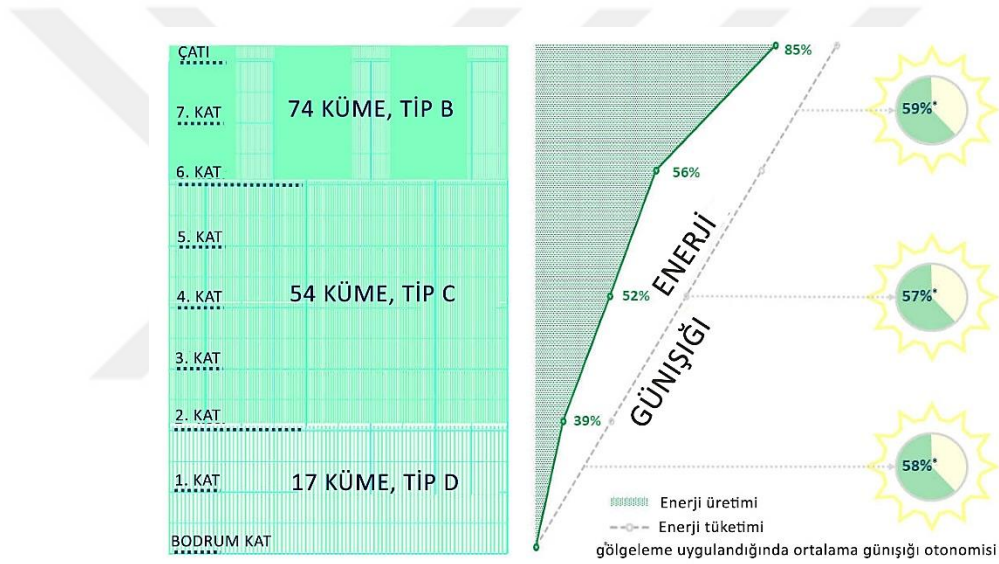
Şekil 3.9 Gölgeleme sistemi (Kaba el Halabi ve Genova, 2019)

Son simülasyon sonucuna göre alg cephesi 25,95 MWh/y biyokütle üretimi sağlarken, eldeki bina 30,58 MWh/y enerji tüketmektedir. Yani alg cephesi elektrik ve ısıtma tüketimi açısından tüm bina ihtiyacının %84,8'ini karşılayabilmektedir (Tablo 3.3). Ayrıca iç mekân kullanıcıları için konfor kalitesini sağlamak amacıyla alg

cephesi, iç mekân GO'yu tatmin edici seviyelerde tutan ideal bir mevsimsel gölgeleme mekanizması sağlamaktadır (Şekil 3.10).

Tablo 3.3 Enerji üretimi ve tüketimi

	Zemin ve 1. Kat	2. ve 3. Kat	4. ve 5. Kat	6. 7. ve Çatı
Enerji Üretimi (kWh/y)	2,960	8,010	13,060	25,946
Enerji Tüketimi (kWh/y)	8,158	16,31	24,474	32,632
Karşılanan Enerji İhtiyacı % (kWh/y)	36,3%	49,1%	53,4%	79,5%
Gölgeleme Uygulandıktan Sonra Enerji Tüketimi (kWh/y)	7,646	15,292	22,938	30,584
Karşılanan Enerji İhtiyacı % (kWh/y)	38,7%	52,4%	56,9%	84,8%

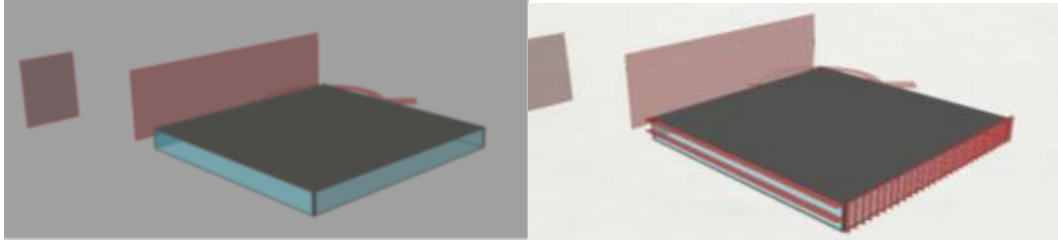


Şekil 3.10 Binanın enerji üretimi ve GO dengesi (Kaba el Halabi ve Genova, 2019)

3.7 Enerji Üretim Birimleri Olarak Yüksek Katlı Bina Kabuklarının Potansiyeli / Leeuw, 2016

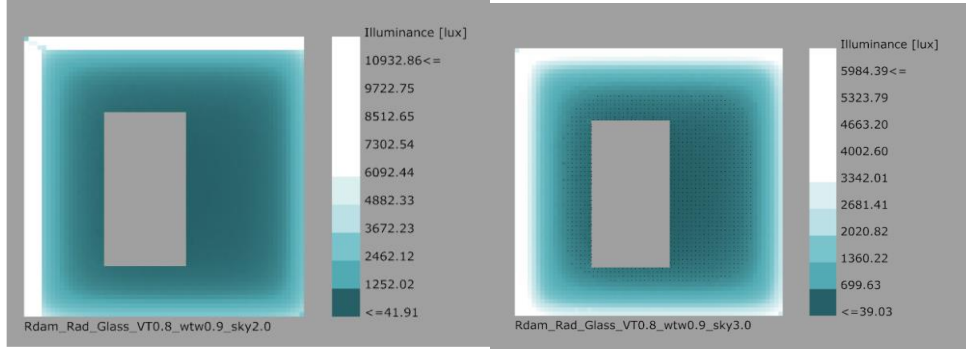
Leeuw (2016), tezinde net sıfır enerjili bina ve bina kabuğunda enerji üretimi ile ilgili yüksek katlı binaların geleceği üzerine bir araştırma yapmıştır. “Yüksek katlı binaların kabukları enerji üretim birimleri olarak nasıl kullanılabilir?” sorusuna yanıt aramıştır. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak, rüzgarla çalışan sistemler, Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisi sistemleri ve alg üretimi için FBR’leri araştırmıştır. Asıl amaç yüksek katlı bina kabuklarında enerji üretimini göstermek olup alt amaçları ise, halihazırda kullanılan enerji sistemlerinin ve yüksek katlı uygulamalar için potansiyellerini bulmak ve enerjinin kullanımını dengelemek, enerjiyi daha sonra

kullanmak için depolamak ve yeniden dağıtmaktır. Çalışmada seçilen mevcut De Rotterdam binasının modellemesi için Rhinoceros ve Grasshopper, binanın güneş ışığı ve enerji simülasyonları Honeybee ve Ladybug eklentileri üzerinden EnergyPlus ve Radiance motorları tarafından yapılmıştır (Şekil 3.11).

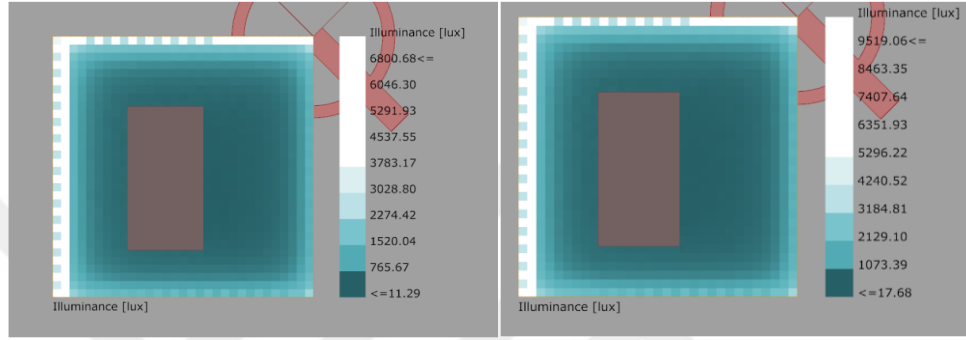


Şekil 3.11 %90 duvar pencere oranı ile enerji simülasyon geometrisi, simülasyonda kullanılan yatay ve dikey gölgelendirmeyi ile %40 duvar pencere oranını gösteren enerji simülasyon geometrisi (soldan sağa) (Leeuw, 2016)

Bu tezde araştırılan sistemlerin enerji üretim potansiyelleri incelendiğinde, fotovoltaik sistemlerin rüzgâr enerjisine göre elektrik ve termal enerji üretebilmesi ve ayrıca biyokütle enerjisi için bir kaynak olmasından dolayı daha fazla enerji üretebildiği belirtilmiştir. De Rotterdam binasının enerji talebi ofis sektörü ve konut sektörü açısından değerlendirilmiştir. Ofis sektörü için kulenin bir katı, konut sektörü için ise bir daire analiz edilmiştir. De Rotterdam'ın enerji potansiyelini bulmak için rüzgâr analizi ve güneş analizi yapılmıştır. Bu analizler rüzgâr yönü, rüzgâr hızı, güneşlenme, güneş ışığı saatleri ve ışıklılık seviyeleri hakkında bilgi vermektedir. Işıklılık analizi, ön cam yüzeyin optimum alg büyümesi için yeterli ışık alıp almadığını göstermektedir. Simülasyonda IG (%80, %60), aydınlık seviyesi (10.000 Lux, 20.000 Lux) ve pencere duvar oranının (%90, %40) etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre; kuzey cephesinde tekdüze bir gökyüzü ve 0,8'lik bir IG değeri, alg büyümesi için gereken (5400-13500 Lux gereken ışık miktarının hemen hemen alt eşiğindedir. Güneydoğu cephesi ise daha fazla ışık almaktadır, çatı ise en yüksek değerde bulunmuştur. Aydınlanma seviyesi 20.000 Lux olduğunda (0,8 IG ile 16.000 Lux) algin optimum büyüme değeri sağlanmıştır. 0,6 IG değerinde ise kapalı havada veya günün çoğu saatinde erişilen ışık miktarı alg büyümesini yavaşlatmıştır (Şekil 3.12).



a)



b)

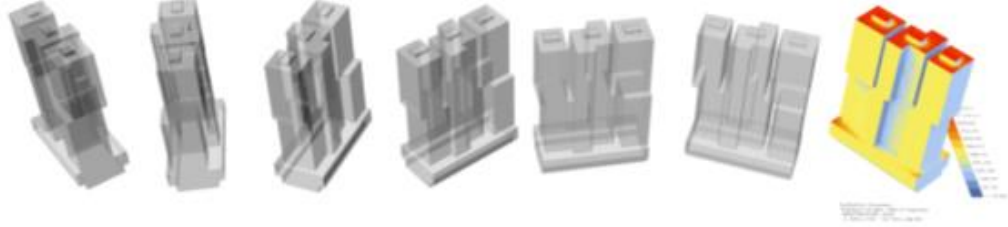
- a. Orta gökyüzü ile günışığı simülasyonu 0,8 LT-değeri ve WTW 0,9 -- tek tip bir gökyüzü ile günışığı simülasyonu, LT-değeri 0,8 ve WTW 0,9.(soldan sağa)
- b. Tek tip gökyüzüyle günışığı simülasyonu, LT-değeri 0,6 ve WTW 0,4 --ara bir gökyüzü ile günışığı simülasyonu, LT-değeri 0,6 ve WTW 0,4

Şekil 3.12 Günışığı simülasyonu (Leeuw, 2016)

Pasif stratejiler ile neler yapabileceğini görmek için, soğutma amacıyla dış hava akışının maksimize edilebileceği ve pencere duvar oranının düşük olduğu bir simülasyon çalıştırılmıştır. Bu pasif durum, mevcut tasarıma kıyasla enerji talebinde %38'lik bir düşüşe yol açmaktadır. Binanın soğutma sıcaklığının 40°C'ye ve ısıtma için 18°C'ye ayarlandığı bir senaryo için simülasyon çalıştırılarak, daha fazla aşırı ısınma günlerine izin vererek konfor gereksinimlerinin değiştirilebileceği düşünülmüştür. Bu durum, enerji talebinde %8'lik bir düşüşe karşılık gelmektedir.

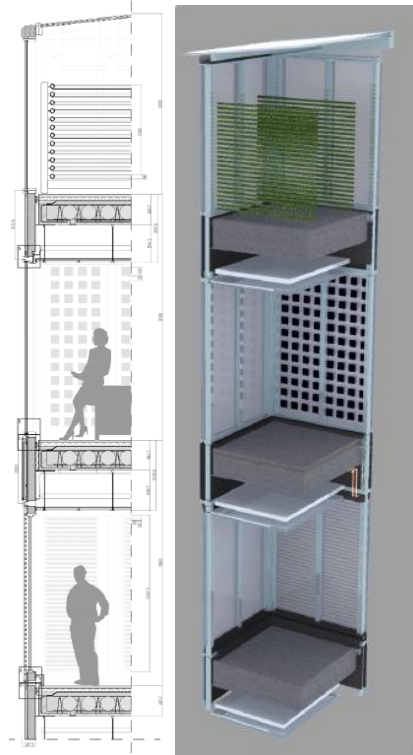
Leeuw (2016), pencere duvar oranı ve yatay-düşey gölgelendirmenin ısıtma ve soğutma yüküne etkisinin yanı sıra bina kütesinin silindirik, açılı veya düz olmasının ve yönlenmenin etkisini de incelemiştir. Gölgelendirmenin ısıtma yükünü artırdığı ve soğutma yükünü azalttığı, pencere-duvar oranını düşürmenin her ikisini de azalttığını bulmuştur. Silindirik bir form, ısı kaybına bakıldığında iyi bir enerji performansına,

ancak aynı zamanda enerji üretmek için daha az yüzeye sahiptir. Dışa doğru hareket eden şekillerle cephe yüzey alanını artırmak güneşlenmeyi artırır. Bu etki en çok kuzeye bakan cephelerde etkili olmaktadır, çünkü doğu ve batıya bakan yüzey alanını artırmaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Yönelim analizi (Leeuw, 2016)

İncelemeler sonucunda önerilen tasarımda kullanılan enerji üretim sistemleri arasından alg sistemi, fotovoltaik ve termal sistemlerin entegre edilmesine karar verilmiştir. Çatıda alg FBR'lerin üstten bir üst örtüyle kaplanması iklimi algin yaşam koşulları için kontrol etmeyi sağlamaktadır (Şekil 3.14). Sonuçta, yüksek katlı bina cephelerinde mevcut cephe sistemlerine enerji üretim sistemleri eklenerek cepheler enerji üretim birimleri olarak kullanılabilir. Bu şekilde, modern binaların toplam enerji talebinin %30'undan fazlasının yerinde üretebileceğini belirtmişlerdir.

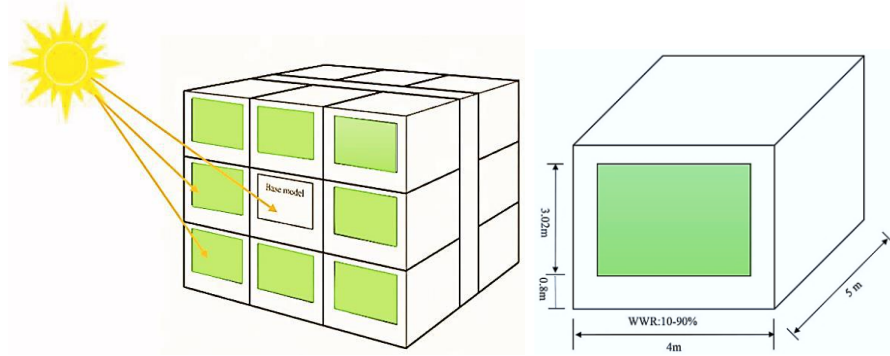


Şekil 3.14 Binada uygulanan enerji üretim sistemleri (Leeuw, 2016)

3.8 Enerji ve Güneşli performansı için Binaya Entegre Fotobiyoreaktörlerin Çok Amaçlı Optimizasyonu/ Talaei ve diğer. (2021)

Talaei ve diğer. (2021), hem soğuk - yarı kurak iklim koşullarında bir ofis bina cephesine entegre edilen FBR'lerin enerji tasarrufu üzerindeki etkilerini incelemişler, hem de FBR'lerin en iyi enerji ve güneşli performansını sağlayan çözümlerini elde etmeyi amaçlayan optimizasyon çalışması sunmuşlardır. İlk hedefe ulaşmak için, entegre FBR binasının enerji verimliliği, dört ana yön için tek camlı pencere, çift camlı pencere ve su duvarıyla karşılaştırılmıştır. İncelenen parametreler alg konsantrasyonuna bağlı değişen FBR tipleri ve pencere duvar oranıdır. Bu iklim koşulları altında çıkan sonuçları, Negev ve diğer. (2019)'nin Akdeniz iklim koşulları altında ofis cephesine entegre edilen FBR'nin sonuçları ile karşılaştırılmasını da yapmışlardır. Daha sonra incelenen parametrelerin (alg konsantrasyonu ve PDO) hangisinin daha etkili olduğunu belirlemek için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Mashrad, İran'da çok katlı bir ofis binasının orta katında yer alan 4x5x3,10m ölçülerine sahip ofis odasının parametrik modellemesi Rhinorecos, Grasshopper'da yapılmıştır (Şekil 3.15). Enerji simülasyonu için EnergyPlus, güneşli simülasyonu için ise Daysim kullanılmıştır. Grasshopper'da pencerenin tanımlanması için gereken U değeri, GIKK ve IG değerleri Negev ve diğer. (2019)'un çalışmasından alınmıştır.



Şekil 3.15 Referans bina (Talaei ve diğer., 2021)

Simülasyon sonuçlarına göre, her iki iklim bölgesinde çıkan değerler çok farklı olsa da benzer eğilimlerin olduğunu göstermiştir. Negev ve diğer. (2019) kuzey yönünde diğer yönlerle göre hiçbir enerji tasarrufunun olmadığını belirtmiş, Talaei ve diğer. (2021) ise soğuk - yarı kurak iklimde kuzey yönünde %30 pencere duvar oranından daha az alg FBR'lerinde enerji tasarrufu elde etmiştir. Ayrıca Akdeniz ikliminde en

yüksek enerji farklılıkları güneyde çıkarken, en iyi enerji tasarrufu batı yönünde elde edilmiştir. Soğuk yarı kurak iklimde ise tam tersi sonuçlar gözlemlenmiştir. En yüksek enerji kullanım farkı batıda çıkarken, en iyi enerji tasarrufu ise güney yönünde elde edilmiştir. FBR'nin enerji performansı, cephe yöneliminden etkilenir. Güney yönelimi, enerji performansının iyileştirilmesi açısından diğer üç yönelimi geride bırakmakta ve onu batı ve doğu izlemektedir. FBR'lerin tek cam, çift cam ve su duvarıyla karşılaştırılmasında; tek cama göre güney yönünde %70 alg konsantrasyonu ve %90 PDO ile FBR %53,74 daha iyi bir gelişme sağlarken, çift cam ve su duvarına göre ise bu gelişme daha azdır.

Optimizasyonda en düşük enerji tüketimi ve en yüksek günışığı mevcudiyeti hedeflenmiştir. Optimizasyon aracı olarak Octopus eklentisi kullanılmıştır. Ancak bu eklentinin genetik algoritma tabanlı bir yöntem içermesi nedeniyle yeni nesiller oluşturarak bazı çözümleri atlayabilme, olası optimal çözümlerden sadece bazılarını önerme ve optimal sonuçların eğilimlerini göstermeme gibi özellikleri parametrelerin etkilerini değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır. Parametreleri daha iyi analiz etmek amacıyla bütün olasılıkların değerlendirilebileceği Colibri aracıyla simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sonuçlarına göre en iyi EGA değeri (%91,07) kuzey yönünde elde edilirken (PDO: %38, alg konsantrasyonu: %20), en düşük EKY değeri (%75,12) güney yönünde (PDO: %16, alg konsantrasyonu: %20) elde edilmiştir. Optimizasyonda kuzey, güney, doğu ve batı için simülasyona dayalı ortalama EKY değerleri sırasıyla %21,37; %33,25; %36,22; %39,67 ve ortalama EGA değerleri %4,60; %14,43; %13,34 ve %14,33 artmıştır. Soğuk- yarı kurak ikliminde alg pencerelerinin uygulanması için uygun yönler güney ve batıdır.

Duyarlılık analizine göre bütün yönlerde enerji tüketimi üzerinde en fazla etkinin pencere duvar oranının olduğu belirtilirken, kuzey hariç tüm yönlerde elverişli günışığı aydınlatmasının olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Sonuçlar, yüksek PDO'nun alg penceresi uygulamasının kuzeyde sadece EGA düşünüldüğünde faydalı olduğunu göstermektedir. Güneyde, doğuda ve batıda, daha yüksek PDO aynı zamanda daha yüksek enerji tüketimi ile sonuçlanırken, daha fazla alg yoğunluğu ile genel bir eğilimde daha fazla enerji verimliliği vardır.

3.9 Fotobiyoreaktör Cephe Örneklerinin Değerlendirilmesi

İncelenen vaka çalışmaları değerlendirildiğinde; FBR'lerin bina cephelerine uygulanmasında cephelerin yeni bir işlev kazandığı görülmüştür. Dış ve iç mekanlar arasında bağlantı sağlamanın yanı sıra biyoenerji için yeni bir üretim alanı sağlanarak yenilenebilir enerji kullanımı yaygınlaştırılmakta, böylece binalar hem daha enerji verimli hem de sürdürülebilir hale gelmektedir. İncelenen örneklerde biyokütle bazlı bir biyoenerji kaynağı olarak mikroalglerin, binaların görsel konfor, ısı konfor ve enerji tüketimini azaltma konusundaki iyileştirmeye yönelik etkilerine vurgu yapıldığı görülmüştür. Güneş ışığı ve enerji performansları tekli cam, çift cam, jaluzi vb. klasik çözümlerle karşılaştırılmış ve FBR'lerin daha iyi çözüm olduğu sonucuna varılmıştır.

Güneş ışığı performansı açısından incelendiğinde; iç ortamdaki aydınlık seviyeleri ve güneş ışığı miktarları bina cephesindeki açıklıkların veya opak olmayan elemanların boyutu, ışık geçirgenliği ve güneş ışığı geçirgenliğine bağlıdır. Büyüme döngüsü hızlı olan mikroalgler dinamik bir güneş kırıcı olarak kullanılabilirler. Biyokütle yoğunluğu arttığında ışık iletim katsayısı azalmaktadır. Çift cephe elemanı olarak kullanılan FBR kurulumları, bina cephelerine entegre edilerek gölgelendirme kolaylığı sağlamakla birlikte, mikroalglerin sistemde büyüdüğü süre ile panellerin geçirgenliği azalmaktadır. Bu, FBR sisteminin yapısal ve kullanıma dair koşullarından kaynaklanmaktadır ve kullanıcı konforu için olumsuz bir durumdur (Öztürk Kerestecioğlu ve Pekmezci, 2019). Bu nedenle bina cephelerine FBR uygulanırken kullanıcı görüşünü sınırlamayan FBR geometrisi seçilmelidir, yapının kullanıcının görüşünü engellemeyecek kısımlarında değerlendirilmelidir veya sistem ışık aktarımını etkileşimli olarak biyokütle yoğunluğunu düzenleyerek, yani hasat süresini hızlandırarak veya yavaşlatarak kontrol edilebilir. Örneğin Pagliolico ve diğer. (2017), görüşü korumak için en iyi çözüm olarak, pencereyi iki yatay şerit halinde bölmek, alg sistemini üst şeride uygulamak (gölgeleme penceresi) ve alt şerit için panjursuz çift camlı bir pencere (görüntüleme penceresi) bırakmayı önermektedir. Kim (2013) ise binanın estetik görünmesi ve bina sakinlerinin dışarıya bakabilmeleri için engelsiz bir görüş alanı sunma gereksinimini vurgulamıştır. İyi enerji ve yapı performansı sunmak için FBR'yi bir "görüş bölgesi" ve "alg yetiştirme bölgesi" olarak parçalamayı önermiştir ki engelsiz görüş alanı, gerektiğinde görüntüleme, güneş ışığı alma ve havalandırmaya izin vermektedir.

Görsel konfor açısından iç mekanda oluşabilecek kamaşmayı önlemek için de FBR sistemlerinin güneş kontrol elemanı olarak kullanılabileceği görülmüştür. Pagliolico ve diğer. (2017)'nin çalışmasından FBR'nin geometrisi ve kullanılan malzemeden dolayı ışık saçılmalarının meydana gelebildiği ve jaluzili sistemlere göre daha fazla parlamaya sebep olduğu bulgusu elde edilmiştir. Daha sonra bu çalışmanın daha geliştirilmiş hali olan Pagliolico ve diğer. (2019) çalışmasına göre jaluzili sistemlerle FBR'nin benzer davranışlar gösterdiği bulunmuştur. Güneye bakan odalar için FBR jaluzili sistemlere göre daha etkilidir.

Termal performans açısından değerlendirildiğinde; binaya entegre FBR'ler;

- i) ısı yalıtımı,
- ii) gölgeleme,
- iii) sıcak su üretimi için güneş kolektörleri ve
- iv) ışıktan biyokütleye dönüştürücüler olarak hareket ederek binaların termal ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir.

Pruvost, Le Gouic, Lepine, Legrand, ve Le Borgne (2016) bina ile FBR arasındaki simbiyozu vurgu yapmış ve yazın, FBR'lerin termal yükleri filtrelediğini ve binayı koruduğunu, kışın ise binayı ısıtmak için aşırı ısının kullanılabileceğini belirtmiştir. Kim (2013), algin büyüme ortamı ve görüş bölgesi arasında ısı iletkenliğinin farklı olduğunu ve alg kültür yoğunluğunun ısı yalıtımı üzerinde önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir. Negev ve diğer. (2019), kültürün alg yoğunluğunun termal davranışının tek ve çift camlı ünitelerle karşılaştırılabilir olduğunu hesaplamıştır. Değerlendirmelerine göre, alglerin konsantrasyonu ve türleri de önemli faktörlerdir.

PBR'nin cephede gölgeleme elemanı olarak kullanılması hem güneş ısı kazancında azalma sağlar, hem de cepheyi güneş ışınlarından korur (Negev ve diğer., 2019; Build Up, 2015). Mikroalg ortamı, binanın termal regülasyonunu ayarlamak için bir gölgeleme perdesi görevi görerek mekanik gölgeleme cihazlarının yerini alabilir. Alg yoğunluğunun yanı sıra alg türü, güneş ışınımının yoğunluğu, iklim koşulları, yönelim de gölgelemeyi etkileyen faktörlerdir.

FBR'ler, güneş kolektörleri olarak hareket ederek bir binanın termal ihtiyaçlarını karşılayabilir. Panelin eğimine, FBR geometrisine ve iklim koşullarına bağlı olarak,

bir PBR'de üretilen ısı değişir (Pruvost ve diğer., 2016). BIQ binası ısıdan 150 kWh/m²y enerji üretir. FBR'lerde ışığın ısıya dönüşüm faktörü %38 iken güneş enerjisi sistemleri genellikle %60-65 verimle çalışır. Biyoreaktör cephelerinden üretilen ısı (6000 kWh/y) dört daireyi besleyebilir (BuildUp, 2015).

Alg biyokütlesinin depolanıp daha sonra enerji ve ısı üretiminde kullanılması binalar için önemlidir. Binanın bulunduğu bölgenin iklim koşulları, güneş ışıyım yoğunluğu, FBR malzemesi, FBR boyutu ve yönü gibi faktörler biyokütle verimliliğinde etkilidir. BIQ binası biyokütleden 30 kWh/m²y yıllık enerji üretir (Buildup, 2015). FBR'ler ve fotovoltaiik paneller, ışığı biyokütleyle dönüştürme verimliliği açısından karşılaştırıldığında, FBR'ler %10, fotovoltaiik paneller ise %12-15 arasında verimliliğe sahiptir. Ayrıca alg türlerinin ve panel eğiminin biyokütle üretimi üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar da bulunmaktadır. Alg türleri üretim verimleri açısından karşılaştırıldığında, farklı kimyasal özelliklerinden dolayı farklı sonuçlar elde edilmektedir. FBR'lerin farklı açılarda konumlandırılması mevsimlere bağlı olarak yakalanan ışık miktarını değiştirdiği için elde edilen biyokütle verimi farklılık göstermektedir.

Bu tezde, vaka çalışmalarının incelenmesiyle, yapı kabuğuyla ilgili hangi parametrelerin, ne tür konularda incelendiğiyle ilgili bilgiler sunulmuştur. Bu çalışmalardan elde edilen bilgilerden, Bölüm 4'te yer alan bina çalışmasında incelenecek olan tasarım değişkenlerinin belirlenmesi konusunda yararlanılmıştır. Yukarıdaki çalışmaların, alglerin binaların enerji ve güneş ışığı performansını nasıl etkilediği ve enerji üretimi üzerine odaklanıldığı görülmüştür. Aynı zamanda yüksek güneş ışığı mevcudiyeti ve enerji performansı için FBR'lerin parametrelerini optimize eden çalışmaların sınırlı olduğu bulunmuştur. Bina enerjisi ve güneş ışığı performansı için, pencere-duvar oranı, bina yönelimi, algin büyümesiyle değişen alg konsantrasyonunun etkisi, FBR geometrisi, FBR'nin konumlandırılması (eğim açısı) gibi değişkenlere odaklanılmıştır. Ayrıca bina performansını değerlendirirken karar verici olarak kullanılan simülasyon ve optimizasyon araçlarının seçilmesinde de yardımcı olmuştur.

BÖLÜM DÖRT

YÖNTEM

Tezin bu bölümünde literatürden ve vaka çalışmalarından elde edilen bilgiler ile bir binaya FBR cephe önerilmesi ve cephenin bazı değişkenlerinin optimize edilmesi planlanmıştır. Literatürde yüksek güneşliği mevcudiyeti ve enerji performansı için FBR'lerin parametrelerini optimize eden çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür. Bunun yanında FBR'li sistemlerin olduğu çalışmalarda enerji ve ısı konfor performansını etkileyen yapı kabuğunun diğer bileşenleri ve ısıtma soğutma ayar noktaları optimize edilmemiştir. Aynı zamanda FBR'lerin bina cephelerine dahil edilmesinin konforsuzluk saatlerini nasıl etkilediğini optimize eden çalışmalar da bulunmamaktadır. Bu çalışmada çok sayıda parametre (pencere-duvar oranı, alg konsantrasyonu, duvar tipi ve kalınlığı, yalıtım malzemesi kalınlığı, ısıtma-soğutma ayar noktası) ile enerji kullanım yoğunluğunu (EKY) ve ısı konfor ihlali (İKİ) azaltmak, elverişli güneşliği aydınlatmasını (EGA100-2000lx) artırmak için simülasyon tabanlı optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Bu çalışmada, bir binada FBR cephe kullanımı ile binanın ısı konforunun, enerji kullanımının ve güneşliği aydınlatmasının nasıl etkilendiğinin ortaya konmasının yanı sıra, FBR bileşeninin tasarımının bina performansına olan etkisinin hızlıca araştırılmasına olanak sağlayan bir model önerilmiştir. Bu tez kapsamında yapılacak olan alan çalışması için, Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi'nde bir ofis binası seçilmiştir. Güneşliği, enerji ve ısı konfor bağlamında optimizasyon için gerçekleştirilecek alan çalışmasında yöntem olarak, Şekil 4.1'de görselleştirilen akış şemasının uygulanması planlanmıştır. beş temel adımdan oluşan akış şemasında farklı araçlar bütüncül bir biçimde kullanılmaktadır.

İlk adımda, bina simülasyon sonuçlarının doğrulaması yapılmıştır. Çoklu bölgelerden oluşan bina geometrisi için Rhinoceros yazılımında bölgeler çizilip Grasshopper'da termal bölgelere dönüştürülmüştür. Termal bölgelerin yapı elemanları ve malzemeleri tanımlandıktan sonra ölçüm yapılacak bölgenin iklimlendirilmemesi, diğer bölgelerin ise iklimlendirilmesi sağlanmıştır. Bir sonraki aşama iklim verisinin hazırlanmasıdır. Enerji simülasyonunun çalışması için gerekli hazırlıklar kurularak bir enerji modeli oluşturulmuş ve simülasyon çalıştırılmıştır. Elde edilen iç mekan

sıcaklık sonuçları ile ölçüm yapılan bölgedeki sıcaklıklar karşılaştırılarak ASHRAE 14 Yönergesi doğrulama kriterlerine göre doğrulama işlemi gerçekleştirilmiştir.

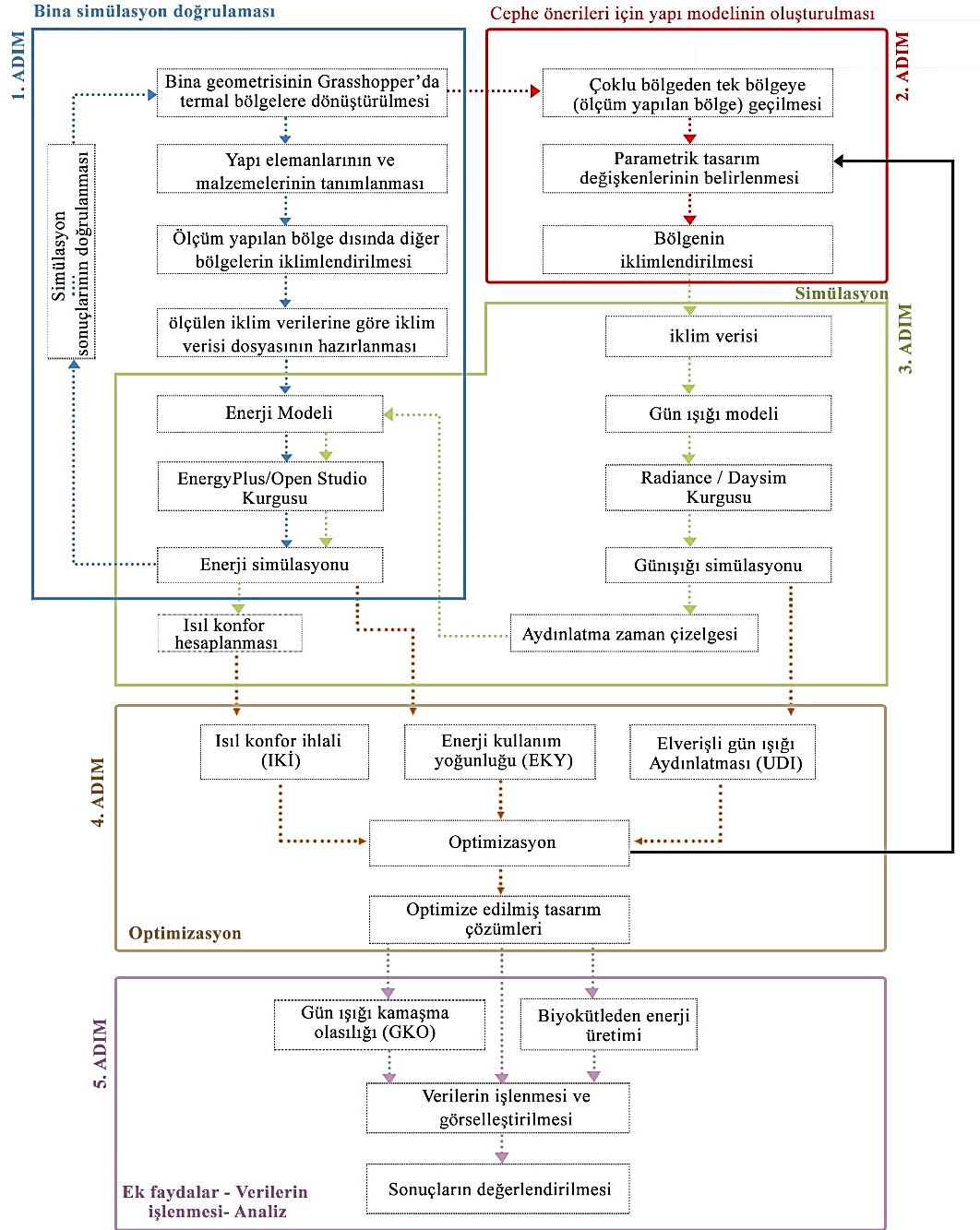
Simülasyon çalışmalarının doğrulamasından sonra ikinci adımda yapı geometrisi yeni cephe önerilerine göre tekrar düzenlenmiştir. Optimizasyon için bütün binanın optimizasyonu hem çok fazla bölge olmasından hem de optimizasyon için karar değişkenlerinin ve amaçlarının sayısının fazlalığından dolayı çok uzun zaman almaktadır. Bu sebeple tek bölge için seçilen ölçüm yapılan ofis odasının üzerinden optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın devamı sadece üzerinde doğrulama yapılan ofis geometrisi üzerinden devam etmiştir. Yeni modelin cephesi için önerilen FBR elemanı tanımlanmıştır. Daha sonra optimizasyon için karar değişkenleri belirlenmiştir. Bölge iklimlendirildikten sonra ise yapı modeli hazırlanmış olacaktır.

Üçüncü adımda, Grasshopper'da Ladybug ve Honeybee eklentileri ile günışığı ve enerji simülasyonuna yönelik bir dizi kurulum yapılmış ve ortaya çıkan model yine Grasshopper üzerinden simülasyon motorlarına aktarılmıştır. İlk olarak günışığı simülasyon modeli tekli ofis bölge modeli için çalıştırılmıştır. Simülasyondan elde edilen aydınlatma zaman çizelgesi enerji simülasyonu içine dahil edilmiştir. Daha sonra enerji simülasyonu çalıştırılmıştır. Enerji performansını değerlendirmek için EnergyPlus, Open studio simülasyon motorundan yararlanılırken, günışığı performansını değerlendirmek için Radiance/Daysim simülasyon motorundan yararlanılmıştır.

Dördüncü adımda, gömülü genetik algoritmalar kullanarak çok amaçlı optimizasyon gerçekleştirilmektedir. Simülasyonlarda Elverişli Günışığı Aydınlatması (EGA), Enerji Kullanım Yoğunluğu (EKY) ve Isıl Konfor İhlali (İKİ) hesaplanmıştır. Optimizasyon amaçları günışığı, enerji ve ısı konfor ile ilgili olup bina tasarım değişkenleri ve performans ölçütleri arasındaki ilişkinin analiz edilmesini sağlayacaktır. Bu aşamada EKY'nin ve İKİ'nin minimize edilmesi, EGA'nın ise maksimize edilmesi amaçlarını karşılayacak çözümler elde edilmektedir.

Beşinci adımda optimize edilmiş çözümler üzerinden, önerilen FBR cephelerin iç mekanda oluşabilecek kamaşmaya etkisi incelenmektedir. Ayrıca, FBR cephelerden üretilen biyokütleden biyoenerji hesaplaması yapılmaktadır. Elde edilen enerji ile

binanın ihtiyacı olan enerjinin ne kadarını karşılayacağı araştırılmıştır. Bütün sonuçlardan elde edilen veri TT Toolbox aracılığıyla Excel'e aktarılarak işlenmiştir. Son olarak her cephe önerisinin optimal çözümleri mevcut binayla ve kendi aralarında konforsuz saatlerin EKY ve EGA bakımından nasıl etkilediği karşılaştırılarak değerlendirme yapılmaktadır.



Şekil 4.1 Araştırmanın akış şeması

4.1 Bina Simülasyon Sonuçlarının Doğrulanması

Bina modellenerek enerji simülasyonları sonucunda çıkan bulguların gerçeği yansıtıp yansıtmadığını anlamak için enerji modeli oluşturulmuş ve ölçümlerle doğrulanmıştır. Bina enerji simülasyonlarında modelin doğrulanması konfor koşullarının korunması, enerji tüketiminin azaltılması, enerji verimliliğini iyileştirmesi ve farklı stratejilerin uygulanması açısından önemlidir (Ruiz ve Bandera, 2017). Bu modellerin doğruluğunun bir ölçüsünü oluşturmak için kılavuzlar ve metodolojiler geliştiren birkaç kurum vardır ve en yaygın olarak tanınanları şunlardır: ASHRAE Kılavuzu 14-2014, Uluslararası Performans Ölçümü ve Doğrulama Protokolü (IPMVP) ve Federal Enerji Yönetimi Programı (FEMP) (Ruiz ve Bandera, 2017). Bina enerji modelinin doğruluğunu değerlendirmek için farklı yaklaşımlar mevcuttur; ASHRAE standart 14'te tanımlandığı gibi karşılaştırmalı (modeller arası karşılaştırma), analitik ve deneysel doğrulama yöntemleridir (ANSI/ASHRAE, 2014; Judkoff & Neymark, 2006).

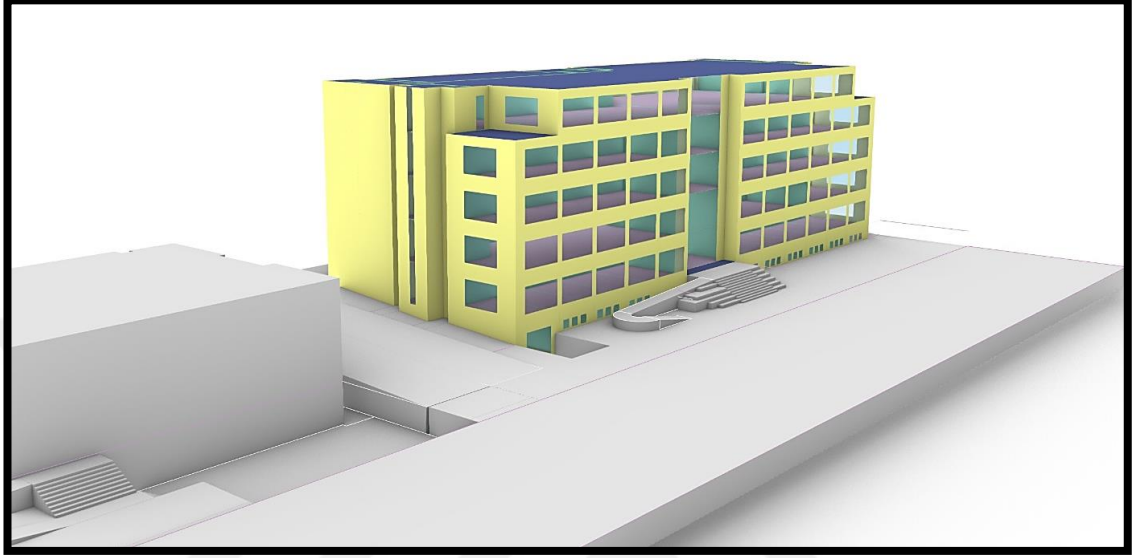
4.1.1 Parametrik Yapı Modelinin Oluşturulması

Mimaride son zamanlarda sıklıkla kullanılan parametrik tasarım, parametreleri ve fonksiyonları kullanarak geometri oluşturma sürecini ifade eden bilgisayar tabanlı bir tasarım yaklaşımıdır. Geleneksel tasarım yöntemine göre tasarım bileşenlerini aynı anda entegre ve koordine ederek tasarımı verimli bir şekilde değiştirme ve geliştirme, tasarımcıya zaman kazandırma gibi önemli avantajları vardır. Parametrik bir tasarımda geometri ve parametreler arasındaki ilişkiler kurulduktan sonra, herhangi bir parametre değiştirilerek bütün olası durumlar incelenebilmekte ve birçok alternatif üretebilme olanağı sağlanmaktadır.

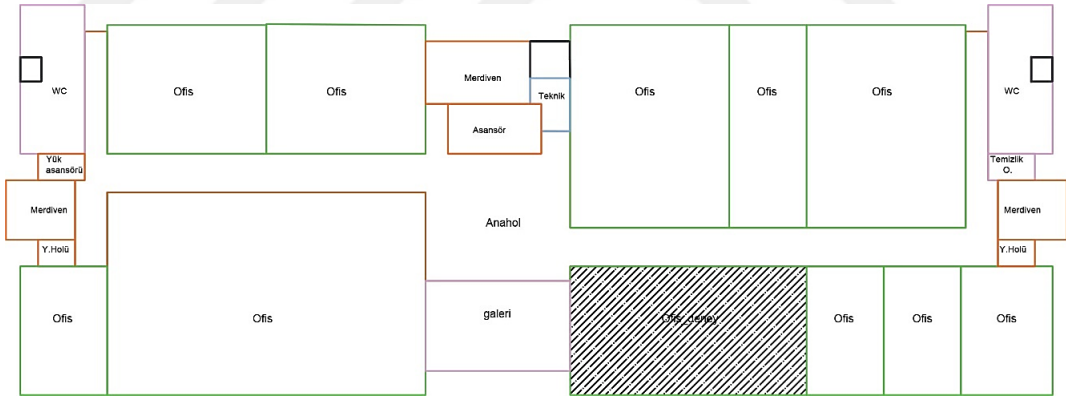
4.1.1.1 Modelleme Süreci

Modelleme sürecinde, öncelikle Rhinoceros'ta bina geometrisi (Şekil 4.2) oluşturulmuştur. Modeli oluşturulan ofis binası, bodrum kat, zemin kat ve 4 kattan oluşmuştur ve binanın yönelimi kuzeye göre 200°'dir. Şekil 4.3'te 1.kat planı verilen binanın bütün odaları Rhinoceros ekranında kütleler halinde çizilmiştir. Daha sonra çizilen kütleler Grasshopper ara yüzünde tanımlanmıştır. Grasshopper'da çok zonlu enerji simülasyonları yapıldığında, enerji simülasyonlarının doğru yapılabilmesi adına, bitişik yüzeylerin eşleştirilmesi ve mekanlar arasındaki ısı akışının sağlanması

gerekmektedir. Bu yüzden tanımlanan kütleler *intersect mass* bileşenine bağlanmıştır ve böylece kütleler arasındaki bağlantılar kurulmuştur. Daha sonra kütlelerin termal bölge olarak tanımlanması için *Masses2Zones* bileşenine bağlanılarak her bölgenin programı belirlenmiştir.



Şekil 4.2 Bina modeli



Şekil 4.3 Binanın 1. kat planı

4.1.1.2 Yapı elemanlarının oluşturulması ve malzemelerin tanımlanması

Modelleme sürecinde bölgelerin oluşturulmasından sonraki aşama, yapı bileşenlerinin oluşturulması ve malzemelerinin tanımlanmasıdır. Grasshopper, kütleler bölgelere dönüştürüldüğünde bütün yüzeylere bir mekanı oluşturan tanımlamaları (dış duvar, çatı, döşeme) varsayılan olarak atamaktadır. İstenildiğinde yüzey özellikleri değiştirilebilmektedir.

Pencerelerin iki farklı oluşturulma yöntemi vardır. Birinci yöntem Rhinoceros'ta oluşturulan yüzeyin Grasshopper'da *add HB Glz* bileşeni ile tanımlanması, ikinci yöntem ise Grasshopper'da *Glazing based on ratio* bileşeni ile pencere duvar oranı girilerek oluşturulmasıdır. Ancak pencere malzemelerinin tanımlanmasında bazı sınırlamalar bulunmaktadır. Pencerelerin oluşturulmasında kütüphaneye aktarılan standart tipte pencereler katmanlara eklenebilmektedir. Tek cam, çok katmanlı camlar, içinde gaz olan cam katmanları olabilmektedir. İki cam arasında su kütlesi olan pencereler açıkça katmanlı bir şekilde oluşturulamamaktadır (Liu, Xu, Guo ve Zhu, 2019).

Opak ve şeffaf malzemeler ayrı ayrı tanımlanarak her bileşenin katmanları oluşturulup EnergyPlus kütüphanesine aktarılabilir. Oluşturulan yapı kabuğu malzeme katmanları Set EP Zone Construction bileşeninde, iç mekandaki yapı elemanı için Set EP Zone Interior Construction bileşeni, toprak altındaki yapı elemanı için ise Set EP Zone Underground Construction bileşeni kullanılmaktadır. Pencereler ise U değeri, yüzde geçirgenlik değeri ve güneş ısı kazanım katsayısı değeri girilerek tanımlanmaktadır. Tablo 4.1'de bina bileşenlerine ait katmanlar verilmiştir.

Tablo 4.1 Bina bileşenlerine ait katmanlar

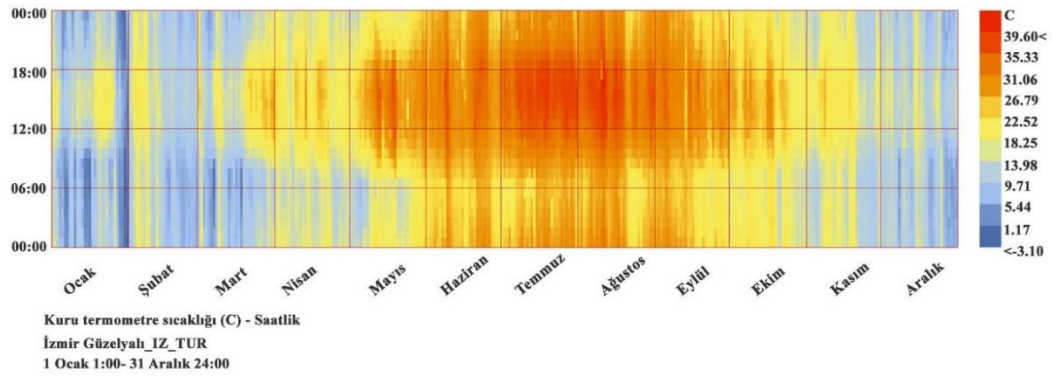
DIŞ DUVAR	ARA KAT DÖŞEMESİ
Alüminyum kaplama (0,0005 m) Polietilen (3 mm) Alüminyum kaplama (0,0005 m) Havalandırılmayan boşluk EPS (3 cm) Çimento esaslı dış sıva (2 mm) Tuğla duvar (0,2 m) Alçı sıva (2 mm)	Taş yünü asma tavan (2 cm) Havalandırılmayan boşluk Tavan sıvası (2 mm) Betonarme asmolen (0,40 m) Tesviye şapı (0,08 m) Ahşap kaplama (0,03 m)
BODRUM DUVARI	BODRUM ZEMİN DÖŞEMESİ- TEMEL
Sıkıştırılmış stabilize dolgu Eps köpük Bitüm çimento esaslı çift bileşenli su yalıtımı Betonarme perde duvar (25 cm) Alçı sıva (kaba + karışık + saten) Saten iç cephe boyası	Granit seramik (60x60 cm) Tesviye şapı Zemin betonu (15 cm) Naylon 150 gr/m ² 5cm XPS ısı izolasyonu Koruma betonu (7 cm) Geotekstil keçe Polimer bitümlü plastomer esaslı çift kat su yalıtım örtüsü (2mm cam tülü taşıyıcılı örtü+ 3 mm polyester keçe taşıyıcılı örtü) Grobeton (10 cm) Sıkıştırılmış stabilize dolgu

Tablo 4.1 devamı

İÇ DUVAR	DÜZ ÇATI
Alçı sıva (2 mm) Alçı panel levha x2 (1,5 cm) Saten iç cephe boyası Alçı sıva (kaba + karışık + saten) Tuğla duvar (13,5 cm) Alçı sıva (kaba + karışık + saten) Saten iç cephe boyası	Seramik kaplama (30x60 cm) Yapıştırma harcı Taş yünü dolgulu boyalı sandviç panel (5 cm) Çelik konstrüksiyon Taş yünü/alçı panel asma tavan Tavan boyası
PENCERE	
6 mm temperli füme reflekte cam 6 mm gazlı boşluk 3 mm düz cam	U değeri: 3,026 W/m ² k Güneş ısı kazanım katsayısı: 0,302 Cam saydamlık oranı: 0,236

4.1.2 İzmir İklim Verisi

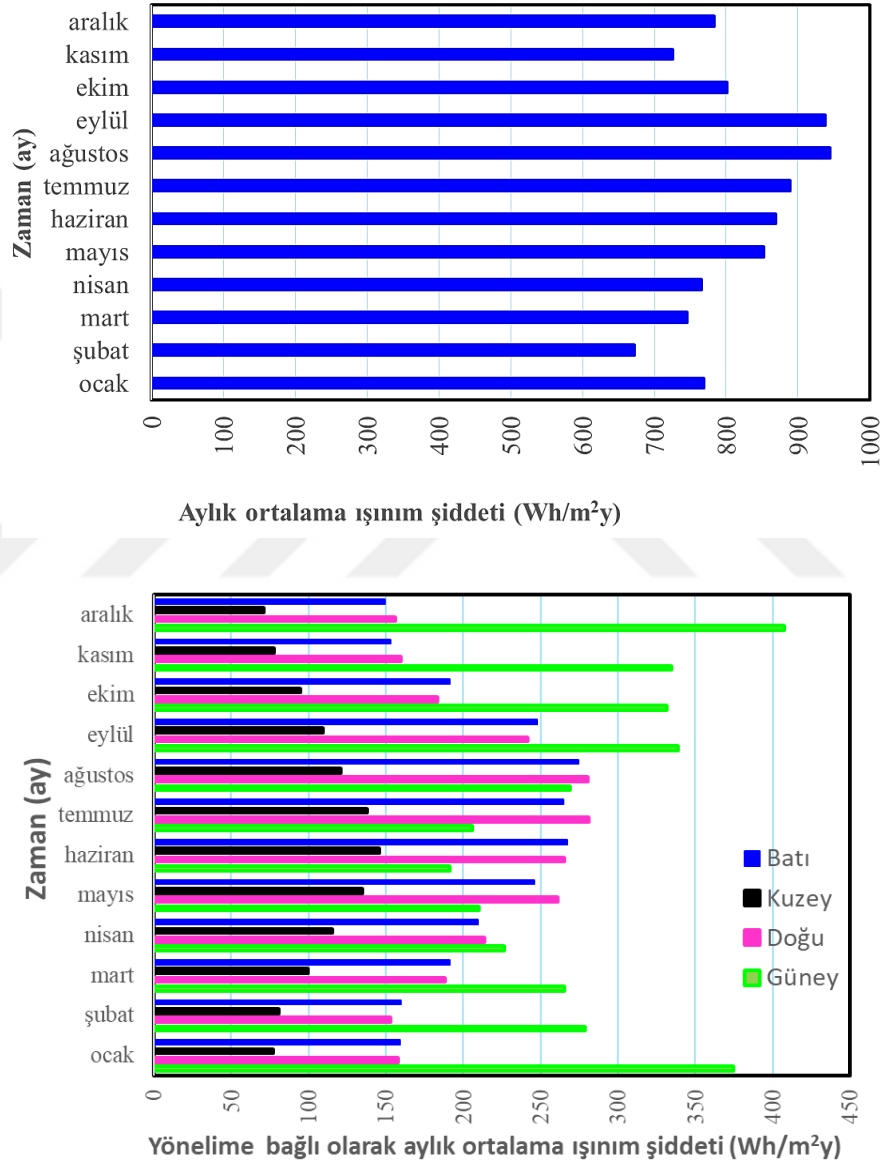
Simülasyonlarda kullanılacak iklim verisi dosyası için ölçüm verileri kullanılmıştır. Çıldır, Köktürk ve Tokuç (2020)’de 7 gün boyunca binanın içerisinde ve dışarısında ölçümler yaparak saatlik veri elde etmişlerdir. İç mekan ölçümleri için binanın güney cephesinin birinci katında yer alan iklimlendirilmemiş bir ofis odası kullanılmıştır. Elde edilen veriler, bu çalışma kapsamında Elements iklim dosyası hazırlama programı ile “.epw” dosyası hazırlamakta kullanılmıştır. Daha sonra bu dosya Grasshopper’daki Ladybug eklentisiyle program içerisine alınarak simülasyonda kullanılmıştır. İzmir analizlerinde kullanılan meteorolojik veriler Şekil 4.4 ve 4.5’te sunulmuştur.



Şekil 4.4 İzmir için yıllık kuru termometre sıcaklığı

İzmir için en sıcak ve en soğuk aylar sırasıyla Temmuz ve Şubat aylarıdır. Temmuz ayı için ortalama ve maksimum sıcaklıklar sırasıyla 27,46°C ve 37,89 °C iken Şubat ayı için ortalama ve minimum sıcaklıklar sırasıyla 8,24°C ve -3,29°C’dir.

Şekil 4.5'te İzmir için aylık ortalama ışınlam şiddeti verilmiştir. En fazla ışınlam şiddeti ağustos ayında ($944,7575 \text{ Wh/m}^2\text{y}$) görülürken en az ışınlam şiddeti ise şubat ayında ($672,4556 \text{ Wh/m}^2\text{y}$) görülmektedir. Yönelim açısından incelendiğinde ise kuzey yönü diğer yönlerle göre daha düşük güneş ışınlamı şiddetine maruz kalırken, kış aylarında güney yönünün, yaz aylarında ise doğu ve batı yönlerinin yüksek şiddetli güneş ışınlamı aldığı görülmektedir.



Şekil 4.5 İzmir ili için aylık ortalama ve yönelime bağlı aylık ortalama güneş ışınlamı şiddetleri

4.1.3 Enerji Modelinin Kurulması

Bu aşamada, enerji simülasyonları için enerji tüketimini etkileyen iç sıcaklık kontrolü ayarları, iklimlendirme sistemi, dahili yükler (ekipman, m^2 başına düşen

insan yoğunluğu vb.), doluluğa bağlı program gibi bazı ayarların yapılması gerekmektedir. Bölüm 4.2.1.1’de verilen binanın faaliyet verileri Grasshopper’da gerekli bileşenlerle bağlanmıştır. Ölçüm yapılan bölge dışında diğer bölgelerde iklimlendirme ve diğer veriler girilmiştir. Ölçüm yapılan bölge, ölçüm sırasında olduğu gibi iklimlendirilmeyen alandır. Ayrıca enerji simülasyonuna çevredeki elemanların ve yapıların da etkisinin dahil edilmesi için EP context Surfaces bileşeni kullanılmıştır. Daha sonra Export To Open Studio bileşenine yukarıda açıklanan tüm bileşenler bağlanarak simülasyon çalıştırılmıştır.

Binanın faaliyet verileri Çıldır, Köktürk ve Tokuç (2020) çalışmasında detaylı olarak verilmiş olup, simülasyonda girdi olarak kullanılmıştır. Binada çalışma saatleri dışında iklimlendirme sistemi kullanılmamaktadır. Isıtma/soğutma enerjisi olarak doğal gaz ile çalışan 4 borulu fan coil ünitesi, hava soğutmalı chiller kullanılmaktadır. Isıtma ve soğutma ayar noktaları sırasıyla 22°C ve 24°C olarak ayarlanmıştır. Doğal ve mekanik havalandırma için bina sıcaklığının sırasıyla 24°C’yi geçmesi ve 10°C’nin altına düşmesi şeklinde ayarlanmıştır. Bina hafta içi 07:00-19:00 aralığında açıktır. Birim başına düşen insan sayısı 0,11 olarak ayarlanmıştır. Ofisler için hedef aydınlatma değeri 500 lüks olarak girilmiştir. Bina simülasyon çalışmasının doğrulanmasında günışığına bağlı aydınlatma programı uygulanmamıştır. Konfor koşulları için belirlenen ayarlar ise kıyafet yalıtımı kış için 1 clo, yaz için 0,5 clo şeklindedir. Ofisler için metabolik oran ise 123 W/kşi’dir.

4.1.4 Simülasyon Çalışmalarının Doğrulanması

Bu çalışmada kullanılan EnergyPlus çıktılarının geçerliliği ASHRAE Guideline 14’e (2014) ve yukarıda bahsedilen kılavuzlara göre bina enerji simülasyonundan elde edilen simüle edilmiş iç ortam sıcaklığı ile ölçülen iç ve dış ortama dair veriler karşılaştırılarak doğrulanmaktadır. Doğrulamada kullanılan belirsizlik endeksleri Ortalama Sapma Hatası (OSH), Normalleştirilmiş Ortalama Sapma Hatası (NOSH) ve Ortalama Karekök Hatanın Değişim Katsayısı (OKHDK)’dır. OSH bir örnek uzayın hatalarının ortalamasıdır. Denklem 4.1 ile hesaplanmaktadır.

$$OSH = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)}{n} \quad (4.1)$$

NOSH, iki değer arasındaki ayarlama hakkında daha kesin bilgi elde eden OSH indeksinin bir modifikasyonudur. OSH sonuçlarını ölçülen değerlerin ortalamasına bölerek gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki global farkı vermektedir. Denklem 4.2 ile hesaplanmaktadır.

$$NOSH = \frac{1}{\bar{m}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)}{n - p} \times 100 (\%) \quad (4.2)$$

OKHDK ise tipik olarak bir değişkenlik ölçüsü veya verilerde ne kadar yayılım olduğu olarak adlandırılır. Her saat için, eşleştirilmiş veri noktalarındaki hata veya fark hesaplanır ve karesi alınır. Hataların karelerinin toplamı daha sonra her ay ve toplam dönemler için bulunur ve her ay veya toplam dönem için ortalama kare hatasını veren ilgili puan sayısına bölünür. Sonucun karekökü OKHDK olarak rapor edilir. Denklem 4.3 ile hesaplanmaktadır.

$$OKHDK = \frac{1}{\bar{m}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)^2}{n - p}} \times 100 (\%) \quad (4.3)$$

Burada, s_i simüle edilmiş değerleri, m_i ise ölçülen değerleri göstermektedir.

Uluslararası Performans Ölçümü ve Doğrulama Protokolü (IPMVP), bir modelin saatlik ölçekte %20'den az OKHDK ile %5'ten az bir NOSH'e ulaşması durumunda doğrulanmış olarak kabul edilebileceğini belirtmektedir. ASHRAE ve Federal Enerji Yönetim Programı (FEMP), NOSH endeksi %10'u aşmıyorsa ve OKHDK endeksi %30'dan fazla değilse bir modelin doğrulandığını kabul etmektedir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Federal Enerji Yönetim Programı (FEMP), Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE) ve Uluslararası Performans Ölçüm ve Doğrulama Protokolü (IPMVP) doğrulama kriterleri

Doğrulama Kriteri	Endeks	FEMP	ASHRAE 14 Yönergesi	IPMVP
Aylık Değerler (%)	NOSH	±5	±5	±20
	OKHDK	±15	±15	-
Saatlik Değerler (%)	NOSH	±10	±10	±5
	OKHDK	±30	±30	±20

Yapı bilgi modeli oluşturulan binanın simülasyonu sonucunda ölçülen iç mekan sıcaklığı ile gerçek binada ölçülen iç mekan sıcaklıkları karşılaştırılmıştır. Sonuç

olarak ölçüm yapılan ofis alanı için OKHDK= %12,72 ve NOSH= %9.08 hata oranı elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 4.2'deki ASHRAE Kılavuz 14 ve FEMP'nin saatlik verilere göre doğrulama aralığı içerisinde kalmaktadır. Bu doğrulama işlemi sonucunda simülasyonların gerçeği yansıttığı kabul edilebilir.

4.2 Cephe Önerileri İçin Yapı Modelinin Oluşturulması

Bina simülasyon sonuçlarının doğrulanması işlemi yapıldıktan sonra FBR cephe önerileri için parametrik yapı modeli yeniden hazırlanmıştır. Öneriler tek bir bölge üzerinden devam etmiştir. Çoklu bölge olarak hazırlanan bina modelinden ölçüm yapılan oda seçilerek tek bölge üzerinden optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi optimizasyon sürecinde, binada çok fazla bölge olması ve hem karar değişkenlerinin hem de optimizasyon amacının çok fazla olması nedeniyle simülasyon sürelerinin çok uzun olmasıdır.

4.2.1 FBR'nin Pencere Elemanı Olarak Tanımlanması

Oluşturulan yapı modelinde pencere yerine tamamı alg ortamı olan FBR eklenmesi önerilmiştir. FBR cephe elemanı, içinde akışkan olan çift camlı bir pencere sistemine biçimsel olarak benzerlik göstermektedir ve literatürdeki çalışmalarda bir pencere sistemi olarak modellenmiştir. Grasshopper ile alg penceresinin oluşturulması en önemli aşamalardan biridir.

Pencere malzemesi oluşturmanın yollarından bir tanesi pencereyi bir bütün olarak kabul edip pencerenin U değeri, IG ve GIKK değerinin girilmesidir. Literatürde FBR'nin U değerini hesaplayan iki çalışma vardır. Umdu, Kahraman, Yıldırım ve Bilir (2018), düz panel FBR'lerin ısı transfer davranışını değerlendirmek için deneysel tasarım yöntemini kullanmıştır. Alg biyoreaktörleri için U değerinin hava tabakası, FBR iç derinliği ve FBR duvar kalınlığı gibi farklı parametrelere dayalı olarak 13 farklı FBR'nin 3.84 ila 53.19 W/m²K değiştiği sonucuna varmıştır. Negev ve diğer. (2019), FBR'yi pencere olarak tanımlayıp U değerini ASHRAE (2001)'e göre hesaplayıp U değerinin yıl içinde çok az değişiklik gösterdiğini belirterek sabit bir değer (4,9 W/m²K) aldıklarını belirtmiştir.

Literatürde IG'yi biyokütlenin artışına göre cam + alg birlikteliğini değerlendiren iki temel çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan Pagliolico ve diğer. (2019)'da alg

sisteminin IG'si Saint Marcel, Aosta'da anaokulundaki gerçek bir sınıfa kurulan ekipman kullanılarak sahada yapılan ölçümler ile belirlemiştir. Burada, IG Denklem (4.4)'te verildiği üzere, cam + mikroalg sistemin arkasına yerleştirilen ve mikroalg sistemi olmadan (sadece camın) yerleştirilen sensörlerden elde edilen değerlerin bir oranı olarak hesaplanmıştır.

$$IG = \frac{\text{cam+alg sisteminin arkasındaki sensörlerin ortalaması}}{\text{cam arkasındaki sensörlerin ortalaması}} \quad (4.4)$$

Ayrıca sınıfın gerçek konfigürasyonu, parametrik bir çalışma yürütmek ve iklim ile yönelim gibi bir dizi değişkenin odaya giren günışığı miktarını analiz etmek için modellenmiştir (Pagliolico ve diğer, 2019). IG'nin doğrudan ve dağınık güneş ışınımı kombinasyonlarıyla değişip değişmediğini araştırmak için IG değerleri ile gökyüzü koşulları arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Farklı gök koşulları altında, gün içinde ölçülen değerlerin ortalaması alınarak bir temsili değer ($IG_{ortalama}$) bulunmuştur. Daha sonra camın arkasındaki FBR'nin IG'si ($IG_{cam+FBR}$) Denklem 4.5 ile elde edilmiştir.

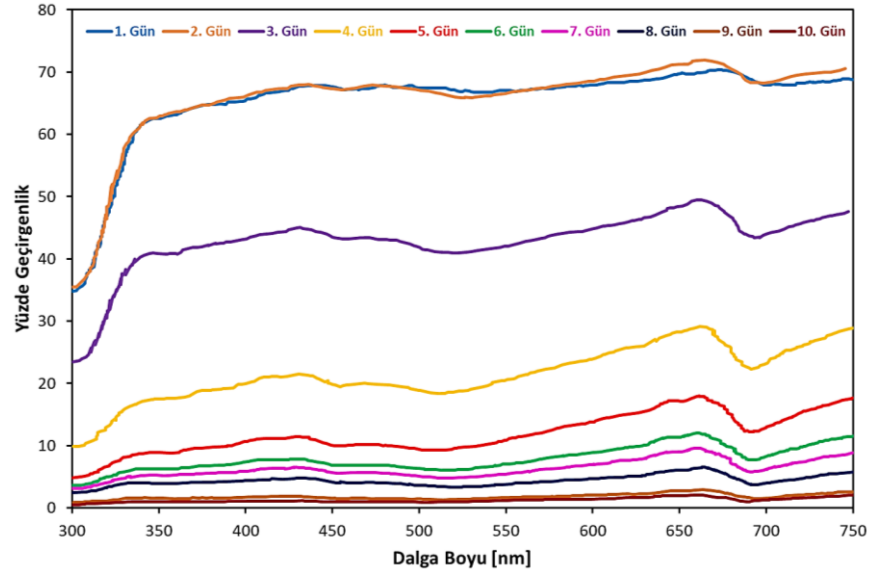
$$IG_{(cam+FBR)} = IG_{ortalama} * IG_{cam} \quad (4.5)$$

Hesaplanan yeni değere sahip yarı saydam bir malzeme oluşturulmuştur. Lo Verso ve diğer. (2019)'da Paglioco ve diğer. (2019) tarafından hesaplanan IG verilerinden yararlanılarak, FBR yapı kabuğu elemanı DIVA-for-Rhino'da yarı saydam materyal olarak modellenmiştir. Çalışmada incelenen FBR'ler, %75 IG'ye sahip bir camla birleştirilmiştir. Beş farklı IG için (%10, %20, %40, %60, %80) simülasyon yapılması amaçlandığından her bir birimin değerini camın IG'siyle denklem 4.5'e göre hesaplandıktan sonra değeri FBR sisteminin IG'si olarak kullanmışlardır. Negev ve diğer. (2019) ise IG ve güneş ısısı kazanç katsayısı için, alg türlerinin IG'sini küçük ölçekli cam bir model üzerinden spektrofotometre kullanarak ölçmüştür. Ölçüm verilerine dayanarak FBR pencere IG ve güneş ısısı kazanım katsayısını, farklı konsantrasyonlarda mikroalg türleri ile çalışılan pencere için ASHRAE (2001)'de tanımlanan hesap yöntemiyle ISO 15099 (2003)'de verilen kabullere göre hesaplamışlardır.

Bu tezde de Negev ve diğer. (2019) ile benzer deneysel ölçümlerle alglerin büyüme sırasında yüzde IG (%IG) değeri ve güneş ısısı kazanım katsayısı ölçülmüş ve

hesaplanmıştır. IG değerleri 300-750 nm ve 750-1000 nm dalga boylarında değerlendirilmiştir. Güneş ısısı kazanç katsayısı değeri de IG ile benzer şekilde, 700-950 nm dalga boyları arasındaki IG ölçüm değerleri göz önüne alınarak ASHRAE (2001)'e göre hesaplanmıştır. Bu hesaplama için, büyüme sırasında farklı günlerde (yoğunlukta) değişen IG (%) verileri kullanılmıştır. Ayrıca U değeri ASHRAE (2001)'e göre hesaplanıp dış, su ve iç ortam taşınım katsayıları ise Wu ve Lei (2016)'ya göre hesaplanarak bahsi geçen üç değişkenin belirtilmesi ile alg pencereleri tanımlanmıştır.

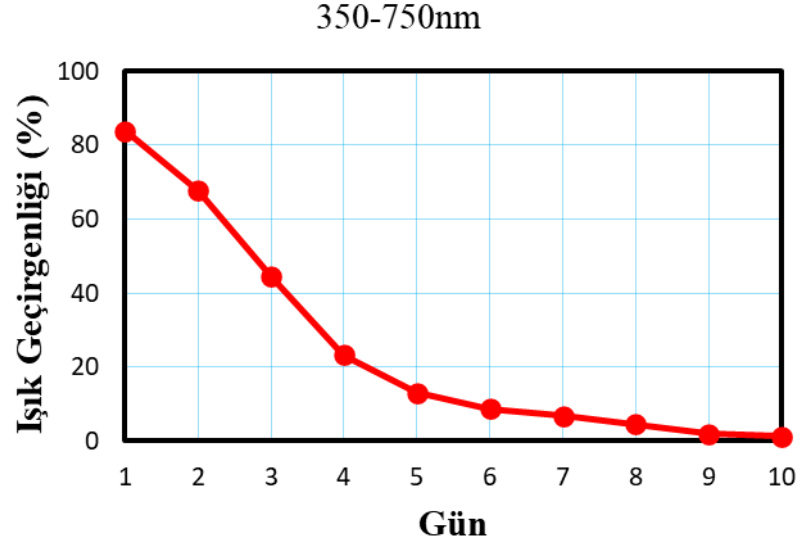
%IG değerinin belirlenmesinde kullanılan örnekler küçük ölçekli (12,2 mm uzunluk ve genişlik, 44 mm derinlik) bir cam model içinde spektrofotometre (Perkin Elmer Lambda XLS UV-VIS) ile ölçülmüştür. Şekil 4.6'da %10 aşılama sonrasında 10 gün boyunca büyütülen mikroalgin %IG değerleri 300-750 nm dalga boyu aralığı için gösterilmiştir. Ayrıca 10 gün süren deneyde 560 nm'de optik yoğunlukları da ölçülmüştür. Tablo 4.3' te 300-750 nm ve 750- 1000nm ölçülen IG değerleri ve optik yoğunluk değerlerindeki değişimler sunulmuştur. Optik yoğunluk değerleri deney süresince alglerin büyümeye devam ettiğini göstermektedir. Alglerdeki büyüme ve optik yoğunluktaki artışa paralel olarak %IG'de zamana bağlı azalma meydana geldiği görülmektedir.



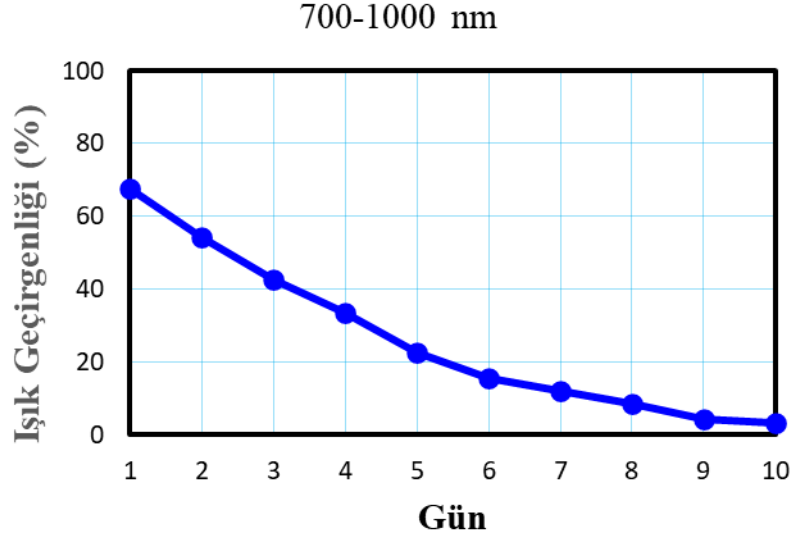
Şekil 4.6 10 gün boyunca dalga boyuna göre %IG ölçümleri

IG ve GIKK değerlerinin hesaplanması: Simülasyonlarda ASHRAE (2001)'e ve ISO 15099 (2003)'e göre teorik olarak hesaplanan güneş ısısı kazanım katsayısı

değerleri kullanılmıştır. Bu hesaplamalarda farklı dalga boyları için zaman içinde büyüyen algde gerçekleştirilen %IG ölçüm sonuçları temel alınmıştır. İletilen güneş ışınımını belirlemek için, 350-750 nm dalga boyunda ölçülen geçirgenlik sonuçlarının ortalaması bulunmuştur (Şekil 4.7a). Daha sonra GIKK, 700-1000 nm dalga boyu üzerinden ölçülen geçirgenlik üzerinden hesaplanmıştır (Şekil 4.7b).



(a) 350-750 nm dalga boyundaki 10 günlük ışık geçirgenlik değerleri



(b) 700-1000 nm dalga boyundaki 10 günlük ışık geçirgenlik değerleri

Şekil 4.7 Günlük ışık geçirgenlik değerleri

GIKK'yı hesaplamak için ASHRAE 2001'de yer alan Denklem 4.6 kullanılmıştır.

$$SHGC(\theta) = T_{1,L}^f(\theta) + \sum_{k=1}^L N_k A_{k:(1,L)}^f(\theta) \quad (4.6)$$

$T_{1,L}^f(\theta)$ = Cam sisteminin ön geçirgenliği, L = cam katman sayısı ($L=2$ cam katmanı), $A_{k:(1,L)}^f = k$ katmanının ön emiciliği ($k = 3$ kat cam, su ve cam), N_k = içeriye doğru akış oranını belirtmektedir.

Emilme (Absorption) (A) ise Denklem 4.9'e göre Denklem 4.7 ve 4.8 kullanılarak hesaplanmaktadır. Üç katman için A_1, A_2 ve A_3 ayrı ayrı hesaplanır.

$$\tau_1(0, \lambda) = (1 - \rho_1(0, \lambda))^4 * e^{-2\alpha_g t_g} \quad (4.7)$$

$$\tau_1(0, \lambda) = (1 - \rho_1(0, \lambda))^2 * e^{-2\alpha_g t_g} * (1 - \rho_1(0, \lambda))^2 * e^{-\alpha_w t_w} \quad (4.8)$$

$$A_1 = (1 - \rho_1) * (1 - e^{-\alpha_g t_g})$$

$$A_2 = (1 - \rho_1) * e^{-\alpha_g t_g} * (1 - \rho_2) * (1 - e^{-\alpha_w t_w})$$

$$A_3 = (1 - \rho_1) * e^{-\alpha_g t_g} * (1 - \rho_2)^2 * e^{-\alpha_w t_w} * (1 - e^{-\alpha_g t_g}) \quad (4.9)$$

τ_1 = cam ve hava penceresinin geçirgenliğini, τ_2 = cam ve su penceresinin geçirgenliğini, ρ_1 = camdan havaya yansımayı, ρ_2 = camdan suya yansımayı, α = camın (α_g) ve suyun (α_w) hacimsel emilme katsayısını (1/cm), t = cam (t_g) ve su (t_w) kalınlığını ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3 10 gün boyunca dalga boyuna göre %IG ölçümleri

Gün	OD (560 nm)	% IG (300-750 nm)	IG (700-1000 nm)	GIKK
1	0,133	83.87	67.6268	67.6315
2	0,173	67.6851	54.3972	54.4019
3	0,3815	44.3824	42.7012	42.7059
4	0,691	23.28	33.5722	33.577
5	0,937	13.0087	22.7299	22.7346
6	1,1345	8.668	15.4078	15.4125
7	1,2595	6.8667	12.185	12.1898
8	1,437	4.5499	8.4808	8.4855
9	1,722	1.898	4.2695	4.2742
10	1,9195	1.3498	3.3907	3.3955

Pencere sistemine ait toplam ısı geçiş katsayısının hesaplanması: Pencere sistemine ait toplam ısı geçiş katsayısı (U), iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı

sebebiyle gerçekleşen ısı transfer oranını belirler ve birimi $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ 'dir. Çalışmada incelenen su penceresine ait toplam ısı geçiş katsayısı Denklem 4.10'a göre hesaplanmıştır (ASHRAE 2001).

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{t_{p1}}{k_{p1}} + \frac{1}{h_{su}} + \frac{t_{p2}}{k_{p2}} + \frac{1}{h_i}} \quad (4.10)$$

Burada h_o , h_{su} ve h_i sırasıyla dış, su ve iç ortam taşınım katsayılarını temsil etmektedir ve birimleri $\text{W/m}^2\text{K}$ 'dir.

Dış ortam taşınım katsayısı rüzgar hızına (v) bağlı olarak Denklem 4.11 ve Denklem 4.12 yardımıyla hesaplanmıştır (Wu ve Lei, 2016).

$$h_o = 3V + 2.8 \quad (4.11)$$

$$V = \begin{cases} 0.5v & v \leq 1 \text{ m/s} \\ 0.5 & 1 < v \leq 2 \text{ m/s} \\ 0.25v & v > 2 \text{ m/s} \end{cases} \quad (4.12)$$

Su ve iç mekan taşınım katsayıları ise ortamdaki doğal taşınım mekanizması dikkate alınarak Denklem 4.13, Denklem 4.14 ve Denklem 4.15'e göre hesaplanmıştır (Wu ve Lei, 2016).

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TH^3}{\nu\alpha} \quad (4.13)$$

$$Nu = 0.825 + \frac{0.387Ra^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}} \quad (4.14)$$

$$h_{su}, h_i = \frac{Nu k}{H} \quad (4.15)$$

Denklem 4.10'daki t_{p1} ve t_{p2} pleksi katmanlarının kalınlığını temsil etmekte olup k_{p1} ve k_{p2} ise bu katmanlara ait ısı iletim katsayılarını temsil etmektedir ve birimleri Wm/K 'dir.

FBR'nin U değeri bu hesaplamalara göre $0.1142 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir.

4.2.2 Parametrik Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi

Bölüm 3.1'de de belirtildiği üzere yüksek güneşliği mevcudiyeti ve enerji performansı için FBR'lerin parametrelerini optimize eden çalışmaların sınırlı olduğu

görülmüştür. Literatürdeki çalışmalar, bina enerjisi ve güneşli performansı için, pencere-duvar oranı, bina yönelimi, algin büyümesiyle değişen alg konsantrasyonunun etkisi, FBR geometrisi, FBR'nin konumlandırılması (eğim açısı) gibi değişkenlere odaklanmıştır.

Bina geometrisi için dört farklı tasarım değişkeni vardır. Bunlar; pencere tipi, pencere-duvar oranı, duvar tipi ile kalınlığı ve yalıtım kalınlığıdır. Tasarım parametreleri Tablo 4.4'te verilmiştir. Grasshopper'da her bir tasarım değişkeninin değeri farklı aralıklarla değişen bir *slider* bileşenine bağlanmıştır. Tasarım değişkenlerine ek olarak ısıtma ve soğutma ayarları enerji tüketimini etkilediği için parametrelere eklenmiştir. Isıtma-soğutma ayar noktaları için sabit aralıklarla değişen değerler belirlenmiştir.

Tablo 4.4 Tasarım parametreleri ve aralıkları

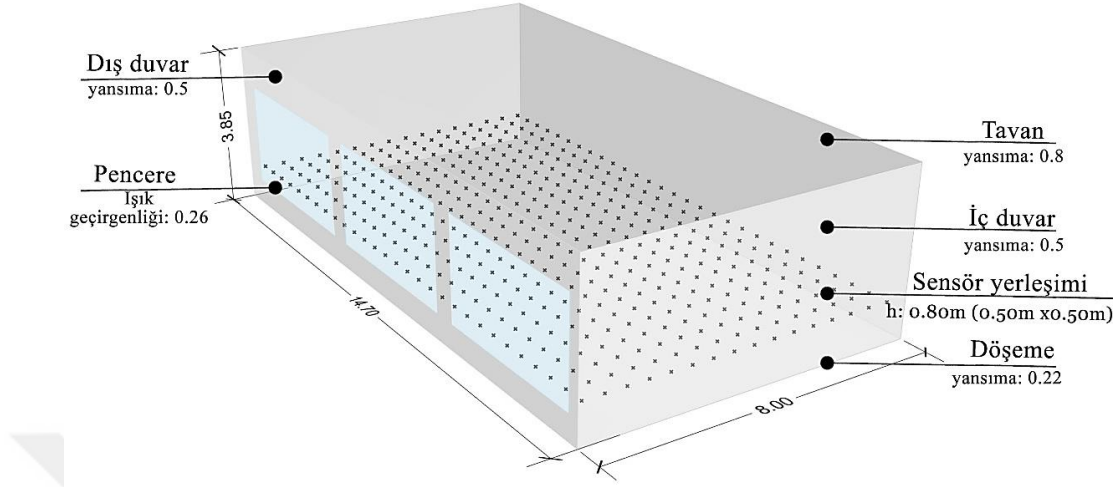
Parametreler	Aralıklar	Olası değer sayısı
Cam tipleri	Alg ortamı değişen FBR (1.günden 10. Güne kadar 1'er gün artışla)	10 değer
Pencere duvar oranı	%10'dan %95'e kadar (%5'lik artışlarla)	18 değer
Duvar tipi ve kalınlığı	Tuğla ve gaz beton (0,10m, 0,135m, 0,15m, 0,175m, 0,19m ve 0,25m)	12 değer
Yalıtım kalınlığı	0,03m, 0,04m, 0,05m, 0,06m, 0,07m, 0,08m, 0,1m, 0,12m	8 değer
Isıtma ayar noktası	18°C'den 23,5°C'ye kadar (0,5°C artışlarla)	12 değer
Soğutma ayar sıcaklığı	23,5°C'den 27°C'ye kadar (0,5°C artışlarla)	8 değer

4.3 Simülasyon

4.3.1 Güneşli Modelinin Kurulması

Yukarıda anlatılan enerji simülasyonu modeli kurulumunun yanında görsel konfor için güneşli modeli kurulması gerekmektedir. Güneşli simülasyonu Honeybee eklentisi üzerinden Radiance/Daysim simülasyon motorları aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Güneşli modelleme sürecinde, Radiance üzerinden de parametrik bina geometrisine bağlı malzemelerinin tanımlanması gerekmektedir. Opak malzemelerin ışığı yansıtma değerlerinin, saydam malzemelerin ise ışık geçirgenliği değerinin girilmesi gerekir. Tavan, zemin, iç, dış duvarlar yansıtması sırasıyla 0,8; 0,2; 0,5 ve 0,5'tir. Pencerenin ışık geçirgenliği mevcut durum için 0,26 FBR için günlere bağlı olarak değişen ışık geçirgenliği değerleri girilmiştir. Daha sonra yapı malzemeleri, hava verisi dosyalarının girişi, güneşli sensör yerleşimi ve diğer

simülasyon ayarları ile güneşli simülasyon bileşenine bağlanır. Sensör yerleşimi yerden 0,80 m yükseklikte 0,50 m aralıklarla yapılmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Sensör yerleşimi

4.3.2 Enerji ve Güneşli Simülasyonlarının Çalıştırılması

Güneşli ve enerji modelleri hazırlandıktan sonra simülasyon motoruna bağlanması gereken bazı girdiler bulunmaktadır. Her iki simülasyon için de iklim verisinin ayrı ayrı girilmesi gerekmektedir. Her iki simülasyon için simülasyon öncesinde hangi çıktının hesaplanması isteniyorsa o bilginin simülasyon motoruna bağlanması gerçekleştirilmektedir. Güneşli simülasyonundan sonra, Ladybug, simülasyon sonuç dosyasını Grasshopper'a geri aktarır, güneşli performans ölçümlerini okur ve yıllık bir aydınlatma programı oluşturur. Daha sonra bu aydınlatma programı enerji simülasyonunun içine dahil edilir. Simülasyonlar çalıştırıldıktan sonra verileri okumak için gerekli bileşenler bağlanarak performans ölçütleri elde edilir.

4.3.3 Isıl Konfor Hesaplanması

Enerji simülasyon sonuçları elde edildikten sonra ısı konfor değerlendirmesi için IKİ hesaplanmıştır. IKİ “bina doluyken, tüm yaşam alanlarında ortalama ısıl duyumu (OID) endeksinin mutlak değerinin 0,5'ten büyük olduğu sürenin yüzdesi” olarak tanımlanır (Zhang vd., 2021). Tahmini ortalama ısıl duyumu endeksi ise, yedi noktalı bir ısıl duyumu ölçeğinde bir grup sakinin oylarının ortalama değerini tahmin etmeyi amaçlayan bir endekstir. Genel Konfor için kabul edilebilir ısı ortamı ASHRAE 55 (2004) standartlarına göre Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5 Genel Konfor için kabul edilebilir ısı ortam (ASHRAE 55 2004)

Isıl memnuniyetsizlik yüzdesi (IMY)	Ortalama ısı duyumu (OID) aralığı
<10	-0,5<OID<0,5

Isıl konfor değerlendirmelerinde alg penceresinin ısı kütlesi ihmal edilip sadece pencere içinde sıvı olan çift cam varsayımı üzerinden simülasyonlar yapılmıştır. Daha sonraki çalışmalarda FBR'nin ısı kütlesi de dahil edilerek ısı konfor hesaplanmaktadır. ASHRAE (2004) İKİ olarak %10'nun altını önermektedir. Bu çalışmada ısı konfor ihlali Zhang vd. (2021)'nin tanımına göre Grasshopper'da Denklem 4.16 'ya göre hesaplanmıştır.

$$IKİ = 100 \times \left(\frac{(PMV > 0.5 \text{ (saat)} + PMV < -0.5 \text{ (saat)})}{\text{yıl içindeki toplam çalışılan saat}} \right) \quad (4.16)$$

4.4 Optimizasyon

Bu çalışmada çok amaçlı optimizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Optimizasyon aracı olarak Grasshopper'da bir eklenti olan Octopus kullanılmıştır. Tasarım değişkenleri Octopus girişine, performans ölçütleri olan simülasyon çıktıları ise Octopus objective girişine bağlanmıştır. Octopus ile performans ölçütlerini iyileştirmek için parametreler arasında mantıksal bir denge kurulmaya çalışılmıştır. Octopus'ta optimizasyonda hedefler varsayılan olarak minimize edilmektedir. Bu matematiksel değerler pozitifse minimize edildiği anlamına gelir. Bu nedenle bir hedefin maksimize edilmesi isteniyorsa (-1) ile çarpılması gerekmektedir. Çalışmada pareto front grafiğinde EGA maksimize edildiği için negatif değerler olarak görülmektedir.

Optimizasyon ayarları elitizm 0,5; mutasyon oranı 0,5; mutasyon olasılığı 0,1 ve çaprazlama oranı 0,8 olarak ayarlanmıştır. Planlanan çalışma, her nesilde 50 birey olacak şekilde 30 nesil olarak belirlenmiştir. Ancak sonuçlar kararlı hale geldiğinde çalışma durdurulabilmektedir.

Optimizasyon sonunda elde edilen bireylerin uygunluk fonksiyonu, gün ışığı, enerji ve ısı konfor performansı arasında dengeli çözümleri göstermektedir. Uygunluk fonksiyonu için kullanılan denklemler 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20'de gösterildiği gibidir (Konis, Gamas ve Kensek 2016):

$$\begin{aligned} & \text{Uygunluk fonksiyonu} \\ & = (EGA_i - EGA_{min}) \times C_1 - (EKY_i - EKY_{min}) \times C_2 \\ & - (IKI_i - IKI_{min}) \times C_3 \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$C_1 = 100 \times \left(\frac{1}{EGA_{max} - EGA_{min}} \right) \quad (4.18)$$

$$C_2 = 100 \times \left(\frac{1}{EKY_{max} - EKY_{min}} \right) \quad (4.19)$$

$$C_3 = 100 \times \left(\frac{1}{IKI_{max} - IKI_{min}} \right) \quad (4.20)$$

i : bireyin performans değeri,

min : optimizasyon sürecinde elde edilen en küçük değer ve

$maks$: optimizasyon sürecinde elde edilen en büyük değeri belirtmektedir.

4.5 Ek Analizler

FBR cephelerin birinci ek faydası iç mekanda oluşabilecek kamaşmayı içindeki biyokütle yardımıyla önleyebiliyor olmasıdır. EGA gibi yatay aydınlık günışığı göstergeleri tasarımcıları bir mekandaki genel günışığı performansı konusunda bilgilendirse de bina sakinlerinin konfor düzeyinin tek göstergesi olarak kullanılamazlar. İnsanlar, görsel bir sahnedeki kamaşmaya tepki verirler ve bu, belirli süreler boyunca aşırı kamaşmaya veya yüksek kontrast değerlerine maruz kaldıklarında görsel konfor düzeylerini etkiler. Görsel konfor kamaşma olmamasını gerektirir. Bu nedenle, günışığı kamaşma olasılığı (GKO) gibi kamaşma ile ilgili göstergeler, bina sakinlerinin görsel konforunu ölçmek için daha iyidir (Mashaly ve diğer., 2021). GKO, kullanıcının bakış açısından kamaşma kaynağı parlaklığının yanı sıra dikey günışığı aydınlatmasını da ölçer. Kamaşma kaynağı parlaklığını belirlemek için kullanıcının bakış açısını kullanmak, görüntü tabanlı bir analiz gerektirir. Jones (2019), yıllık GKO profillerini hesaplamak için Radiance'daki gelişmiş komutlara dayanan, zaman alıcı işlenmiş görüntüleri “görüntüsüz GKO” adı verilen bir yöntem geliştirmiştir. Görüntüsüz hesaplama yöntemi, geleneksel kamaşma tahmin yöntemlerine göre daha hızlı hesaplama sağlar ve benzer doğruluk verir.

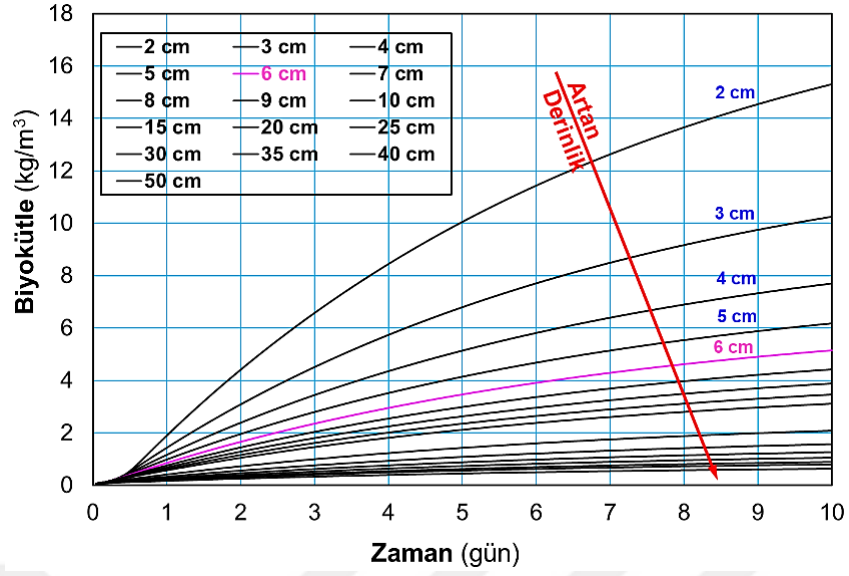
Yeni bir terim olan kamaşma otonomisi (KO), yani bir görünüm için kamaşma içermeyen kullanım saatlerinin oranı, iç mekanlarda kamaşma değerlendirilirken

görselleştirilir (Jones, 2019). EN 15251'e (2007) göre, kullanılan saatlerin %5'inden fazlası için GKO %40'i geçmemelidir. Kamaşma olasılığının hesaplanması, her bir bina sakininin konumu ve incelenen görüş yönü için yıllık GKO hesaplamasını gerektirir.

FBR cephelerinin ikinci ek faydası da alglerin fotosentez sonucunda ürettiği biyokütlenin işlenip enerjiye dönüştürülmesidir. Üretilen enerji bina için tekrar kullanılarak bina tarafından harcanan enerji miktarı düşürülebilir. Bu çalışmada alglerden enerji üretimi aşağıda verilen denklem 4.21 ile hesaplanmıştır (Leeuw, 2016).

$$E_A [kWh] = (V \times m \times cv \times n) \times (3,6 \times 10^6)^{-1} \quad (4.21)$$

$V [dm^3]$ = FBR'nin hacmini, $m [kg]$ = günde litre başına lipid içeriğinin kütlesini, $cv [kJ / kg]$ = algin ısı değeri = 35 MJ/kg, n = gün sayısını ifade etmektedir. Lipid kütlesi gün sonunda üretilen biyokütlenin %60'ı olarak hesaplanmıştır. Üretilen biyokütle miktarı, 218M580 numaralı TÜBİTAK projesinde doğrulanan ve doğrulanan model üzerinden yapılan parametrik çalışmanın sonucundan elde edilmiştir. Projede, literatürdeki bir çalışma olan Huesemann ve diğer. (2013) tarafından tek bir reaktör derinliği ile yapılan modelden faydalanılarak, sistemin tasarım ve çalışma parametrelerinin mikrolagin büyüme davranışını yorumlamak için reaktör derinliği 2 ila 50 cm arasında değişen bir parametrik çalışma yapılmıştır. 10 gün için farklı reaktör kalınlıklarında biyokütlenin zamana bağlı değişimi Şekil 4.9'da verilmiştir.



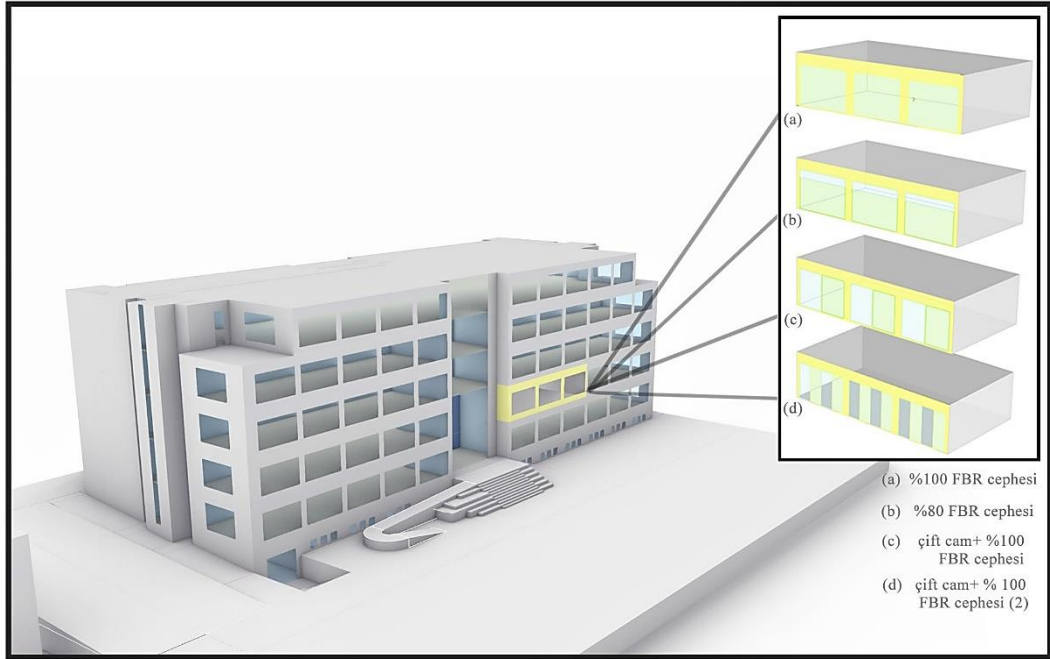
Şekil 4.9 Farklı reaktör kalınlıkları için birim hacim ve birim alan başına üretilen biyokütle miktarı (Tokuç ve diğer, 2021)

Optimizasyon sonucunda 1. ve 2. gündeki alg konsantrasyonuna sahip FBR tipleri sayıca çoğunlukta çıktığı için derinliği 6 cm olan FBR’de 1. ve 2. günde üretilen biyokütle miktarları alınmıştır. Grafiğe göre 1. gün için, $0,86 \text{ kg/m}^3$ değeri, 2. gün ise $1,67 \text{ kg/m}^3$ değeri elde edilmiştir.

BÖLÜM BEŞ

CEPHE ÖNERİLERİ VE MEVCUT DURUM KARŞILAŞTIRMALARI

Yapı modeli için dört çeşit FBR cephe önerisi yapılmıştır. Bu öneriler Şekil 5.1’de görüldüğü gibi (a) tamamı alg ortamı olan %100 FBR cephesi, (b) %80’i alg ortamı olup %20’si hava olan FBR cephesi, (c) çift cam+ %100 FBR cephesi ve (d) çift cam+ %100 FBR cephesidir. Ayrıca optimizasyon sonucunda karşılaştırma yapılacak referans yapı modeli yer almaktadır. Mevcut bina ve bu cepheyi iyileştirmek adına yapılacak alternatiflerin optimizasyonu ile elde edilen çözümlerin enerji, ısı ve görsel konfor performansı açılarından karşılaştırılarak değerlendirilmesi yapılacaktır. Optimizasyon aşamasında bütün binanın optimizasyon süreci hem çok fazla bölge olmasından hem de optimizasyon için karar değişkenlerinin ve amaçlarının sayısının fazlalığından dolayı çok uzun zaman almaktadır. Bu yüzden bütün binayı optimize etmek yerine güney cephesinde yer alan bir tek bölge üzerinden işlemlerin yapılması uygun görülmüştür.

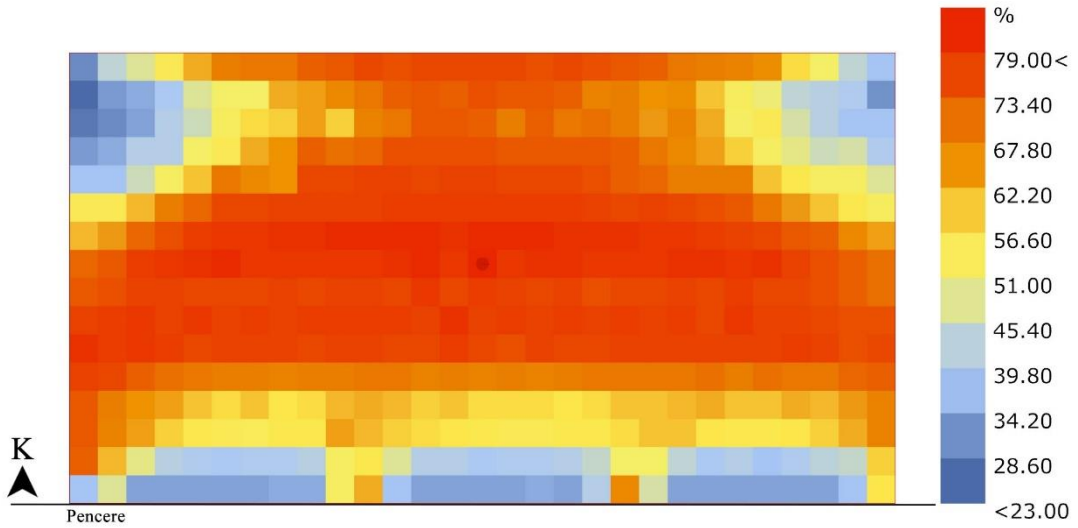


Şekil 5.1 Cephe önerileri

5.1 Mevcut Durumun Analizleri

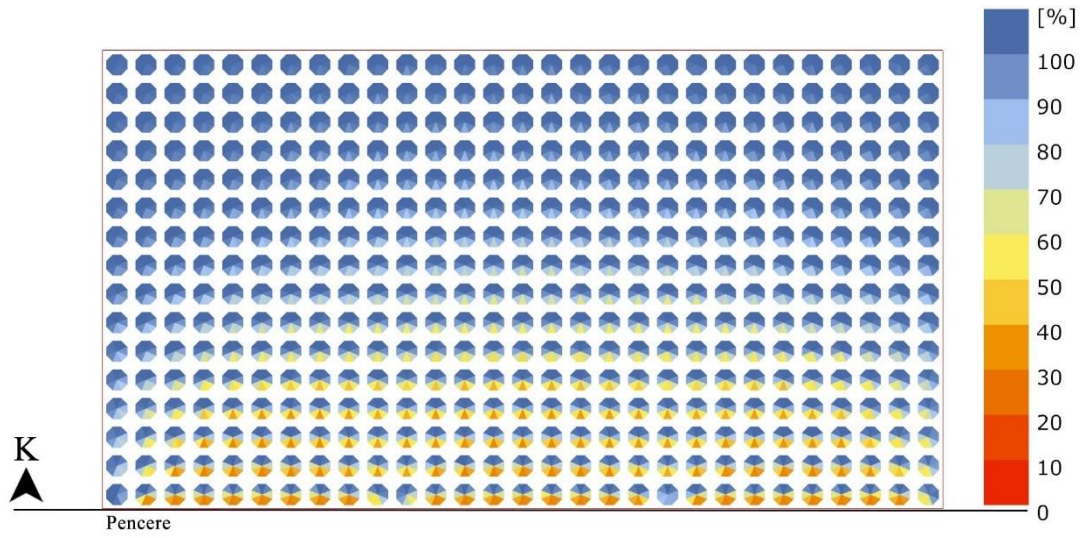
5.1.1 Görsel Konfor Analizi

Mevcut durumun penceresi 6 mm temperli füme reflekte cam, 6 mm gazlı boşluk ve 3 mm düz camdan oluşan özelliklere sahiptir ve ışık geçirgenliği 0,236'dır. Pencere duvar oranı tek tip olup %80 olan 3 tane pencereden oluşmaktadır. Günışığı simülasyonu sonucunda mevcut binanın EGA değeri %61,81'dir. Şekil 5.2'de EGA'nın bina çalışma düzlemi üzerindeki sensör konumlarında bir renk bloğu olarak gösterimi verilmiştir. Pencerenin önündeki yerlerde yaklaşık %40 gibi bir günışığından yararlanma oranı varken iç mekana doğru ilerledikçe bu oran artmaktadır. Köşelerde ise günışığının yararlı bir şekilde kullanılamadığı görülmüştür.



Şekil 5.2 Yararlı günışığı aydınlatması değerinin görselleştirilmesi

Görsel konfor için GKO'nun %45'ten küçük olduğu durum eşik değer olarak belirlenip, iç mekandaki bir görünümün kullanım saatleri içerisindeki kamaşma içermeyen saatlerin oranı olarak tanımlanan günışığı otonomisi görselleştirilmiştir. GKO'nun %45'ten küçük olduğu durumlarda parlamanın olmadığı düşünülmektedir. Kamaşma otonomisinin hesaplanması, her bir noktanın konumu ve incelenen görüş yönü için yıllık GKO hesaplamasını gerektirir. Kamaşma otonomisinin ortalama değeri %86,36 çıkmıştır. Şekil 5.3'te görüldüğü gibi pencere önünde kullanım saatleri içerisinde çok fazla oranda kamaşmanın olduğu görülürken; mekanda pencereden içeriye doğru ilerledikçe kamaşmanın olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.3 Kamaşma otonomisi değerinin görselleştirilmesi (GKO<%45)

5.1.2 Enerji Performansı Analizi

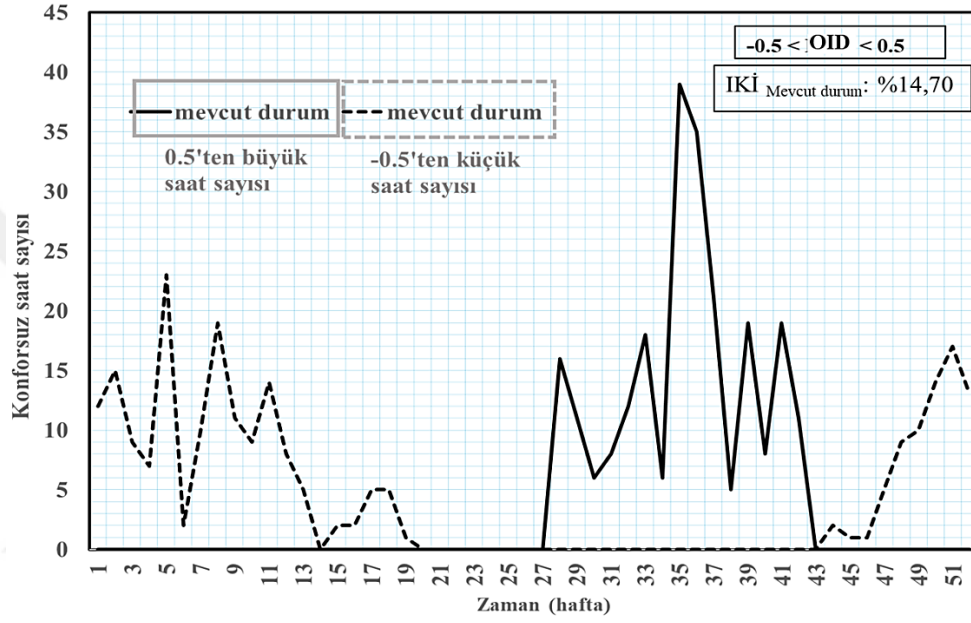
Mevcut binanın enerji kullanım yoğunluğu incelendiğinde m^2 başına düşen toplam EKY değeri $1751,22 \text{ kWh/m}^2\text{y}$ olarak bulunmuştur. Tablo 5.1’den görüldüğü gibi en fazla enerji, ısıtma için kullanılmıştır. Soğutma için en fazla enerji temmuz ayında harcanmakta ($26,204 \text{ kWh/m}^2\text{y}$), en fazla ısıtma enerjisi ise ocak ayında olup $406,416 \text{ kWh/m}^2\text{y}$ ’dır. Aydınlatma için harcanan elektrik enerjisi miktarının en az olduğu görülmektedir.

Tablo 5.1 m^2 başına düşen yıllık toplam soğutma, ısıtma ve aydınlatma elektrik enerjisi tüketimi

Zaman	Soğutma ($\text{kWh/m}^2\text{y}$)	Isıtma ($\text{kWh/m}^2\text{y}$)	Aydınlatma ($\text{kWh/m}^2\text{y}$)	Toplam Enerji Kullanım Yoğunluğu ($\text{kWh/m}^2\text{y}$)
Ocak	0,00	397,07	0,56	397,62
Şubat	0,00	278,06	0,40	278,46
Mart	0,75	257,00	0,47	258,22
Nisan	0,80	102,29	0,29	103,38
Mayıs	9,48	50,96	0,14	60,58
Haziran	15,99	2,47	0,05	18,51
Temmuz	28,27	2,88	0,12	31,26
Ağustos	26,66	2,63	0,30	29,59
Eylül	15,76	5,99	0,37	22,11
Ekim	5,09	50,91	0,50	56,49
Kasım	0,36	159,66	0,40	160,42
Aralık	0,00	334,08	0,49	334,58
Toplam	103,14	1644,00	4,08	1751,22

5.1.3 Isıl Konfor Analizi

Mevcut binanın analiz sonuçlarına göre (0.5)'ten fazla çıkan yıllık konforsuz saat sayısı 234, (-0.5)'ten küçük çıkan konforsuz saat sayısı ise 231 saattir. Yıl içindeki kullanılan toplam saat sayısının %14,90'ı kadar konforsuzluk saati bulunmaktadır. Şekil 5.4'te mevcut binanın yıllık konforsuzluk saat grafiği verilmiştir. Grafikte ağustos ayı içindeki bazı haftalarda haftalık çalışma saatlerinin yarısından fazlasının konforsuz geçirildiği görülmüştür.



Şekil 5.4 İzmir için yıllık konforsuzluk saati

Tablo 5.2'de mevcut binanın yıllık m² başına düşen enerji tüketimi, EGA, KO, İKİ değerleri özetlenmiştir.

Tablo 5.2 Mevcut binanın enerji performansı, ısı ve görsel konfor performansı göstergeleri

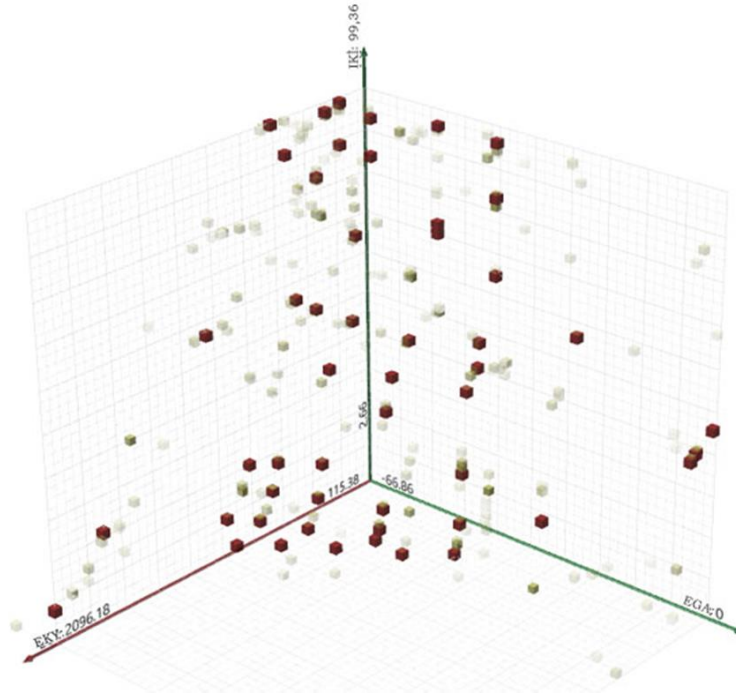
Görsel Konfor	EGA (100-2000lx)	%60
	KO (GKO<45)	%86,40
Enerji Performansı	Isıtma	1708,969 kWh/m ² y
	Soğutma	87,642 kWh/m ² y
	Aydınlatma	6,535 kWh/m ² y
	Toplam EKY	1803,146 kWh/m ² y
Isıl Konfor (%)	Isıl konfor ihlali	%14,90

5.2 Alternatif 1 Optimizasyonu

Alternatif 1’de mevcut durumun cephesine içinde tamamı alg ortamı olan FBR entegre edilmesi önerisi sunulmuştur. Octopus ile yapılan optimizasyonda 30 nesil 50 birey ayarlanıp, 27. nesil boyunca çalıştırılmıştır. Optimizasyon yaklaşık 50 saat sürmüştür.

5.2.1 Alternatif 1 Sonuçları

Şekil 5.5’te tüm çözümler içindeki optimal çözümler gösterilmiştir. X ekseninde EKY, Y ekseninde EGA ve Z ekseninde ise İKİ değerleri bulunmaktadır. Kırmızı noktalar pareto optimal çözümleri yeşil noktalar ise çözüm uzayını göstermektedir. Pareto optimal çözümler Tablo 5.3’te verilmiştir. Tablo 5.3’te pareto optimal çözümler arasında uygunluk fonksiyonu hesaplanarak amaca yönelik dengeli çözümler seçilerek listelenmiştir.



Şekil 5.5 Pareto optimal çözümler ve çözüm uzayı

EGA açısından değerlendirildiğinde Tablo 5.3’teki sonuçlar EGA’nın %51,81-66,26 arasında değiştiğini ve EGA’nın sadece pencere tipi ve PDO tarafından etkilendiğini göstermektedir. PDO’nun 1. gündeki alg konsantrasyonuna bağlı olarak en iyi çözümler %15-25 arasında değişirken, 2. gündeki alg konsantrasyonunda ise

%20-30 arasında değişmektedir. Pencere tipi olarak optimal çözümlerde en yoğun 1. ve 2. gündeki FBR çıkmıştır. FBR’de alg konsantrasyonu arttıkça gölgeleme etkisi arttığı için içeriye giren ışık miktarı azalır. Buna bağlı olarak EGA da azalmaktadır. Bu yüzden IG’si yüksek olan FBR’ler optimizasyonda daha yoğun olarak çıkmıştır.

Tablo 5.3’te EGA değeri ile aydınlatma için kullanılan enerji arasındaki ilişkiye bakıldığında aynı EGA değerinde aydınlatma enerjisinin değişmediği, EGA azaldıkça mekan içindeki günışığı kullanımında azalmanın olduğu ve buna bağlı olarak da yapay aydınlatma enerjisinin arttığı görülmektedir. Bu sonuca PDO ve alg konsantrasyonu parametrelerinin yanında aydınlatma kontrol sistemlerinin entegrasyonu ile birlikte varılmıştır.

Enerji performansı açısından değerlendirildiğinde, Tablo 5.3’te EKY’nin 544,05-1094,86 kWh/m²y arasında çıktığı enerji performansının bütün parametrelerden etkilendiği görülmektedir. Duvar tipi bütün çözümlerde gazbeton olarak çıkarken, gazbeton kalınlığı değişiklik göstermektedir. Bu değişiklik çoğunlukla 25 cm olup, 10 cm’lik gazbeton seçecekleri de bulunmaktadır. Yalıtım malzemesi kalınlığında ise çok fazla seçenek bulunmuştur. Diğer parametrelere göre bakıldığında enerji kullanımı üzerinde etkilerinin çok az olduğu görülmektedir. Soğutma ayar noktası tek tip olarak 23,5°C çıkmıştır. Isıtma ayar noktası ise çoğunlukla 23,5°C olup, 23 ve 22,5°C olarak farklılaşmıştır. Isıtma ayar noktasının aynı konfigürasyonda 23°C’den 23,5°C’ye çıkarılması ısıtmada kullanılan enerjiyi arttırsa da iç mekandaki ısı konforu iyileştirmiştir.

Pencere tasarımlarında pencereler ışık ve havalandırma sağlarken aynı zamanda güneş ısı kazancını ve ısı kaybını en aza indirmesine dikkat edilmelidir. Pencerelerden gelen güneş ışınımının bina enerji tüketimi ve konforu üzerinde kış ve yaz aylarında farklı etkileri vardır. Güneş ışığının odaya getirdiği ısı, yazın iç mekanın aşırı ısınmasına, iç mekan termal konfor ortamının zayıf olmasına ve artan soğutma enerjisi tüketimine neden olabilir. İç ortam sıcaklıklarını konforlu derecelere getirmek için iklimlendirme sistemlerinin daha fazla kullanılması gerekmektedir. Pencere boyutları arttıkça soğutma yükleri de artacağı için soğutmanın hakim olduğu Akdeniz ikliminde genellikle küçük boyutlarda pencere yoğunluklu çıkmıştır. Literatürde Akdeniz ikliminde yapılan çalışmalarda da bu durum doğrulanmaktadır. Acar ve diğer.

(2021), Akdeniz ikliminde ve soğuk iklimde ayrı ayrı yaptığı optimizasyonda Akdeniz iklimindeki binada %18,6 bulunurken, soğuk iklimdeki binada PDO %30,2 uygun çıkmıştır. Goia (2016), Avrupa'nın farklı şehirlerinde bina kabuğunda PDO'yu optimize ettiği çalışmada Roma ve Atina'da güney yönüne bakan pencerelerin %20 oranında çıktığını belirtmiştir. Ancak pencere boyutlarında şuna dikkat edilmelidir ki küçük boyut ısıl performansı iyileştirse de yeterli aydınlatmanın sağlanması için soğutmanın hakim olduğu iklimlerde pencere genişliklerinde bir alt sınır ayarlanmalıdır. PDO, enerji performansı üzerinde en fazla etkiye sahip olan parametredir.

Pencere tipinin enerji performansı üzerindeki etkisine bakıldığında pencerenin güneş ısı kazanım katsayısı değerinin etkili olduğu görülmektedir. Aynı konfigürasyonda alg konsantrasyonu arttığında ısıtma için kullanılan enerji miktarının arttığı, soğutma için ise azaldığı görülmüştür. Soğutma yükü hesaplamalarında ısı kazançları önemli bir parametredir. Isı kaybı ya da kazancı en fazla saydam yüzeyler arasında olmaktadır. Kurak bölgelerde ısıtma ve soğutma için enerji yükü, güneş ısı kazancı katsayısını minimumuna indirerek iyileştirilebilir. Isıtmanın hakim olduğu bölgelerde ise GIKK değeri yüksek olan pencereler seçilmelidir. Akdeniz ikliminde optimizasyonda GIKK değerinin 0,5 ve 0,67 olduğu FBR tipleri yoğun çıkmıştır. Bu durum Badeche ve Bouchahm (2020)'nin Cezayir'in Akdeniz iklimine sahip bir şehirde yaptığı optimizasyonda pencerenin GIKK değerinin optimum 0,5-0,7 değerinde çıktığı sonuç ile benzerlik göstermektedir.

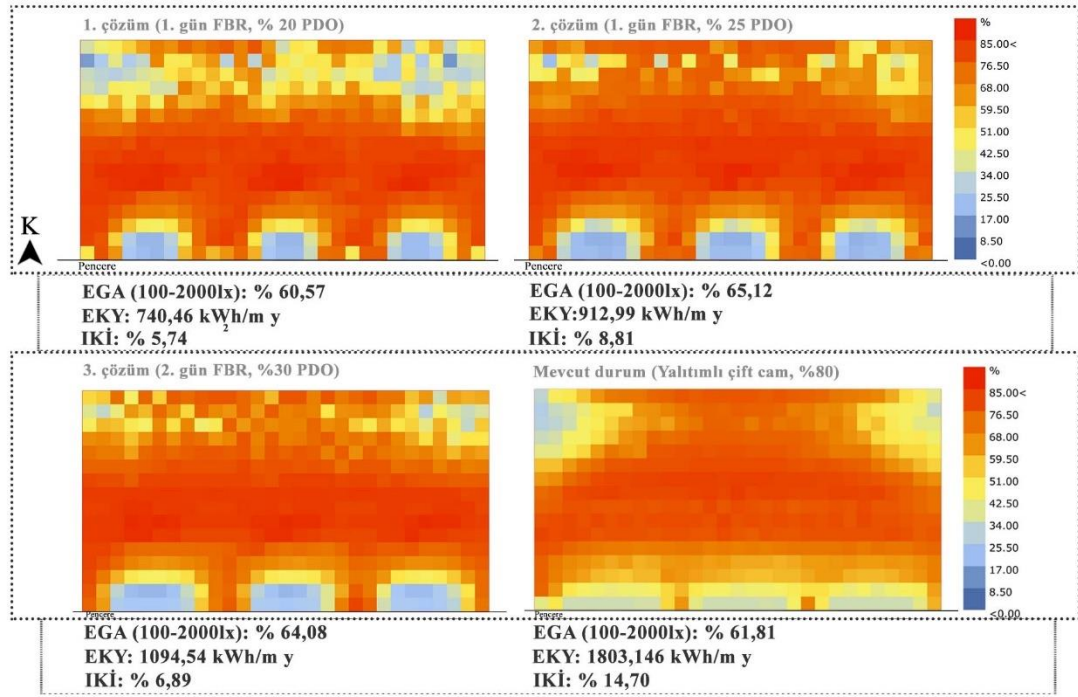
Isıl performans açısından değerlendirildiğinde ise Tablo 5.3'te IKİ değerlerinin ASHRAE tarafından kabul edilen %10'un altında olması durumunu karşıladığı görülmüştür. Tabloda birkaç tane değer %10'un üstünde olduğu optimum çözümlerin çıktığı da olmuştur. Tabloya bakıldığında ısıl konforun iyileştirilmesi için PDO ve ısıtma ayar noktasının doğru ayarlanması gerekmektedir. Doğru ayarlanmadığı takdirde iç mekandaki konfor koşullarının sağlanması için daha fazla enerji kullanılmaktadır. Aynı konfigürasyonlarda alg konsantrasyonunun artması da ısıl konforu artırmaktadır.

Tablo 5.3 Alternatif 1 Pareto optimal çözümler

PDO (%)	Pencere tipi	Duvar tipi-kalınlığı (cm)	Yalıtım kalınlığı (cm)	Soğutma ayar noktası (°C)	Isıtma ayar noktası (°C)	EGA (%)	EKY (kWh/m ² y)	İKİ (%)	Isıtma enerjisi (kWh/m ² y)	Soğutma enerjisi (kWh/m ² y)	Aydınlatma enerjisi (kWh/m ² y)	Uygunluk fonksiyonu (%)
20	1.gün	Gazbeton 25	12	23,5	23,5	60,57	740,46	5,74	667,99	65,57	6,90	64,27
20	1.gün	Gazbeton 25	7	23,5	23,5	60,57	740,99	6,06	668,40	65,69	6,90	63,92
25	1.gün	Gazbeton 25	12	23,5	23,5	65,12	912,99	8,81	828,08	78,60	6,17	61,50
25	1.gün	Gazbeton 25	12	23,5	23	65,12	868,94	10,67	784,12	78,71	6,17	61,11
25	1.gün	Gazbeton 25	7	23,5	23,5	65,19	913,43	9,39	828,50	78,77	6,17	60,89
20	1.gün	Gazbeton 12	8	23,5	22,5	60,57	671,44	12,63	598,82	65,72	6,90	59,70
15	1.gün	Gazbeton 10	12	23,5	23,5	51,81	569,41	3,91	507,95	52,88	8,58	59,39
25	2.gün	Gazbeton 25	7	23,5	23,5	60,51	919,87	5,27	836,00	77,09	6,77	58,04
25	2.gün	Gazbeton 10	8	23,5	23,5	60,51	920,44	5,74	836,44	77,23	6,77	57,52
20	2.gün	Gazbeton 25	12	23,5	23,5	54,62	745,55	4,04	673,57	64,27	7,72	56,94
15	1.gün	Gazbeton 10	5	23,5	23	51,81	544,05	7,34	482,21	53,2	8,58	56,78
20	2.gün	Gazbeton 25	7	23,5	23,5	54,62	746,05	4,23	673,95	64,38	7,72	56,72
30	2.gün	Gazbeton 25	10	23,5	23,5	64,08	1094,54	6,89	998,39	89,96	6,19	55,22
30	1.gün	Gazbeton 25	12	23,5	23,5	66,26	1086,82	12,15	989,40	91,95	5,47	53,34

5.2.2 Alternatif 1 Optimizasyon Çalışması ve Mevcut Durum Karşılaştırması

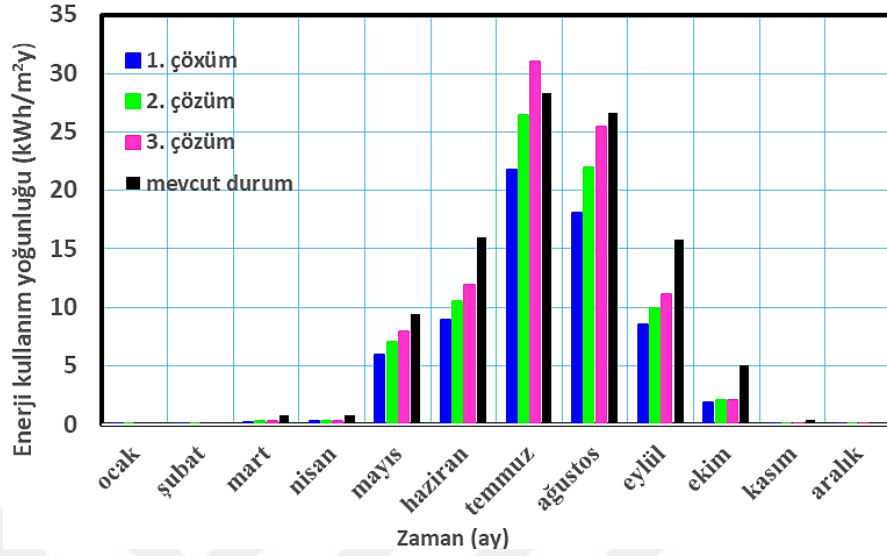
Şekil 5.6’da, Tablo 5.3’te verilen dengelenmiş çözümlerden, en iyi uygunluk değerine sahip çözüm ile mevcut durumu iyileştirecek iki çözüm seçilerek görselleştirilmiş ve mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Mevcut durumda PDO %80 olup IG ise 0,236’dır. Mevcut durumda, mekan içinde aydınlatmanın sorunlu olduğu bölgeler pencere önleri ve pencereye en uzak köşelerdir. Köşelerde EGA %50 ile %30 arasında iken pencere önlerinde ortalama %30’dur. Bu durumu iyileştirmek için yapılan optimizasyonda elde edilen çözümlere göre 2. ve 3. durumda EGA’da iyileşme sağlanırken, en iyi dengelenmiş olan çözümde (1. çözüm) %1,81 daha az güneş ışığından yararlanma süresi bulunmaktadır. Mevcut duruma göre daha düşük bir PDO’ya sahip olmasına rağmen daha fazla ışık almaktadır. 3. çözümde alg konsantrasyonu artarak IG azalmıştır. Fakat mevcut duruma göre %2,22 daha fazla iyileşme sağlanmıştır.



Şekil 5.6 Mevcut durum ve Alternatif 1’in bazı optimal çözümlerinin EGA karşılaştırması

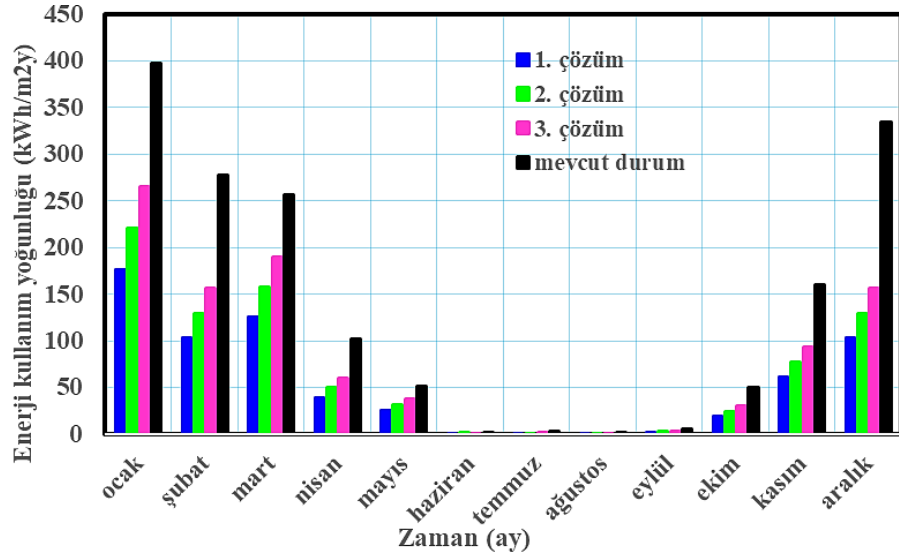
Şekil 5.7’de FBR çözümleri ile mevcut binanın m² başına düşen aylık soğutma yükleri verilmiştir. İlk üç FBR çözümü için PDO arttıkça soğutma yükünün de arttığı görülmektedir. Mevcut durum için güneş ısı kazanımı diğer çözümlerde bütün aylarda daha yüksekken, temmuz ayında 3. çözümün daha fazla olmuştur. Bütün durumlarda mart ayından başlayıp ekim ayının sonuna kadar soğutma yükünün olduğu

görülmektedir. Mevcut durumda PDO en yüksek olmasına rağmen ısı kazanım katsayısının düşük olmasından dolayı soğutma yükünde ciddi bir fark olmamıştır.



Şekil 5.7 Alternatif 1'in bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık soğutma yükü enerjisi

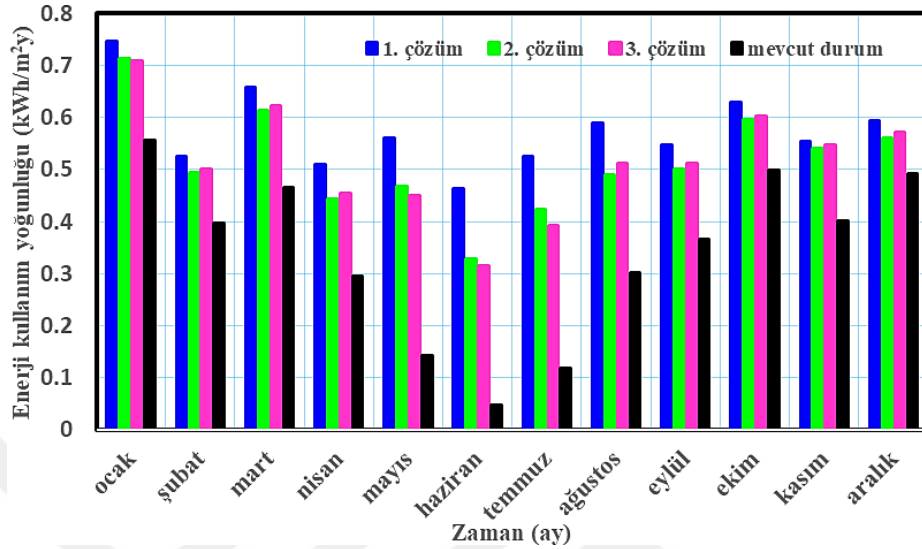
Şekil 5.8'de ise bütün durumların metrekare başına düşen aylık ısıtma yükleri verilmiştir. Mevcut durum soğutmada olduğu gibi ısıtmada da en yüksek değerlere sahiptir. En büyük fark aralık ayında ortaya çıkmıştır. FBR çözümleri arasında PDO'su en az olan 1. çözümün en az enerji harcadığı görülmektedir.



Şekil 5.8 Alternatif 1'in bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık ısıtma enerjisi

Şekil 5.9'da ise FBR ile mevcut durumun aydınlatma yükleri karşılaştırması verilmiştir. Mevcut durumdaki aydınlatma değerleri FBR çözümlerine göre daha

düşüktür. En az EGA değerine sahip 1. çözüm ise en fazla yapay aydınlatma enerjisi kullanımını gerektirmektedir. Aydınlatma yükü açısından FBR çözümleri bir iyileşme sağlayamamıştır.



Şekil 5.9 Alternatif 1'in bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık aydınlatma enerjisi

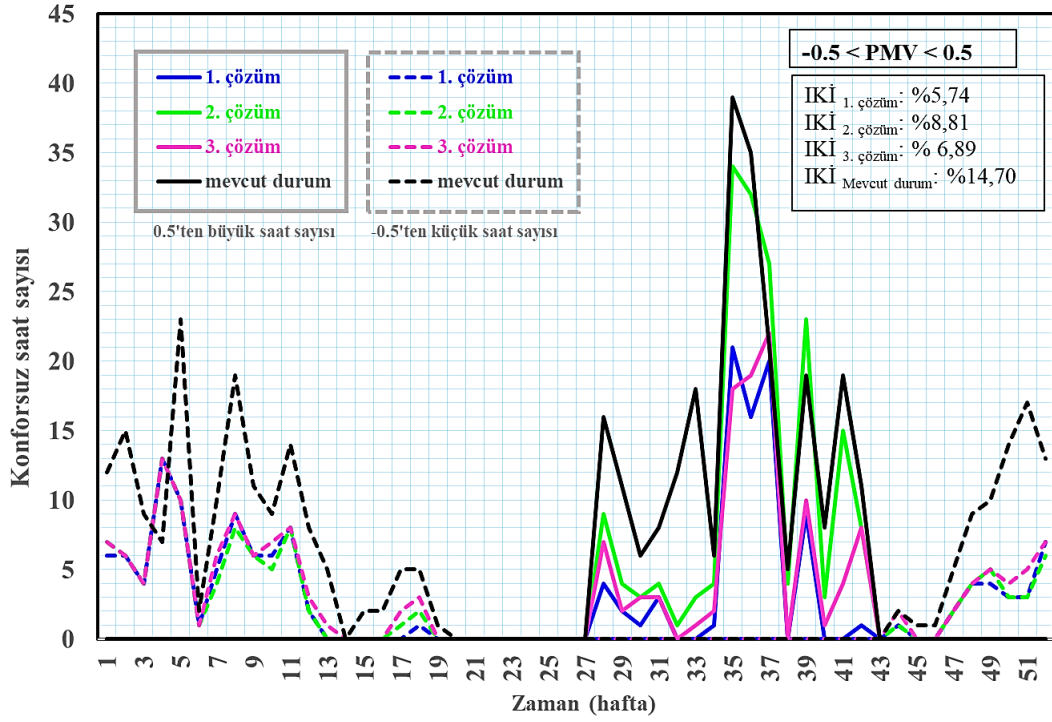
Tablo 5.4'te Alternatif 1'in bazı optimal çözümlerin enerji yükleri açısından mevcut durumla karşılaştırması bulunmaktadır. Isıtma enerjisi açısından mevcut bina cephesinin yerine birinci, ikinci ve üçüncü çözümler yapılırsa ısıtma yüklerinde sırasıyla %39,37; %49,63 ve %39,27 iyileştirme olmaktadır. Isıtma ve soğutma için harcanan elektrik enerjisinde kayda değer bir iyileşme sağlanırken, aydınlatma yükünde sağlanamamıştır.

Tablo 5.4 Alternatif 1'in bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun enerji yükleri karşılaştırması

	PDO (%)	FBR tipi	Isıtma enerjisi (kWh/m²y)	İyileştirme (%)	Soğutma enerjisi (kWh/m²y)	İyileştirme (%)	Aydınlatma enerjisi (kWh/m²y)	İyileştirme (%)
Mevcut durum	80	Çift cam	1644		103.14		4.08	
1. alternatif	20	1.gün	667,99	-39,37	65,57	-36,40	6,90	+40,86
	25	1.gün	828,08	-49,63	78,60	-23,79	6,17	+33,87
	30	2.gün	998,39	-39,27	89,96	-12,77	6,19	+34,08

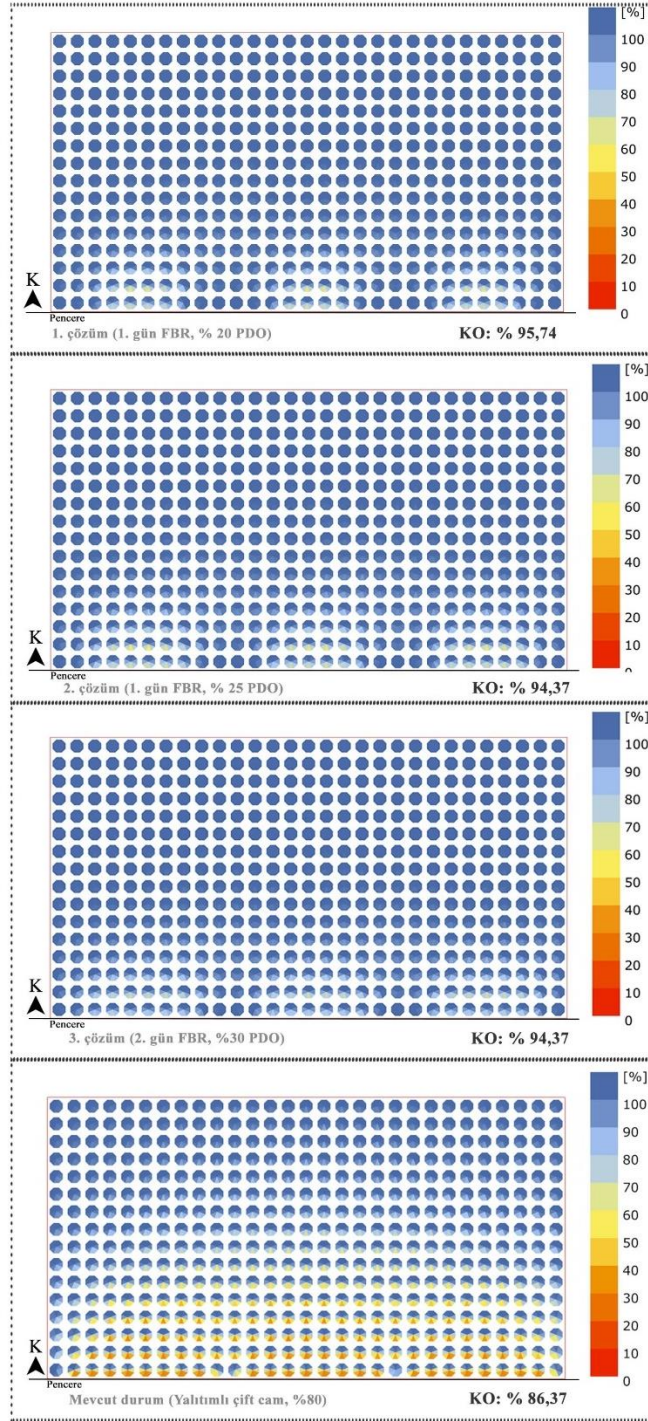
Isıl performans açısından değerlendirildiğinde ise, birinci, ikinci, üçüncü ve mevcut durumun ısıl konfor ihlal değerleri sırasıyla, %5,74; %8,81; %6,69 ve %14,70'tir. Mevcut durumun İKİ'si ASHRAE tarafından belirlenen konforsuzluk eşik değerinin üzerinde kalmaktadır. Şekil 5.10'da 0.5'ten büyük olan konforsuz saatler ve -0.5'ten

küçük olan saatlerin haftalık değerlendirmesi verilmiştir. Mevcut durumda kış aylarında en fazla 5. haftada 24 saate yakın konforsuz zaman mevcutken, 35. haftada 40 saate yakın konforsuz zaman bulunmaktadır. Yılda toplam konforsuz geçirilen saat sayısı 1. çözüm için 179 saat, 2. çözüm için 275 saat, 3. çözüm için 215 saat ve mevcut durum ise 465 saattir. Önerilen cephe ile İKİ’de de iyileşme sağlanmaktadır.



Şekil 5.10 Alternatif 1'in bazı optimal çözümler ile mevcut durumun konforsuz saat sayısı analizi.

Ek fayda sağlamak amacıyla, iç mekanda fazla güneşliği sebebiyle parlamalara neden olabilecek rahatsızlık durumuna FBR'nin etkisi incelenmiştir. Şekil 5.11'de iç mekanda bir yılda kullanım saatleri içinde görüş yönlerine bağlı olarak parlamanın olmadığı değerler verilmiştir. Güneşliği kamaşma olasılığının %45'ten küçük olduğu durum çizilmiştir. Mevcut durumda yıllık kullanım saatinin %86,37'si kadar parlamadığı görülürken, FBR cepheleriyle bu durum oldukça iyileştirilmiştir. En iyi durum sırasıyla birinci, üçüncü ve ikinci çözümdür.



Şekil 5.11 Mevcut durum ve Alternatif 1'in bazı optimal çözümlerin iç mekandaki kamaşmaya etkisi

FBR'de alg üretimine bağlı elde edilen enerji miktarı ve gereksinim duyulan enerjinin ne kadarını karşılayabileceği Tablo 5.5'te verilmiştir. Yıllık EKY ile biyokütleden üretilen enerji miktarı karşılaştırıldığında %33,34- 96,28 arasında enerji ihtiyacını karşıladığı bulunmuştur. Ayrıca bazı çözümlerde binanın ihtiyacından daha fazla enerji üretildiği de görülmüştür.

Tablo 5.5 Alternatif 1 Biyokütleden enerji üretimi

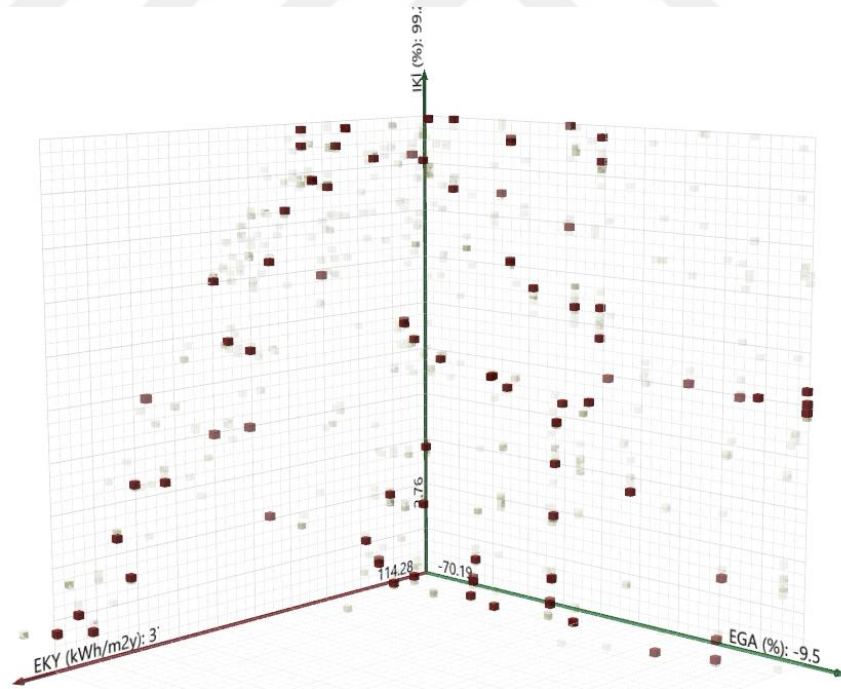
PDO (%)	V (dm ³)	Pencere tipi	m (kg)	Güne bağlı üretilen alg miktarı (kg/m ³)	Algden elde edilen yağ esaslı yıllık enerji (kWh/y)	Birim alan başına elde edilen enerji (kWh/m ² y)	EKY (kWh/m ² y)	Karşılanan enerji miktarı (%)
20	2736	1.gün	1,41	0,86	14490,18	369,65	740,46	49,92
20	2736	1.gün	1,41	0,86	14490,18	369,65	740,99	49,89
25	3180	1.gün	1,64	0,86	19574,74	499,36	912,99	54,69
25	3180	1.gün	1,64	0,86	19574,74	499,36	868,94	57,47
25	3180	1.gün	1,64	0,86	19574,74	499,36	913,43	54,67
20	2736	1.gün	1,41	0,86	14490,18	369,65	671,44	55,05
15	1960,8	1.gün	1,01	0,86	7442,32	189,86	569,41	33,34
25	3180	2.gün	3,19	1,67	38011,42	969,68	919,87	105,41
25	3180	2.gün	3,19	1,67	38011,42	969,68	920,44	105,35
20	2736	2.gün	2,74	1,67	28137,92	717,80	745,55	96,28
15	1960,8	1.gün	1,01	0,86	7442,32	189,86	544,05	34,90
20	2736	2.gün	2,74	1,67	28137,92	717,80	746,05	96,21
30	4116	2.gün	4,12	1,67	63681,10	1624,52	1094,54	148,42
30	4116	2.gün	4,12	1,67	63681,10	1624,52	1094,86	148,38
30	4116	1.gün	2,12	0,86	32793,86	836,58	1086,82	76,97

5.3 Alternatif 2 Optimizasyonu

Alternatif 2’de mevcut cephe konfigürasyonunda pencerelerin yerine içinde %80’i alg ortamı ve %20’si hava olan FBR’nin entegre edilmesi önerisi sunulmuştur. Bu FBR tipi, 1. alternatifteki tamamı alg olan ortama göre daha gerçekçi bir durumdur. Çünkü FBR’nin fiziksel uygulaması bu şekilde olacaktır. Octopus ile yapılan optimizasyonda 30 nesil 50 birey ayarlanıp, 28. nesilde kararlı noktaya ulaşılmıştır. Optimizasyon yaklaşık 60 saat sürmüştür.

5.3.1 Alternatif 2 Sonuçları

Şekil 5.12’de çözüm uzayı içindeki optimal çözümler gösterilmiştir. Optimizasyon sonucunda EGA değerleri %9,28- 70,28 arasında ve EKY değerleri 113,20- 4038,82 kWh/m²y arasında değişirken IKİ değerleri ise %2,69- 99,28 arasında değişmektedir. Pareto optimal çözümler Tablo 5.6’da verilmiş olup pareto optimal çözümler arasında uygunluk fonksiyonu hesaplanmasıyla amaca yönelik dengeli çözümler seçilerek listelenmiştir.



Şekil 5.12 Alternatif 2 optimal çözümler ve çözüm uzayı

Optimum çözümlere bakıldığında 1. Alternatifteki FBR tipi ile pencere duvar oranları benzer çıkmıştır. 1. ve 2. Gündeki FBR için PDO %15 ile %30 arasında değişmektedir. Optimal çözümler içindeki en yüksek EGA değerine (%70,16) sahip

çözüme bakıldığında en yüksek PDO'ya ve en yoğun konsantrasyondaki FBR'ye sahiptir. Ancak enerji tüketimi çok fazla olduğu için uygunluk fonksiyonunda istenilen değerin çok altında kalmıştır. Aynı şekilde EGA değeri %69,66 olan çözümün IKİ %10'un altında olmasına rağmen enerji tüketimi oldukça fazladır. Bu durumlar için PDO arttıkça iç mekandaki ısı konforu sağlanması için enerji tüketiminin de arttığı söylenebilir. Optimal çözümler içindeki EKY (399,17 kWh/m²y) ve IKİ (%2,69) değeri en düşük olan çözüme bakıldığında düşük PDO'ya sahip olmasından dolayı EGA'da istenilen değeri sağlayamadığı görülmüştür. Günışığından yeterli derecede yararlanılamadığı için aydınlatma için harcanan elektrik enerjisinin de yüksek olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak enerji tüketimini en aza indirirken daha küçük pencere boyutları, görsel konforu en üst düzeye çıkarırken daha büyük pencere boyutları gibi belirgin boyutlandırma çelişkileri ortaya çıkmaktadır. Bu durumda uygunluk fonksiyonuna göre tasarımı belirlemek daha doğru seçimler yapmayı mümkün kılmaktadır.

Isıtma-soğutma ayar noktası değerlerine bakıldığında ısıtma ayar noktası tek tip (23,5°C) çıkarken, soğutma ayar noktası ise 23- 23,5°C arasında değişmektedir. Duvar tipi olarak 1. Alternatifte tek tip gazbeton çıkarken, 2. Alternatifte ısı kapasitesi daha yüksek olan tuğla daha yoğunluklu çıkmıştır. Duvar kalınlığı ise yine 1. Alternatifte göre daha ince kalınlıklar yoğunluktadır. Yalıtım kalınlıkları ise 3-10 cm arasında değişirken çoğunlukla 3 cm'lik taş yünü çıkmıştır.

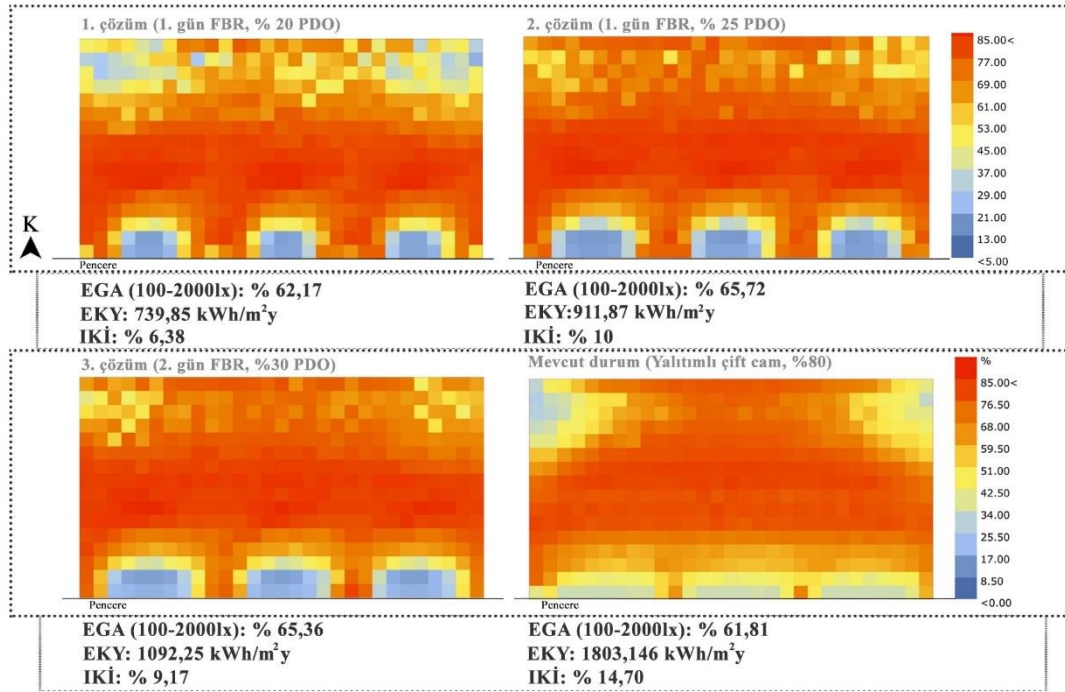
IKİ değerlerine bakıldığında ise ASHRAE'nin önerdiği “%10'dan küçük olmalıdır” a uymaktadır.

Tablo 5.6 Alternatif 2 pareto optimal çözümler

PDO (%)	Pencere tipi	Duvar tipi-kalınlığı (cm)	Yalıtım kalınlığı (cm)	Soğutma ayar noktası (°C)	Isıtma ayar noktası (°C)	EGA (%)	EKY (kWh/m ² y)	İKİ (%)	Isıtma enerjisi (kWh/m ² y)	Soğutma enerjisi (kWh/m ² y)	Aydınlatma enerjisi (kWh/m ² y)	Uygunluk fonksiyonu (%)
20	1.gün	Gazbeton 10	4	23,5	23,5	62,18	739,85	6,38	666,98	65,65	7,23	67,07
20	1.gün	Tuğla 17,5	3	23,5	23,5	62,18	741,43	7,44	668,07	66,13	7,23	65,93
20	1.gün	Tuğla 13,5	10	23	23,5	62,18	704,35	9,17	631,37	65,75	7,23	65,08
20	1.gün	Tuğla 15	8	23	23,5	62,18	705,45	9,36	632,27	65,94	7,23	64,86
25	1.gün	Gazbeton 17,5	3	23,5	23,5	65,72	911,87	10	827,23	78,71	5,94	64,76
25	2.gün	Tuğla 25	8	23,5	23,5	62,96	916,90	6,25	832,32	77,55	7,03	63,98
20	2.gün	Tuğla 17,5	3	23,5	23,5	58,72	744,63	4,78	672,13	64,76	7,74	62,92
25	2.gün	Tuğla 25	3	23	23,5	62,96	873,21	8,88	788,61	77,56	7,04	62,36
25	2.gün	Tuğla 25	3	23,5	23,5	62,96	920,14	7,79	834,94	78,16	7,04	62,31
15	1.gün	Tuğla 17,5	8	23,5	23,5	54,96	569,18	4,33	507,77	52,90	8,56	61,69
30	2.gün	Tuğla 25	5	23,5	23,5	65,37	1092,26	9,17	995,72	90,65	5,89	60,45
15	1.gün	Tuğla 17,5	10	23	23,5	54,96	544,86	8,47	482,83	53,53	8,51	58,28
30	1.gün	Tuğla 17,5	5	23	23,5	65,99	1032,55	15,26	934,92	92,18	5,45	56,70
15	2.gün	Tuğla 15	8	23,5	23,5	50,97	571,82	3,62	510,78	52,01	9,04	55,79
10	1.gün	Tuğla 15	7	23,5	23,5	44,43	399,17	2,69	347,93	40,52	10,72	50,41
90	9.gün	Gazbeton 10	5	23,5	23,5	69,66	3782,49	9,74	3522,09	254,31	6,08	-1,64
95	9.gün	Gazbeton 10	5	23,5	23,5	70,16	4038,38	11,15	3763,50	269,35	5,53	-8,78

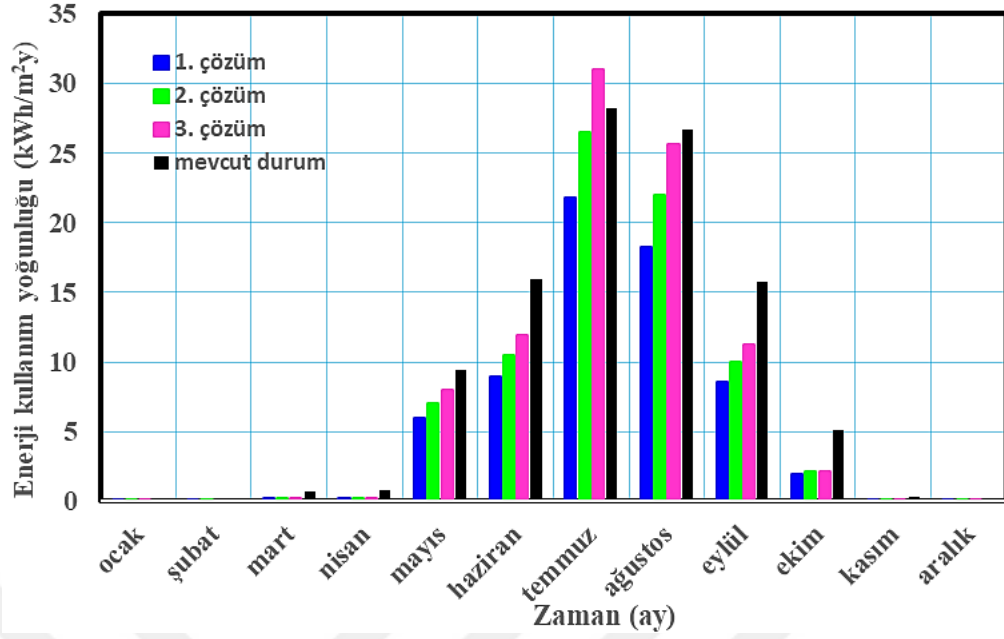
5.3.2 Alternatif 2 Optimizasyon Çalışması ve Mevcut Durum Karşılaştırması

Mevcut durumla karşılaştırmasına bakıldığında Şekil 5.13'te, Tablo 5.6'da verilen dengelenmiş çözümlerden, en iyi uygunluk değerine sahip çözüm ile mevcut durumu iyileştirecek bazı çözümler seçilerek görselleştirilmiş ve mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Mevcut duruma göre seçilmiş çözümler ile EGA açısından olumlu yönde iyileştirmeler sağlanmıştır. İkinci ve üçüncü çözümde iç mekandaki dağılım diğer iki duruma göre daha iyi görünmektedir. İlk üç çözümde PDO arttıkça pencere önündeki yıl içindeki aydınlatmanın yetersiz olduğu alanların da arttığı görülmüştür. Ancak PDO arttıkça ışık geçirgenliği daha küçük FBR tipleri seçildiğinde bu durum dengelenebilmektedir.



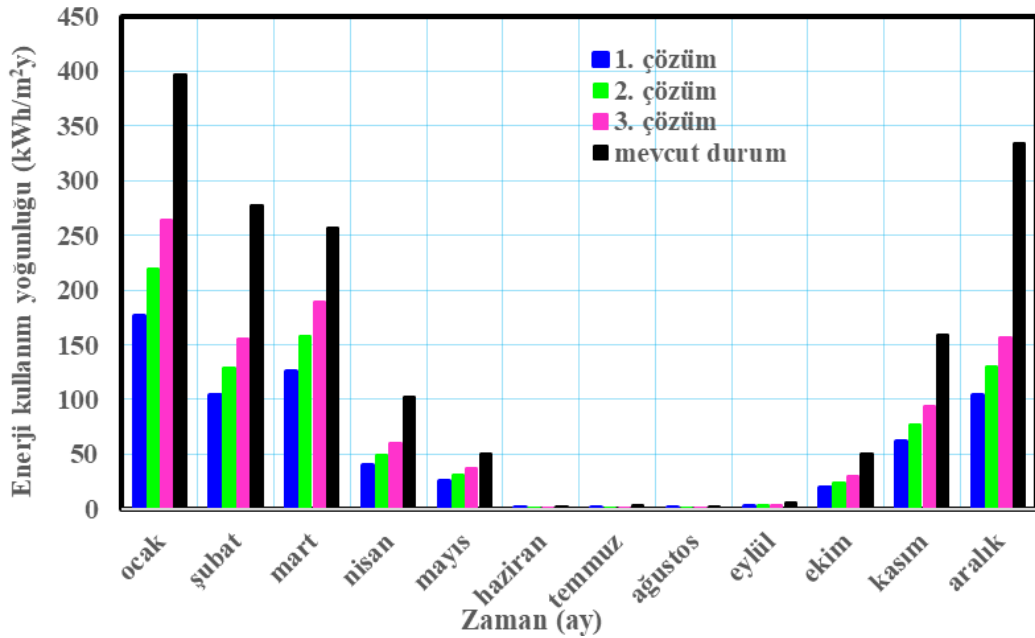
Şekil 5.13 Mevcut durum ve alternatif 2'nin bazı optimal çözümlerin EGA karşılaştırması

Şekil 5.14'te mevcut durum ve çözümlerin yıl içinde metrekare başına düşen soğutma için kullanılan elektrik enerjisinin grafiği verilmiştir. Bütün çözümler için harcanan enerji mayıs ve ekim ayları içinde olurken mevcut durum için az da olsa mart ve nisan aylarında da enerji harcandığı görülmektedir. Temmuz ayı en çok enerji harcanan ay olmakla birlikte üçüncü çözümün mevcut durumdaki pencereden daha fazla enerji harcadığı görülmektedir. Ancak genel olarak optimal çözümlerin mevcut duruma göre enerji tüketiminde daha az olduğu açıkça ortadadır.



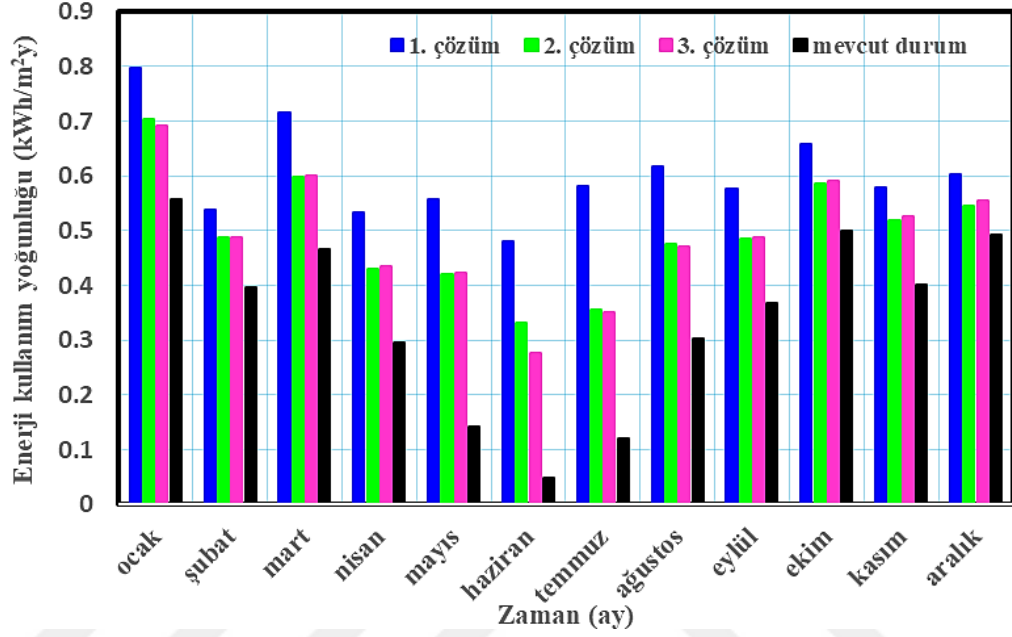
Şekil 5.14 Alternatif 2'nin bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık soğutma yükü enerjisi

Şekil 5.15'te ise FBR çözümleri ile mevcut durumun aylık ısıtma yükü enerjisi grafiği verilmiştir. Mevcut durum için soğutma yükünde olduğu gibi ısıtma yükünde de en fazla enerji harcanan durum olduğu bulunmuştur. Bütün durumlar arasındaki en fazla fark aralık ayında çıkmakla birlikte en az fark ise ekim ayında çıkmıştır.



Şekil 5.15 Alternatif 2'nin bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık ısıtma yükü enerjisi

Şekil 5.16’da aydınlatma için harcanan elektrik enerjisi grafiği verilmiştir. Aydınlatma için en az kullanılan enerji mevcut durumda olduğu görülürken FBR çözümleri içinde 1. çözüm en fazla enerji kullanan durum, diğer iki çözüm için de neredeyse aynı değerlerin olduğu bulunmuştur. Aydınlatma yükü açısından FBR çözümleri tarafından bir iyileşme sağlanamadığı görülmüştür.



Şekil 5.16 Alternatif 2’nin bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık aydınlatma yükü enerjisi

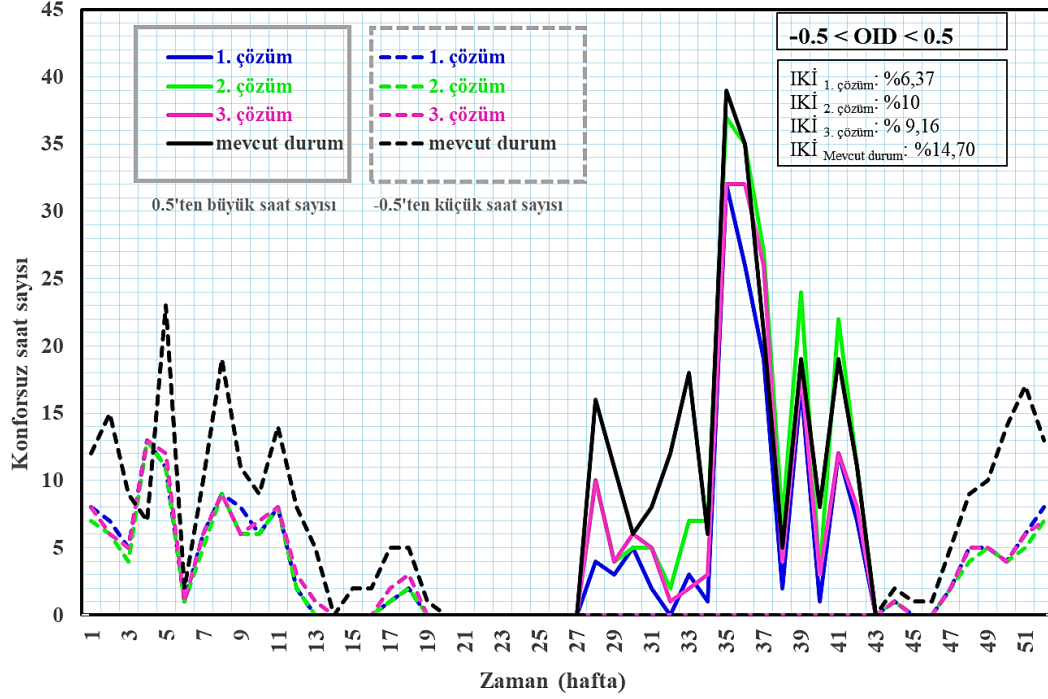
Tablo 5.7’de, 2. alternatif ve mevcut durum için enerji yükleri açısından karşılaştırmaları verilmiştir. 1. Alternatif gibi 2. Alternatifte de kayda değer iyileştirmeler gerçekleşmiştir.

Tablo 5.7 Alternatif 2’nin bazı optimal çözümleri enerji yükleri karşılaştırması

	PDO (%)	FBR tipi	Isıtma enerjisi (kWh/m² y)	İyileştirme (%)	Soğutma enerjisi (kWh/m² y)	İyileştirme (%)	Aydınlatma enerjisi (kWh/m² y)	İyileştirme (%)
Mevcut durum	80	Çift cam	1644		103.14		4.08	
Alternatif 2	20	1.gün	666,99	-59,42	65,65	-36,34	7,23	+77,20
	25	1.gün	827,23	-49,62	78,71	-23,87	5,94	+45,58
	30	2.gün	995,72	-39,43	90,65	-12,10	5,89	+44,36

Isıl performans açısından değerlendirildiğinde ise, birinci, ikinci, üçüncü ve mevcut durumun ısıl konfor ihlal değerleri sırasıyla, %6,37; %10; %9,16 ve %14,70’tir. Şekil 5.17’de, mevcut durumda konforsuz olarak belirlenen haftalar içinde en yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. 5. ve 6. haftalarda mevcut durum için haftalık

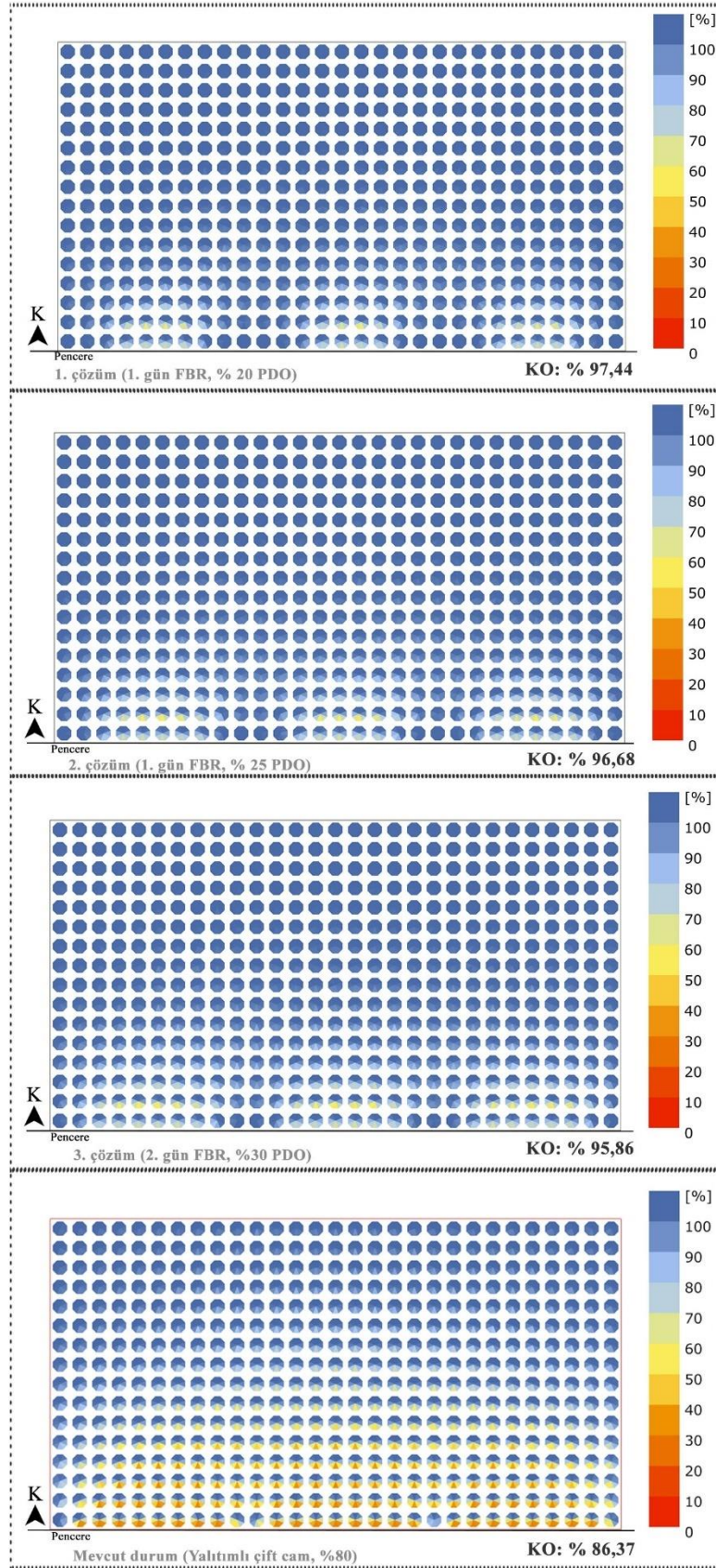
çalışma saatlerinin üçte birinden daha fazla soğuk hissedilmiş olup iç mekanın konforlu koşullara getirilebilmesi için ısıtma enerjisinin fazla kullanıldığı zamandır. 35 ve 37. haftalar içinde ise 1. çözüm ve mevcut durum neredeyse birbirine çok yakın olup 40 saate yakın konforsuz saat içermektedir. İç mekanın konforlu koşullara getirilmesi için iklimlendirme sistemlerinin daha fazla aktif olduğu zamanlardır.



Şekil 5.17 Alternatif 2'nin bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun konforsuz saat analizi

Alternatif 2 FBR cephesinin iç mekandaki kamaşmaya etkisi incelendiğinde, Şekil 5.18'de görüldüğü gibi pencere önlerinde 1. çözümden 3. çözüme kadar PDO arttıkça kamaşmanın da arttığı görülmüştür. Mevcut durumda yıllık kullanım saatinin %86,37'si kadar parlamadığı görülürken, FBR cepheleriyle bu durum sırasıyla %11,07; %10,31ve %9,49 iyileştirilmiştir.

Tablo 5.8'de FBR'de üretilen biyokütleden elde edilen biyoenerjinin binanın enerjisinin ne kadarını karşıladığı verilmiştir. %80 hacimden elde edilen enerji 1. alternatife göre daha düşüktür. Karşılanan enerji miktarı %14,82 ile %95,19 arasında değişmektedir.



Şekil 5.18 Mevcut durum ve alternatif 2'nin bazı optimal çözümlerin iç mekandaki kamaşmaya etkisi

Tablo 5.8 Biyokütleden enerji üretimi

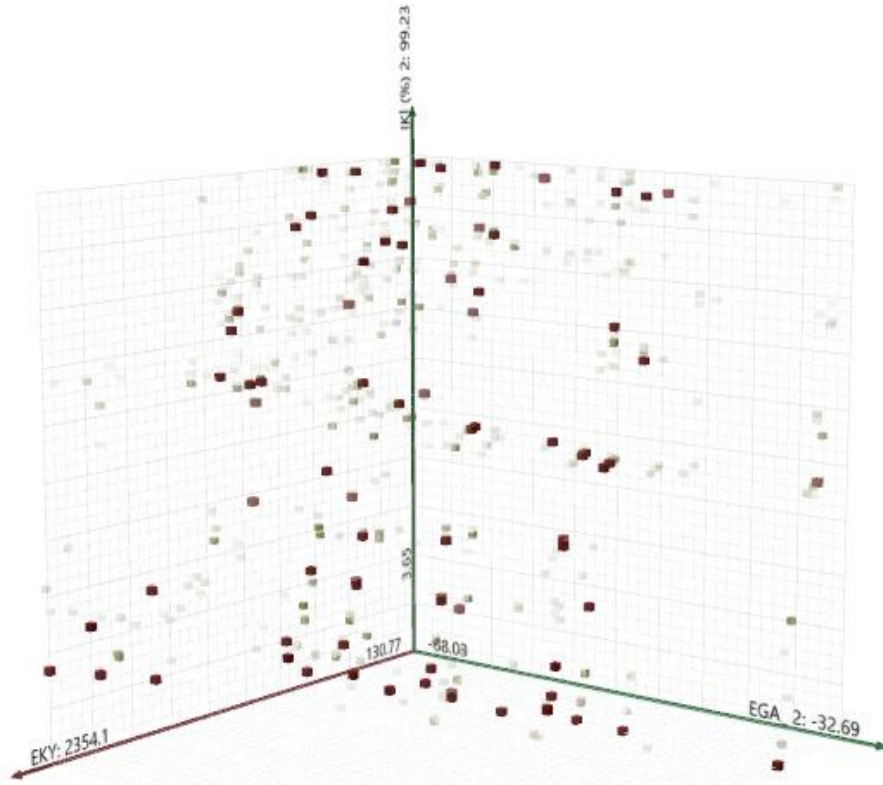
PDO [%]	V (dm ³)	Pencere tipi	m (kg)	Bir günde üretilen alg miktarı (kg/m ³)	Algden elde edilen yağ esaslı yıllık enerji (kWh/y)	Birim alan başına üretilen enerji (kWh/m ² y)	EKY (kWh/m ² y)	Karşılanan enerji miktarı (%)
20	2198,40	1.gün	1,13	0,86	9355,25	238,65	739,85	32,26
20	2198,40	1.gün	1,13	0,86	9355,25	238,65	741,43	32,19
20	2198,40	1.gün	1,13	0,86	9355,25	238,65	704,35	33,88
20	2198,40	1.gün	1,13	0,86	9355,25	238,65	705,45	33,83
25	2574,00	1.gün	1,33	0,86	12825,04	327,17	911,87	35,88
25	2574,00	2.gün	2,58	1,67	24904,45	635,32	916,90	69,29
20	2198,40	2.gün	2,20	1,67	18166,58	463,43	744,63	62,24
25	2574,00	2.gün	2,58	1,67	24904,45	635,32	873,21	72,76
25	2574,00	2.gün	2,58	1,67	24904,45	635,32	920,14	69,05
15	1651,20	1.gün	0,85	0,86	5277,66	134,63	569,18	23,65
30	3292,80	2.gün	3,30	1,67	40755,90	1039,69	1092,26	95,19
15	1651,20	1.gün	0,85	0,86	5277,66	134,63	544,86	24,71
30	3292,80	1.gün	1,70	0,86	20988,07	535,41	1032,55	51,85
15	1651,20	2.gün	1,65	1,67	10248,47	261,44	571,82	45,72
10	1094,40	1.gün	2,12	0,86	32793,86	59,14	399,17	14,82

5.4 Alternatif 3 Optimizasyonu

Alternatif 3'te mevcut cephe konfigürasyonunda pencerelerin yerine içinde tamamı alg ortamı olan FBR ve içinde hava olan çift camlı pencerenin entegre edilmesi önerisi sunulmuştur. Bir FBR ile bir çift camlı pencerenin yan yana dizilmesi ile iç mekandaki performansların etkisi incelenmiştir. Octopus ile yapılan optimizasyonda 30 nesil 50 birey ayarlanıp, 25. nesilde kararlı duruma ulaşılmıştır. Optimizasyon yaklaşık 52 saat sürmüştür.

5.4.1 Alternatif 3 Sonuçları

Şekil 5.19'da çözüm uzayı içindeki optimal çözümler gösterilmiştir. Optimizasyon sonucunda EGA değerleri %32,25- 68,08 ve EKY değerleri 130,77- 3283,18 kWh/m²y arasında değişirken IKİ değerleri ise %3,65- 99,29 arasında değişmektedir. Pareto optimal çözümler Tablo 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.19 Alternatif 3 optimal çözümler ve çözüm uzayı

Tablo 5.9'a bakıldığında 1. ve 2. gün alg konsantrasyonuna sahip FBR tiplerinde PDO'nun %15-30 arasında, 3. gün alg konsantrasyonundaki FBR tipinde ise %20-30 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu alternatif ile diğer iki alternatife göre 3. gün FBR'nin kullanılma olasılığı ortaya çıkmıştır. Uygunluk fonksiyonuna göre en iyi iki değerine bakıldığında optimum PDO'nun %25 olduğu bulunmuştur. Ayrıca alg konsantrasyonun artması EGA değerini azaltsa da konforsuzluk saatlerinin azalmasını sağlamıştır.

Optimal çözümler arasındaki en yüksek EGA değeri (%68,03), %60 PDO'da 9. gündeki alg konsantrasyonuna sahip FBR'de olmuştur. Ancak hem EKY değerinin hem de IKİ değerinin istenilen değerden çok yüksek olması uygunluk fonksiyonuna göre en iyi seçeneklerden biri olmamasına neden olmuştur. Pencere duvar oranının yüksek olması güneş ışınımının etkisinin yanı sıra ısı transferinin de artmasına yol açtığı için, ısıtma ve soğutma için harcanan enerjinin de artmasına neden olmuştur. EGA'nın artması ile yapay aydınlatma için harcanan enerjinin azalmasını da sağlamıştır.

IKİ değerlerine bakıldığında %10'nun altında olan değerler olmasına rağmen %10'un üstünde çıkan değerler de çok sayıdadır. Bunda PDO'nun yüksek olması ve ısıtma ayar noktasının farklı olması etkili olmuştur. Ayrıca Tablo 5.9'dan da anlaşılacağı üzere PDO arttıkça GIKK'sı düşük olan FBR tiplerinin seçilmesi ile mekanın aşırı ısınması önlenir ve konforsuzluk saatlerinin azalması sağlanır. En düşük IKİ değerine (%3,65) bakıldığında ise EGA için istenilen değerin çok altında kaldığı için iyi bir seçenek olmadığı görülmüştür. PDO'nun 1. gün FBR için %15-20, 2. gün ve 3. gün FBR için %20-25 seçilmesi konfor koşulları açısından da iyi olmasını sağlamaktadır.

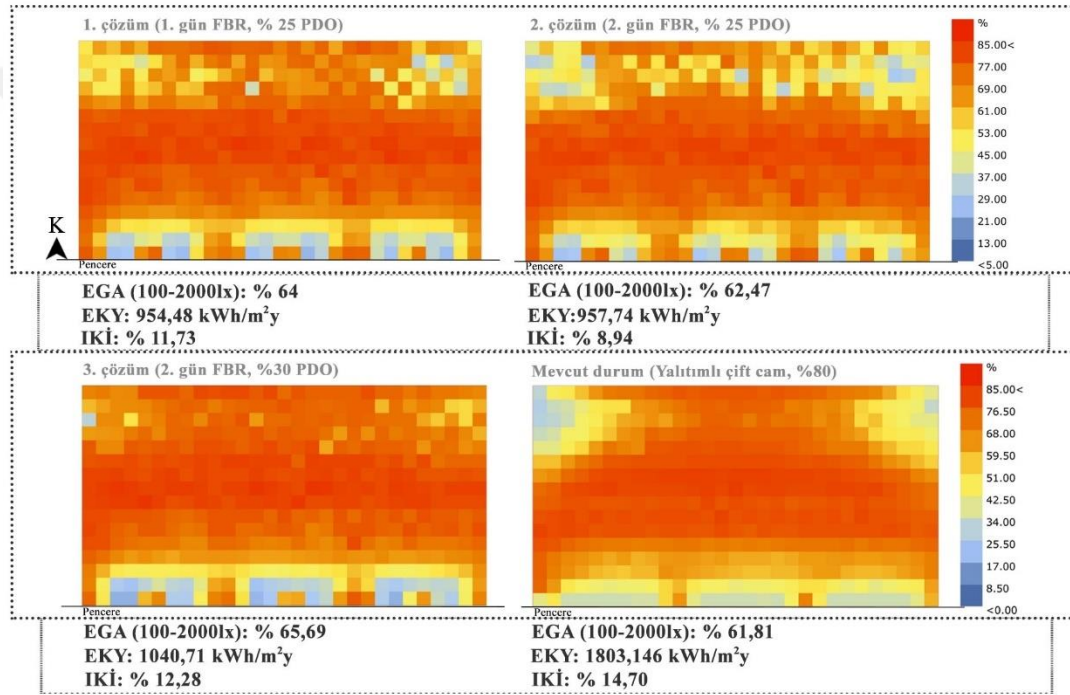
EKY ve IKİ değerlerini etkileyen diğer parametrelere bakıldığında duvar tipikalınlığında çeşitlilik görülmektedir. Yalıtım kalınlığı yoğunluklu olarak 10 ve 12 cm arasında değişmektedir. Isıtma ve soğutma ayar noktaları için neredeyse tek değer (23,5°C) çıkmıştır.

Tablo 5.9 Alternatif 3 pareto optimal çözümler

PDO (%)	Pencere tipi	Duvar tipi-kalınlığı (cm)	Yalıtım kalınlığı (cm)	Soğutma ayar noktası (°C)	Isıtma ayar noktası (°C)	EGA (%)	EKY (kWh/m ² y)	İKİ (%)	Isıtma enerjisi (kWh/m ² y)	Soğutma enerjisi (kWh/m ² y)	Aydınlatma enerjisi (kWh/m ² y)	Uygunluk fonksiyonu (%)
25	1.gün	Gazbeton 19	10	23,5	23,5	64,00	954,38	11,73	867,59	80,28	6,50	54,16
25	2.gün	Gazbeton 19	10	23,5	23,5	62,47	957,74	8,94	871,08	79,54	7,13	52,70
30	2.gün	Tuğla 25	10	23,5	23,5	65,69	1140,71	12,28	1041,26	92,98	6,48	52,39
30	1.gün	Gazbeton 19	12	23,5	23,5	65,87	1136,34	15,06	1036,15	93,92	6,27	50,14
20	1.gün	Gazbeton 17,5	12	23,5	23,5	58,65	773,59	7,47	698,89	66,88	7,81	49,39
30	3. gün	Tuğla 25	12	23,5	23,5	63,95	1143,61	10,51	1044,16	92,39	7,06	49,30
20	1.gün	Gazbeton 17,5	12	23,5	23	58,65	736,13	9,84	661,36	66,96	7,81	48,10
25	3. gün	Tuğla 17,5	10	23,5	23,5	59,25	961,06	7,56	874,25	79,08	7,73	45,04
20	2.gün	Gazbeton 19	12	23,5	23,5	56,35	776,11	5,93	701,67	66,21	8,23	44,51
20	1.gün	Tuğla 25	6	23,5	22,5	58,65	701,50	14,87	626,55	67,14	7,81	43,94
15	1.gün	Tuğla 25	12	23,5	23,5	50,62	594,52	4,52	531,48	53,62	9,42	35,72
20	3. gün	Gazbeton 19	6	23,5	23,5	52,15	779,15	5,35	704,52	66,07	8,56	33,27
15	2.gün	Tuğla 25	12	23,5	23,5	48,19	596,92	3,97	533,43	53,24	10,25	29,43
50	9.gün	Gazbeton 19	10	23,5	23,5	66,13	1895,77	15,00	1744,90	144,16	6,71	26,82
60	9.gün	Tuğla 25	10	23,5	23,5	68,03	2354,10	19,78	2174,29	173,74	6,07	12,61
15	9.gün	Tuğla 25	12	23,5	23,5	32,69	604,31	3,65	538,50	52,70	13,12	-13,81

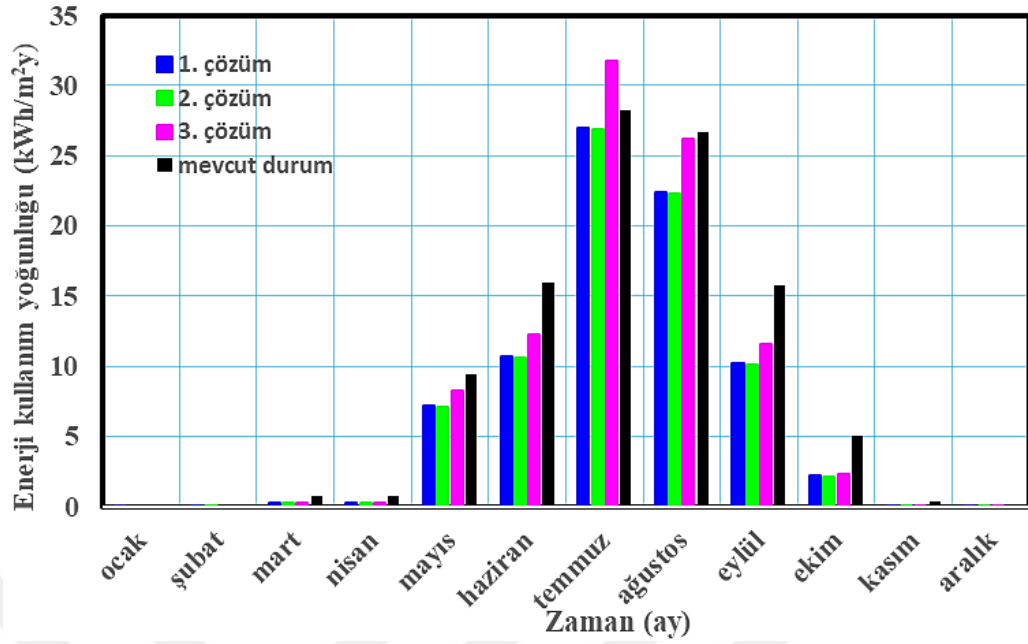
5.4.2 Alternatif 3 Optimizasyon Çalışması ve Mevcut Durum Karşılaştırması

Mevcut durumla karşılaştırırken Tablo 5.9’da verilen dengelenmiş çözümlerden, en iyi uygunluk değerine sahip çözüm ile mevcut durumu iyileştirecek bazı çözümler seçilerek Şekil 5.20’de görselleştirilmiştir. Mevcut duruma göre seçilmiş çözümler ile EGA açısından olumlu yönde iyileştirmeler sağlanmıştır. Aynı PDO’da alg konsantrasyonu arttıkça iç mekana giren günışığının azalmasından dolayı günışığından yararlanma dağılımının da kötüleştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, PDO arttıkça da alg konsantrasyonunun artması içeri giren fazla ışığın filtrelenmesini sağlamaktadır.



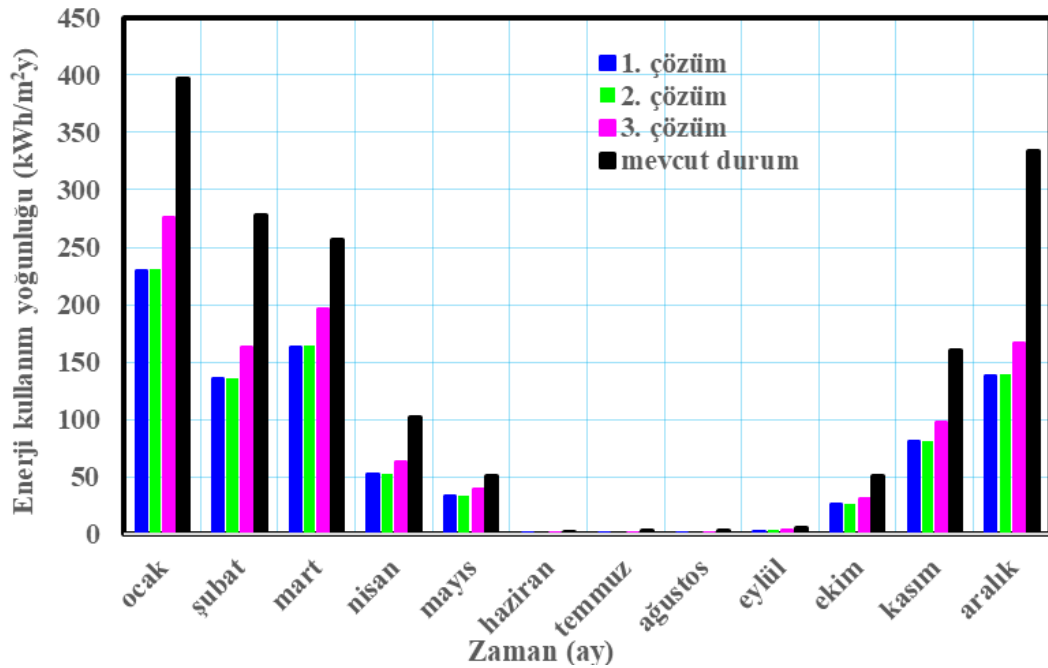
Şekil 5.20 Mevcut durum ve alternatif 3’ün bazı optimal çözümlerin EGA karşılaştırması

Şekil 5. 21’de mevcut durum ile seçilen üç çözümün soğutma için aylık harcanan elektrik enerjisinin grafiği verilmiştir. Bu grafiğe göre yıl bazında ilk iki FBR’li çözüm mevcut duruma göre %22,16 iyileşme sağlamıştır. Temmuz ayında 3. FBR’li çözümün mevcut duruma göre en fazla enerji harcadığı görülmesine rağmen yıl içinde mevcut duruma göre yaklaşık %10 iyileşme sağlamıştır.



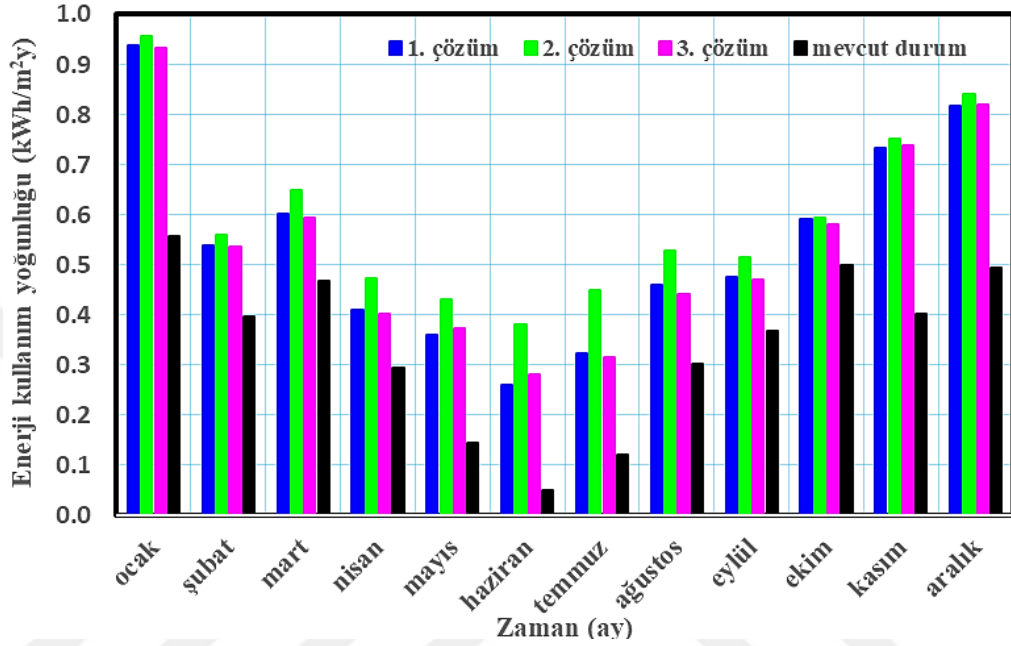
Şekil 5.21 Alternatif 3'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık soğutma yükü enerjisi

Şekil 5. 22'de ise mevcut durum ile seçilen üç çözümün ısıtma için aylık harcanan elektrik enerjisinin grafiği verilmiştir. Bu grafiğe göre FBR'li çözümlerin mevcut duruma göre çok daha iyi seçenek olduğu görülmüştür. FBR'li çözümler ile sırasıyla %47,22; %47,01 ve %36,66 iyileşme sağlanmıştır. En fazla fark aralık ayında olup ilk iki çözüm için %58, üçüncü çözüm için %50 harcanan enerjide azalma olmuştur.



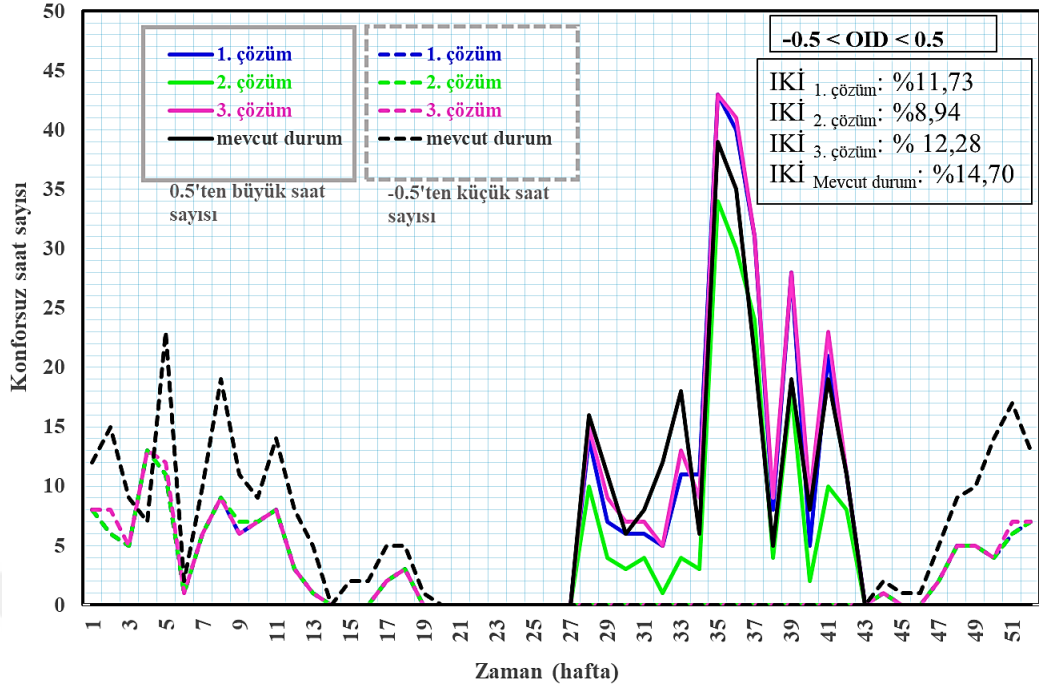
Şekil 5.22 Alternatif 3'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık ısıtma yükü enerjisi

Şekil 5. 23'te mevcut durum ile seçilen üç çözümün yapay aydınlatma için aylık harcanan elektrik enerjisi grafiği verilmiştir. Aydınlatma enerjisinde diğer iki alternatifte olduğu gibi mevcut duruma göre bir iyileşme sağlanamamıştır. Üç FBR'li çözümde sırasıyla enerji tüketiminde %59,28; %74,51 ve %58,62 artış olmuştur.



Şekil 5.23 Alternatif 3'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık aydınlatma yükü enerjisi

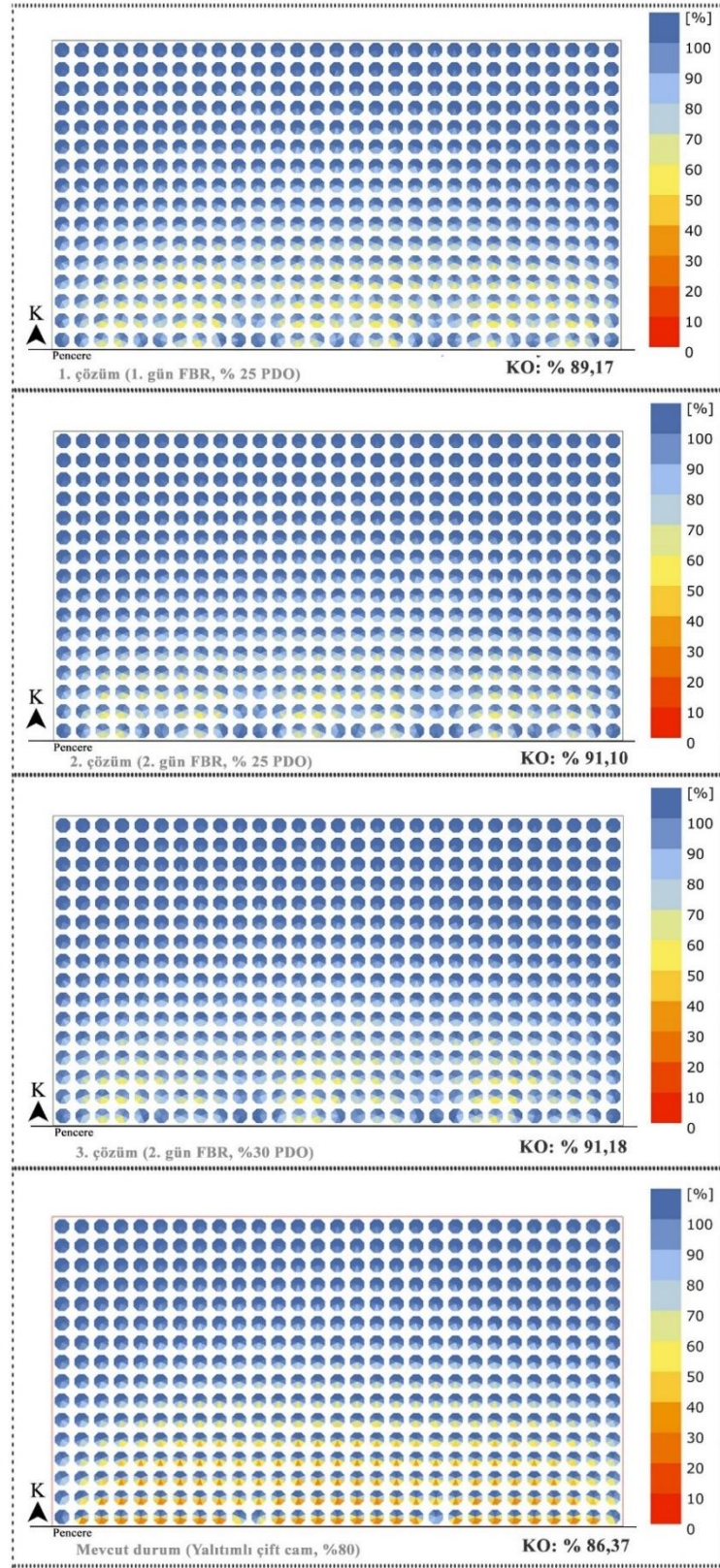
Şekil 5.24'te FBR'li çözümler ile mevcut durumun konforsuz saatler açısından analizi verilmiştir. 0,5'ten büyük konforsuz saatler için birinci ve üçüncü çözümlerde mevcut duruma göre sırasıyla %5 ve %11 artış bulunurken, ikinci çözümde %32 iyileşme sağlanmıştır. -0.5'ten küçük saatler için FBR'li çözümler ile mevcut duruma göre sırasıyla %48,48; %48 ve %46,75 iyileşme sağlanmıştır. Yıl içinde İKİ değerlerinde mevcut duruma kıyasla FBR'li çözümlerde daha iyi sonuçların elde edildiği görüldüğü halde, birinci ve üçüncü çözümlerin yine de ASHRAE'nin önerdiği değerin üstünde kaldığı görülmektedir.



Şekil 5.24 Alternatif 3'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun konforsuz saat analizi

Alternatif 3 FBR cephesinin iç mekandaki kamaşmaya etkisi incelendiğinde, Şekil 5.25'te görüldüğü gibi mevcut duruma kıyasla iç mekandaki kamaşmanın oldukça azaldığı görülmektedir. Aynı PDO'ya sahip ilk iki çözümde alg konsantrasyonun artmasıyla içeri giren ışık filtrelenmiş ve kamaşma azalmıştır. Üçüncü çözümde PDO'nun artmasıyla kamaşma artabileceken alg konsantrasyonunun da artması ile iç mekandaki kamaşma durumunun azalması sağlanmıştır. Mevcut duruma göre sırasıyla %2,82; %4,73 ve %4,81 iyileşme sağlanmıştır.

Tablo 5.10'da biyokütleden elde edilen enerji miktarı gösterilmiştir. Gün geçtikçe biyokütle miktarı arttığı için üretilen enerji de artmaktadır. Birinci günde %7,65-16,02, ikinci günde %14,80- 30,99 üçüncü günde ise %28,49- 43,68 arasında enerjinin karşılandığı görülmüştür. Ayrıca büyük EKY değerlerine sahip çözümlerin enerji tüketim miktarlarından daha fazla enerji üretmiştir. Bu çözümlerin Tablo 5.9'da görüldüğü gibi IKİ değerleri oldukça yüksektir. Üretilen fazladan enerji IKİ değerlerinin ASHRAE'nin önerdiği değerin altına düşürmek için kullanılabilir. Böylece tasarım kararında bu seçeneklerin kullanılabilme ihtimali alg üretimi sayesinde artabilmektedir.



Şekil 5.25 Mevcut durum ve alternatif 3'ün bazı optimal çözümlerin iç mekandaki kamaşmaya etkisi

Tablo 5.10 Biyokütleden enerji üretimi

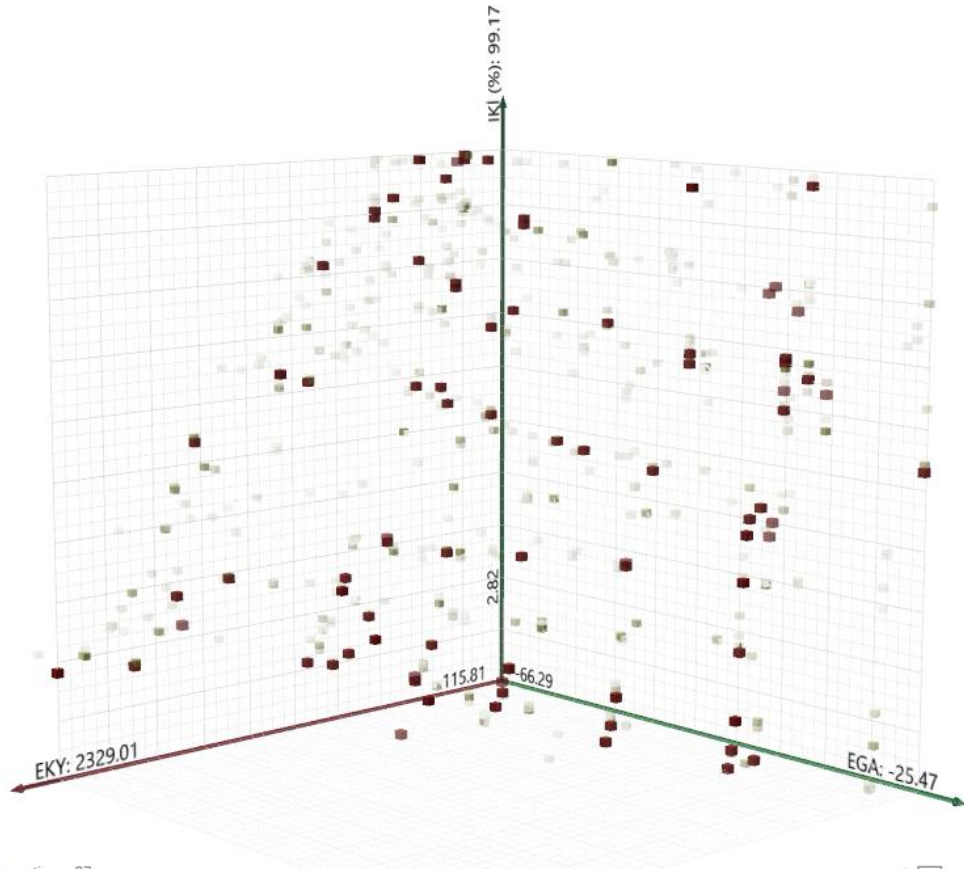
PDO (%)	V (dm ³)	Pencere tipi	m (kg)	Güne bağlı üretilen alg miktarı (kg/m ³)	Algden elde edilen yağ esaslı yıllık enerji (kWh/y)	Birim alan başına elde edilen enerji (kWh/m ² y)	EKY (kWh/m ² y)	Karşılanan enerji miktarı (%)
25	1600	1.gün	0,83	0,86	14866,30	126,41	954,38	13,25
25	1600	2.gün	1,60	1,67	28868,29	245,48	957,74	25,63
30	1920	2.gün	1,92	1,67	41570,33	353,49	1140,71	30,99
30	1920	1.gün	0,99	0,86	21407,48	182,04	1136,34	16,02
20	1280	1.gün	0,66	0,86	9514,43	80,91	773,59	10,46
30	1920	3.gün	2,72	2,36	58746,10	499,54	1143,61	43,68
20	1280	1.gün	0,66	0,86	9514,43	80,91	736,13	10,99
25	1600	3.gün	2,27	2,36	40795,90	346,90	961,06	36,10
20	1280	2.gün	1,28	1,67	18475,70	157,11	776,11	20,24
20	1280	1.gün	0,66	0,86	9514,43	80,91	701,50	11,53
15	960	1.gün	0,50	0,86	5351,87	45,51	594,52	7,65
20	1280	3.gün	1,81	2,36	26109,38	222,02	779,15	28,49
15	960	2.gün	0,96	1,67	10392,58	88,37	596,92	14,80
50	3200	9.gün	9,45	4,92	340196,35	2892,83	1895,77	152,59
60	3840	9.gün	11,34	4,92	489882,75	4165,67	2354,10	176,95
15	960	9.gün	2,83	4,92	30617,67	260,35	604,31	43,08
25	1600	1.gün	0,83	0,86	14866,30	126,41	954,38	13,25

5.5 Alternatif 4 Optimizasyonu

Alternatif 4, alternatif 3'ün çok sayıda pencere olduğu versiyonudur. Bir FBR ile bir çift camlı pencerenin daha küçük genişliklerde bir araya gelmesiyle iç mekandaki performanslara etkisi incelenmiştir. Octopus ile yapılan optimizasyonda 30 nesil 50 birey ayarlanıp, 28. nesilde kararlı duruma ulaşmıştır. Optimizasyon yaklaşık 62 saat sürmüştür.

5.5.1 Alternatif 4 Sonuçları

Şekil 5.26'da çözüm uzayı içindeki optimal çözümler gösterilmiştir. Optimizasyon sonucunda EGA değerleri %25,47- 66,29 ve EKY değerleri 115,81- 2888,18 kWh/m²y arasında değişirken IKİ değerleri ise %2,82- 99,17 arasında değişmektedir. Pareto optimal çözümler Tablo 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.26 Alternatif 4 optimal çözümler ve çözüm uzayı

Tablo 5.11'e bakıldığında 1. gün alg konsantrasyonuna sahip FBR tipinde PDO'nun %15-30 arasında, 2. gün alg konsantrasyonuna sahip FBR tipinde %20-35 ve 3. gün alg konsantrasyonundaki FBR tipinde ise %25-35 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu alternatif ile 3 amacın da karşılandığı çok az seçenek bulunmuştur. Bir amaç karşılanmakta iken diğer amacın ya da amaçların olumsuz etkilendiği durumlar mevcuttur.

EGA açısından bakıldığında, bu alternatifteki FBR tipleri ile yıl içinde günışığından yararlanılan zamanların çok yüksek olmadığı gözlemlenmiştir. Optimal çözümler arasındaki en yüksek EGA değeri olan %65,88, %60 PDO'da 9. gündeki alg konsantrasyonuna sahip FBR'de olmuştur. Ancak hem EKY değerinin hem de IKİ değeri oldukça yüksektir. Dengelenmiş en iyi çözüm, PDO'su %25 olan 1. alg konsantrasyonundaki FBR olup EGA'sı ise %59,55'tir. Bu değeri yükseltmek için PDO arttırıldığında ısı kayıp veya kazançları artacağı için buna bağlı olarak ısıtma ve soğutma yüklerinin ve aynı zamanda konforsuz saatlerin arttığı görülmüştür.

IKİ açısından bakıldığında, PDO'nun 1. gün ve 2.gün FBR için %20-25 ve 3. gün FBR için %25 seçilmesi konfor koşulları açısından iyi olmasını sağlamaktadır. En düşük IKİ değerine (%4,42) bakıldığında EGA için istenilen değer altında kalmıştır. Diğer alternatiflerde de bahsedildiği üzere PDO arttığında GIKK'sı düşük olan FBR'lerin seçilmesi konfor koşullarının iyileştirilmesini sağlayan kararlardan bir tanesidir. Aynı zaman da ısıtma yar noktasının da doğru karar verilmesi konfor koşullarını iyileştirecektir.

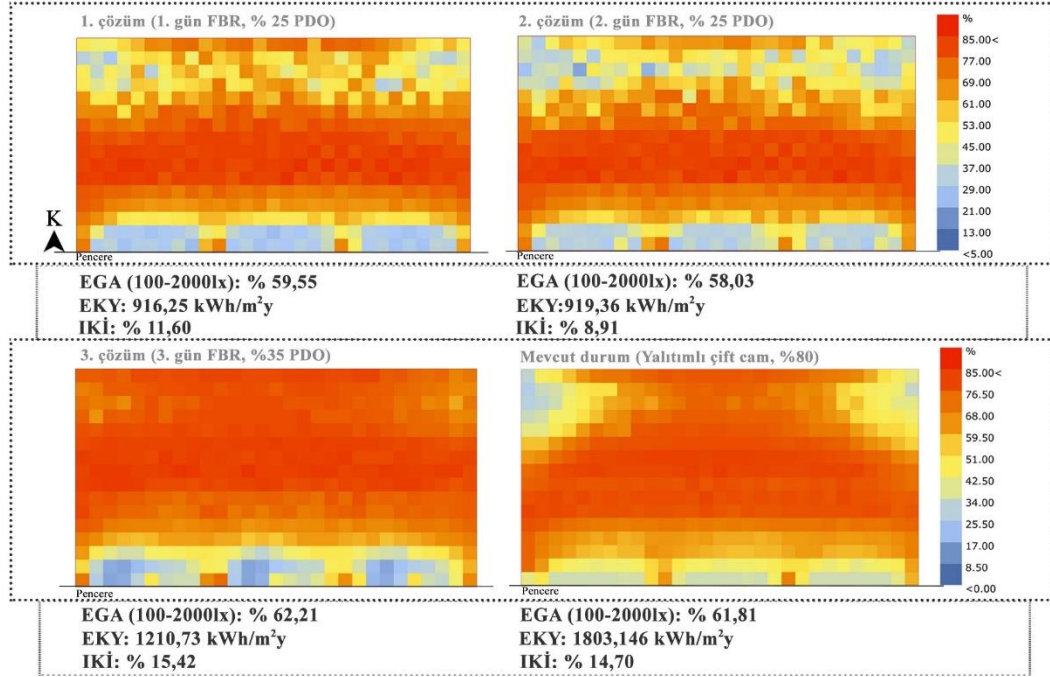
Diğer parametrelere bakıldığında seçenekler arasında gazbeton ve tuğla arasında çeşitlilik bulunmaktadır. Her ikisi için de kalınlığı fazla olan seçenekler ağırlıklı çıkmıştır. Yalıtım kalınlığı ise 6, 10 ve 12 cm arasındadır. Soğutma ayar noktası tek (23,5°C) olup, ısıtma ayar noktası 23 ve 23,5°C arasında değişmektedir. Aynı konfigürasyondaki çözümlere bakıldığında ısıtma ayar noktasının 23,5°C'den 23°C'ye düşmesi IKİ değerini oldukça arttırmaktadır.

Tablo 5.11 Alternatif 4 pareto optimal çözümler

PDO (%)	Pencere tipi	Duvar tipi-kalınlığı (cm)	Yalıtım kalınlığı (cm)	Isıtma ayar noktası (°C)	Soğutma ayar noktası (°C)	EGA (%)	EKY (kWh/m ² y)	İKİ (%)	Isıtma enerjisi (kWh/m ² y)	Soğutma enerjisi (kWh/m ² y)	Aydınlatma enerjisi (kWh/m ² y)	Uygunluk fonksiyonu (%)
25	1.gün	Gazbeton 17,5	10	23,5	23,5	59,55	916,25	11,60	828,97	79,55	7,73	45,51
25	1.gün	Gazbeton 17,5	6	23	23,5	59,55	872,70	13,85	785,26	79,71	7,73	44,75
25	2.gün	Gazbeton 17,5	10	23,5	23,5	58,03	919,36	8,91	832,50	78,70	8,15	44,47
25	2.gün	Gazbeton 17,5	10	23	23,5	58,03	875,03	11,03	788,10	78,78	8,15	43,87
30	1.gün	Tuğla 17,5	6	23,5	23,5	63,07	1091,85	16,12	992,21	93,02	6,62	43,12
20	1.gün	Gazbeton 17,5	6	23,5	23,5	54,45	743,77	8,11	669,18	66,42	8,16	42,88
20	1.gün	Gazbeton 25	10	23	23,5	54,45	707,20	9,81	632,82	66,22	8,16	42,43
20	1.gün	Gazbeton 17,5	10	23	23,5	54,45	707,43	9,84	633,00	66,26	8,16	42,39
35	2.gün	Gazbeton 17,5	10	23,5	23,5	63,74	1269,40	15,54	1157,85	105,19	6,37	38,96
20	2.gün	Gazbeton 17,5	10	23	23,5	51,66	710,14	8,62	635,53	65,66	8,95	36,73
25	3.gün	Tuğla 19	12	23	23,5	54,53	878,03	9,97	791,03	78,24	8,75	36,31
35	3.gün	Gazbeton 25	12	23	23,5	62,21	1210,73	15,42	1099,37	104,61	6,76	37,47
25	3.gün	Tuğla 19	6	23	23,5	54,53	879,15	10,83	791,87	78,53	8,75	35,37
15	1.gün	Gazbeton 17,5	10	23,5	23,5	46,53	571,90	4,42	507,82	53,51	10,57	33,48
30	8.gün	Gazbeton 17,5	10	23	23,5	49,47	1052,56	10,42	952,82	90,43	9,30	17,14
60	9.gün	Gazbeton 25	12	23	23,5	65,88	2002,39	19,29	1837,76	158,41	6,22	13,88

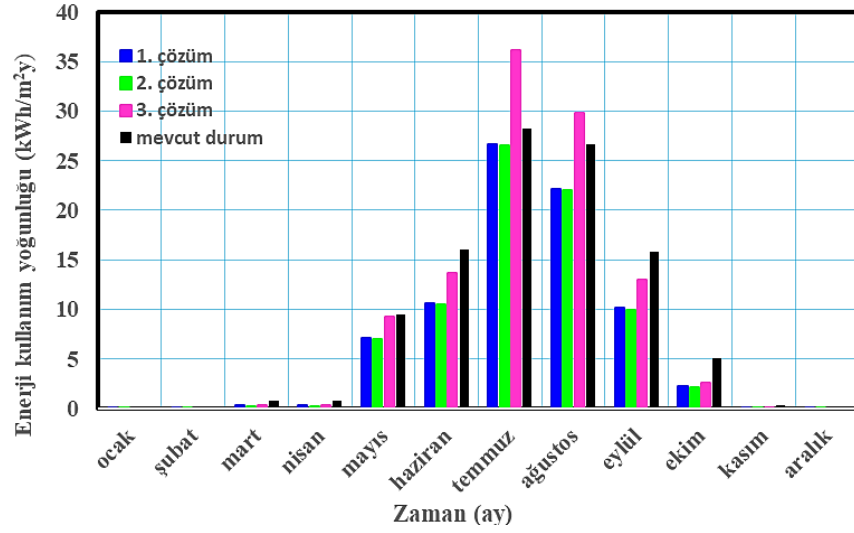
5.5.2 Alternatif 4 Optimizasyon Çalışması ve Mevcut Durum Karşılaştırması

Şekil 5.27'ye bakıldığında ilk iki çözüm için mevcut duruma göre iyileşme sağlanamamıştır. Mekanın içine doğru gidildikçe günışığından yararlanma miktarı azalmıştır. Üçüncü çözümde ise az da olsa iyileşme sağlanmıştır. Mevcut duruma göre pencere önünde EGA azalsa da tüm mekanda günışığından yararlanma oranı daha iyidir.

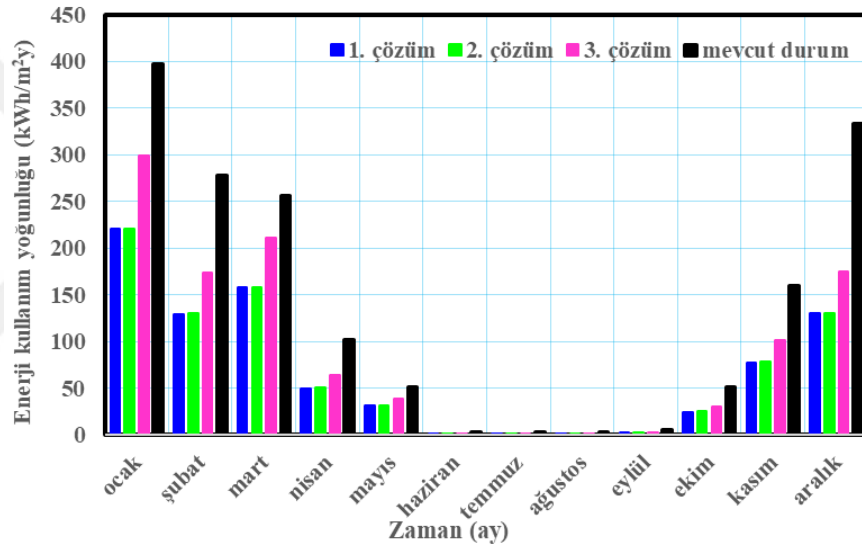


Şekil 5.27 Mevcut durum ve alternatif 4'ün bazı optimal çözümlerin EGA karşılaştırması

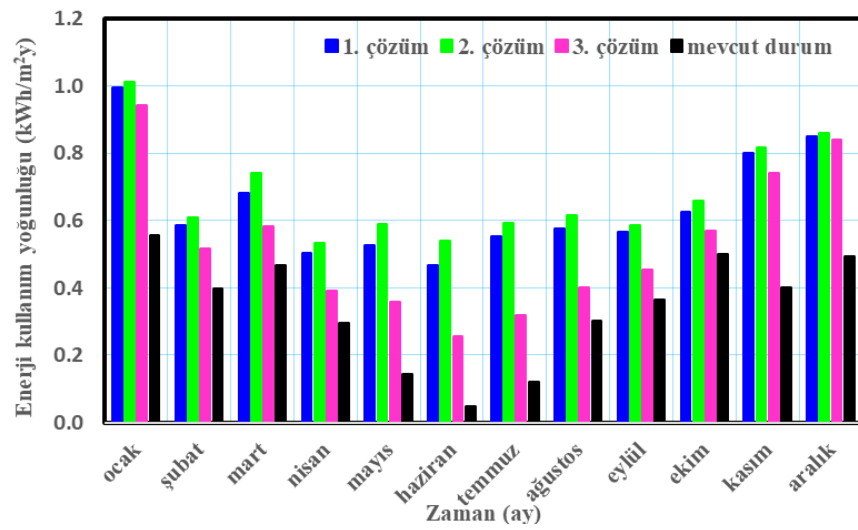
Şekil 5.28'te görüldüğü üzere mevcut duruma göre ilk iki çözümde sırasıyla %22,44 ve %23,69 iyileşme sağlanırken, üçüncü çözümde %1,42 iyileşme olmuştur. PDO'nun artması soğutma yükünü arttırmıştır. Şekil 5.29'da FBR çözümlerinin mevcut durumla ısıtma yükü açısından karşılaştırması verilmiştir. Isıtma yükü açısından değerlendirildiğinde bütün çözümlerde sırasıyla %49,58; %49,36 ve %33,12 iyileşme sağlanmıştır. Şekil 5.30'da verilen aydınlatma yükü karşılaştırmasında ise mevcut duruma göre diğer 3 alternatif gibi iyileşme sağlanmamıştır. Aksine sırasıyla %89,26; %99,70 ve %65,51 artış olmuştur.



Şekil 5.28 Alternatif 4'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık soğutma yükü enerjisi

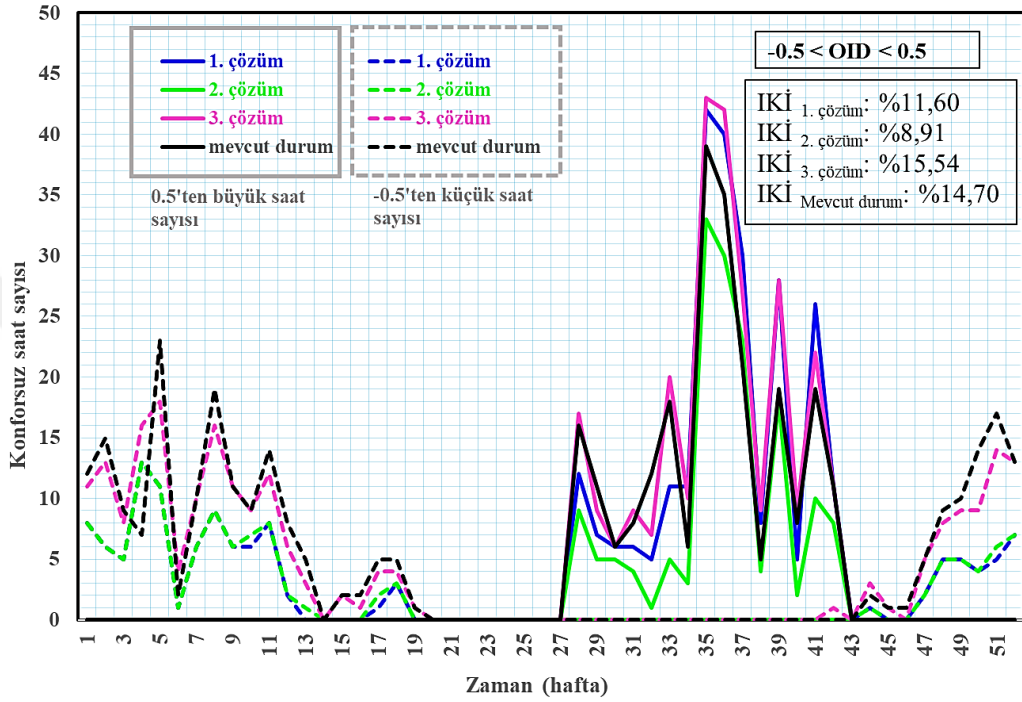


Şekil 5.29 Alternatif 4'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık ısıtma yükü enerjisi



Şekil 5.30 Alternatif 4'ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun aylık aydınlatma yükü enerjisi

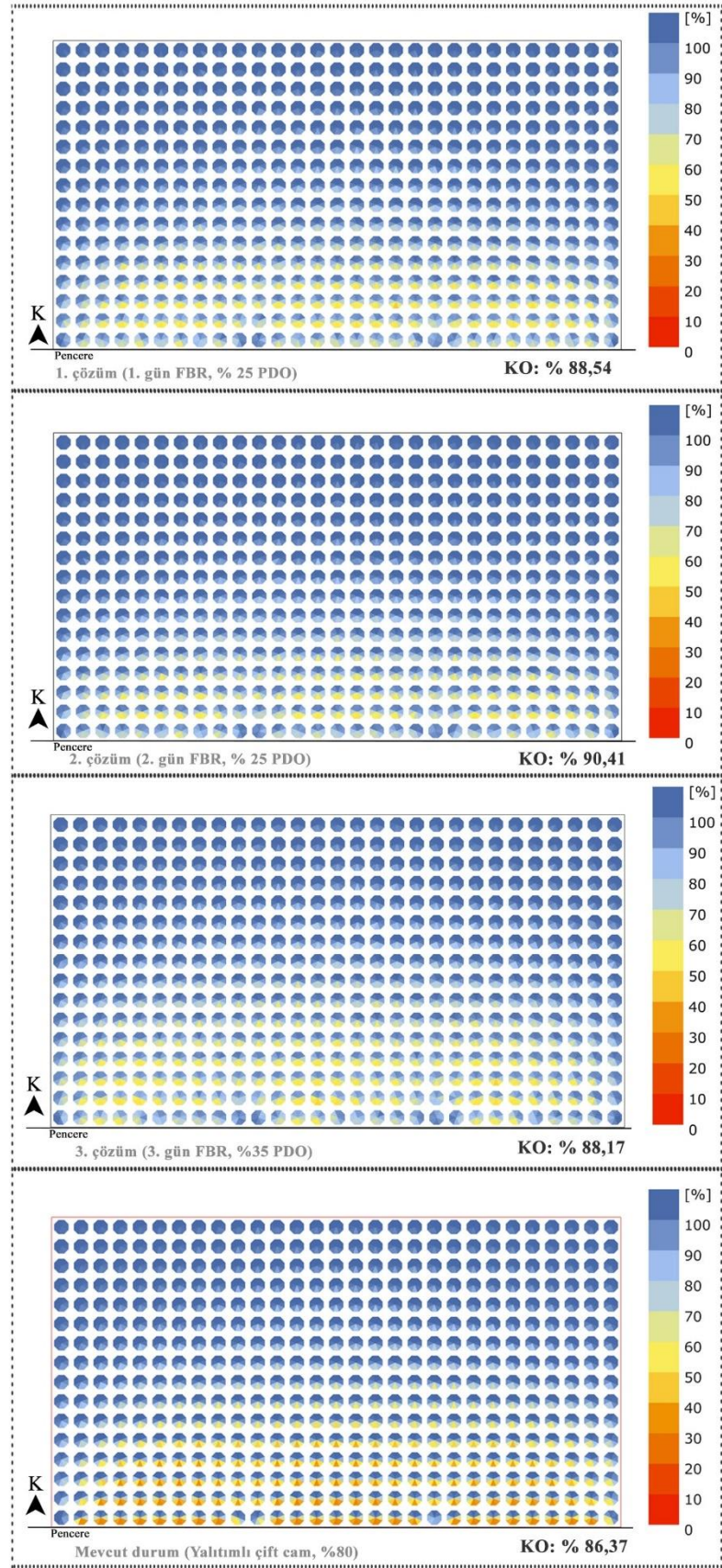
Şekil 5.31’de FBR’li çözümler ile mevcut durumun konforsuz saatler açısından analizi verilmiştir. 0.5’ten büyük konforsuz saatler için birinci ve üçüncü çözümlerde mevcut duruma göre sırasıyla %6 ve %14,95 artış bulunurken, ikinci çözümde %31,62 iyileşme sağlanmıştır. -0.5’ten küçük saatler için ise FBR’li çözümler ile mevcut duruma göre sırasıyla %50,65; %48,92 ve %8,21 iyileşme sağlanmıştır.



Şekil 5.31 Alternatif 4’ün bazı optimal çözümleri ile mevcut durumun konforsuz saat analizi

Alternatif 4 FBR cephesinin iç mekandaki kamaşmaya etkisi incelendiğinde, Şekil 5.32’de görüldüğü gibi mevcut duruma kıyasla sırasıyla %2,17; %4,04 ve %1,8 iyileşme sağlanmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi PDO artıça alg konsantrasyonu yüksek olan FBR’ler tercih edilerek ışık geçirgenliği biyokütle ile ayarlanabilmektedir.

Tablo 5.12’den görüldüğü gibi, biyokütleden elde edilen enerji ile binanın enerji ihtiyacının %4,60-53,19 arasında karşıladığı görülmüştür. Hatta %60 PDO’da 9. gün FBR ile kullanıldığı çözümde binanın enerji ihtiyacı çok yüksek olmasına rağmen elde edilen enerji tamamına yetmekte olup fazlası depolanabilir. Aynı zamanda konforsuz saatlerin azaltılması için fazla olan enerji kullanılabilir.



Şekil 5.32 Mevcut durum ve alternatif 4'ün bazı optimal çözümlerin iç mekandaki kamaşmaya etkisi

Tablo 5.12 Biyokütleden enerji üretimi

PDO (%)	V (dm ³)	Pencere tipi	m (kg)	Güne bağlı üretilen alg miktarı (kg/m ³)	Algden elde edilen yağ esaslı yıllık enerji (kWh/y)	Birim alan başına elde edilen enerji (kWh/m ² y)	EKY (kWh/m ² y)	Karşılanan enerji miktarı (%)
25	852	1.gün	0,44	0,86	8430,87	71,69	916,25	7,82
25	852	1.gün	0,44	0,86	8430,87	71,69	872,70	8,21
25	852	2.gün	0,85	1,67	16371,57	139,21	919,36	15,14
25	852	2.gün	0,85	1,67	16371,57	139,21	875,03	15,91
30	1032	1.gün	0,53	0,86	12369,51	105,18	1091,85	9,63
20	684	1.gün	0,35	0,86	5433,82	46,21	743,77	6,21
20	684	1.gün	0,35	0,86	5433,82	46,21	707,20	6,53
20	684	1.gün	0,35	0,86	5433,82	46,21	707,43	6,53
35	1280	2.gün	1,28	1,67	36951,41	314,21	1269,40	24,75
20	684	2.gün	0,69	1,67	10551,72	89,73	710,14	12,63
25	960	3.gün	1,36	2,36	29373,05	249,77	878,03	28,45
35	1200	3.gün	1,70	2,36	45895,39	390,27	1210,73	32,23
25	960	3.gün	1,36	2,36	29373,05	249,77	879,15	28,41
15	516	1.gün	0,27	0,86	3092,38	26,30	571,90	4,60
30	1032	8.gün	2,87	4,63	66593,98	566,28	1052,56	53,80
60	2057	9.gün	6,07	4,92	281143,65	2390,68	2002,39	119,39
25	852	1.gün	0,44	0,86	8430,87	71,69	916,25	7,82

5.6 Mevcut Durum ve Cephe Önerilerinin Karşılaştırması

Tablo 5.13, 5.14, 5.15 ve 5.16’da alternatif 4 cephe önerisinin mevcut durumla karşılaştırmaları verilmiştir. Öncelikle dört cephe önerisi için de optimal sonuçlar PDO ve FBR tipi açısından benzer çıkmıştır. 1. gün alg konsantrasyonuna sahip FBR için PDO 4 cephe önerisi için de %15-30 arasında değişmektedir. 2.gün alg konsantrasyonuna sahip FBR tipi için ise farklı optimal değerler görülmektedir. Cephe önerilerine göre sırasıyla PDO, %20-30, %15-30, %15-30 ve %20-35 arasında değişmiştir. Alternatif 2 ve 3, Alternatif 1 ve 4’e göre daha küçük boyutlarda pencere imkanı sağlayarak günışığından yararlanmayı mümkün kılmıştır. İlk iki alternatifte göre alternatif 3 ve 4’te 3. gün alg konsantrasyonundaki FBR’ye optimal değerler arasında rastlanmıştır. Alternatif 3’te 3. gün alg konsantrasyonundaki FBR tipinde PDO %20-30, alternatif 4’te ise %25-35 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

EGA açısından değerlendirildiğinde, mevcut durumun EGA’sı %61,71 olup hem bütün cephe önerilerinde 4. Alternatifte daha da az olsa da EGA’yı iyileştiren seçenekler bulunmaktadır. Uygunluk fonksiyonu ile dengelenmiş seçenekler arasında Alternatif 1’in en iyi seçeneğinde mevcut duruma göre EGA azalırken, Alternatif 2’de EGA iyileştirilmiştir. Bir başka deyişle, PDO’nun %20 olduğu durum mevcut duruma göre Alternatif 1’de EGA açısından iyi bir seçenek değilken, Alternatif 2 cephe önerisiyle %20’nin kullanma ihtimalini sağlamıştır. Ayrıca 2. gün alg konsantrasyonuna sahip FBR tipi seçildiğinde Alternatif 2’nin ikiye bölünmüş olması iç mekana daha fazla ışık geçmesini sağlamıştır ve EGA açısından alternatif 1’e göre daha iyi sonuçlar alınmıştır. Alternatif 3’te bütün alternatif cephe önerilerine göre hem çift cam hem de FBR kullanımı ile EGA açısından daha yüksek değerler elde edilmiştir. Alternatif 4’te pencere ve FBR’nin daha küçük boyutlarının olmasının yanı sıra konumlandırmalarının da önemini ortaya koymaktadır.

EKY açısından değerlendirildiğinde, Alternatif 1 ve Alternatif 2’nin aynı konfigürasyona sahip durumlarında neredeyse benzer sonuçlar elde edilmiştir. Hatta bazı seçeneklerde Alternatif 2’de az da olsa daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Her iki cephe önerisi de mevcut duruma göre sırasıyla %37,48- 67,48 ve %37,63- 67,50 arasında değişen iyileştirmeler sağlamıştır. Alternatif 3’te %34,86-66,05 arasında, Alternatif 4’te ise %27,51- 59,62 arasında iyileştirme sağlanmıştır. Ayrıca cephede alg

kullanılmasıyla elde edilen enerji bu iyileştirmeyi daha da artırmaktadır. Alternatif 1 diğer önerilere göre daha fazla hacme sahip olmasından dolayı daha fazla enerji üretimi olmakla birlikte binanın ihtiyacını daha fazla karşılamaktadır. Binanın enerji ihtiyacını karşılaması en fazla sırasıyla Alternatif 1, 2, 3 ve 4'te olmaktadır. Ayrıca bütün alternatiflerde binanın ihtiyacından daha fazla enerji üreten çözümler bulunmaktadır. Bu çözümlerde enerjinin fazlası depolanabilir ya da konforsuz saatlerin azaltılması için kullanılabilir.

İKİ açısından değerlendirildiğinde, bütün önerilerde %10'un altında değerler bulunmaktadır. %10'un üstünde olan değerler bulunsada mevcut durumla karşılaştırıldığında konforlu koşullara ulaşmak için harcanan enerji alg tarafından elde edilen enerji ile karşılanabileceği söylenebilir. Cephede FBR kullanımı ile yıl içinde konforsuz geçirilen saatlerin azaltılması mümkün olmuştur.

FBR'nin iç mekandaki kamaşmaya etkisi incelendiğinde ise mevcut pencere yalıtımlı bir cam olmasına rağmen iç mekanda hesaplanan kamaşma otonomisi %86'dır. Bu yıl içinde kullanılan saatlerin %14'ünde kamaşmanın olduğu anlamına gelmektedir. FBR cepheleriyle bu oran oldukça azalmaktadır.

Tablo 5.13 Alternatif 1- Optimal çözümlerin performans değerlerinin mevcut durumla karşılaştırmasının özeti

ALTERNATİF 1 CEPHE ÖNERİSİ												
PDO (%)	FBR tipi	EGA (%)	Mevcut durum (%61,71)	KO (%)	Mevcut durum (%86,37)	EKY (kWh/m ² y)	Mevcut durum (1751,22 kWh/m ² y) (%)	Algden enerji üretimi (kWh/m ² y)	Karşılanması gereken EKY (kWh/m ² y)	Karşılanan enerji miktarı (%)	İKİ (%)	Mevcut durum (%14,70)
20	1.gün	60,57	1,14	95,74	9,37	740,46	57,72	369,65	370,81	49,92	5,74	8,96
20	1.gün	60,57	1,14	95,74	9,37	740,99	57,69	369,65	371,34	49,89	6,06	8,64
25	1.gün	65,12	3,41	94,37	8	912,99	47,87	499,36	413,63	54,69	8,81	5,89
25	1.gün	65,12	3,41	94,37	8	868,94	50,38	499,36	369,58	57,47	10,67	4,03
25	1.gün	65,19	3,48	94,37	8	913,43	47,84	499,36	414,07	54,67	9,39	5,31
20	1.gün	60,57	1,14	95,74	9,37	671,44	61,66	369,65	301,79	55,05	12,63	2,07
15	1.gün	51,81	9,90	96,99	10,62	569,41	67,48	189,86	379,55	33,34	3,91	10,79
25	2.gün	60,51	1,20	95,61	9,24	919,87	47,47	969,68	-49,81	105,41	5,27	9,43
25	2.gün	60,51	1,20	95,61	9,24	920,44	47,44	969,68	-49,24	105,35	5,74	8,96
20	2.gün	54,62	7,09	96,67	10,3	745,55	57,43	717,80	27,75	96,28	4,04	10,66
15	1.gün	51,81	9,90	96,99	10,62	544,05	68,93	189,86	354,19	34,90	7,34	7,36
20	2.gün	54,62	7,09	96,67	10,3	746,05	57,40	717,80	28,25	96,21	4,23	10,47
30	2.gün	64,08	2,37	94,47	8,1	1094,54	37,50	1624,52	-529,98	148,42	6,89	7,81
30	2.gün	64,08	2,37	94,47	8,1	1094,86	37,48	1624,52	-529,66	148,38	6,99	7,71
30	1.gün	66,26	4,55	92,74	6,37	1086,82	37,94	836,58	250,24	76,97	12,15	2,55

Tablo 5.14 Alternatif 2- Optimal çözümlerin performans değerlerinin mevcut durumla karşılaştırmasının özeti

ALTERNATİF 2 CEPHE ÖNERİSİ												
PDO (%)	FBR tipi	EGA (%)	Mevcut durum (%61,71)	KO (%)	Mevcut durum (%86,37)	EKY (kWh/m ² y)	Mevcut durum (1751,22 kWh/m ² y) (%)	Algden enerji üretimi (kWh/m ² y)	Karşılanması gereken EKY (kWh/m ² y)	Karşılanan enerji miktarı (%)	İKİ (%)	Mevcut durum (%14,70)
20	1.gün	62,18	0,47	97,44	11,07	739,85	57,75	238,65	501,20	32,26	6,38	8,32
20	1.gün	62,18	0,47	97,44	11,07	741,43	57,66	238,65	502,78	32,19	7,44	7,27
20	1.gün	62,18	0,47	97,44	11,07	704,35	59,78	238,65	465,70	33,88	9,17	5,55
20	1.gün	62,18	0,47	97,44	11,07	705,45	59,72	238,65	466,80	33,83	9,36	5,37
25	1.gün	65,72	4,01	96,68	10,31	911,87	47,93	327,17	584,70	35,88	10	4,74
25	2.gün	62,96	1,25	94,39	8,02	916,90	47,64	635,32	281,58	69,29	6,25	8,5
20	2.gün	58,72	2,99	95,79	9,42	744,63	57,48	463,43	281,20	62,24	4,78	9,98
25	2.gün	62,96	1,25	94,39	8,02	873,21	50,14	635,32	237,89	72,76	8,88	5,89
25	2.gün	62,96	1,25	94,39	8,02	920,14	47,46	635,32	284,82	69,05	7,79	6,99
15	1.gün	54,96	6,75	97,03	10,66	569,18	67,50	134,63	434,55	23,65	4,33	10,46
30	2.gün	65,37	3,66	95,86	9,49	1092,26	37,63	1039,69	52,57	95,19	9,17	5,63
15	1.gün	54,96	6,75	97,03	10,66	544,86	68,89	134,63	410,23	24,71	8,47	6,34
30	1.gün	65,99	4,28	92,79	6,42	1032,55	41,04	535,41	497,14	51,85	15,26	0,44
15	2.gün	50,97	10,74	97,02	10,65	571,82	67,35	261,44	310,38	45,72	3,62	11,21
10	1.gün	44,43	17,28	98,10	11,73	399,17	77,21	59,14	340,03	14,82	2,69	12,15
90	9.gün	69,66	7,95	78,19	8,18	3782,49	115,97	11016,05	-6977,67	272,78	9,74	5,11
95	9.gün	70,16	8,45	77,62	8,75	4038,38	130,58	9924,26	-6141,77	262,37	11,15	3,71

Tablo 5.15 Alternatif 3- Optimal çözümlerin performans değerlerinin mevcut durumla karşılaştırmasının özeti

ALTERNATİF 3 CEPHE ÖNERİSİ												
PDO (%)	FBR tipi	EGA (%)	Mevcut durum (%61,71)	KO (%)	Mevcut durum (%86,37)	EKY (kWh/m ² y)	Mevcut durum (1751,22 kWh/m ² y) (%)	Algden enerji üretimi (kWh/m ² y)	Karşılanması gereken EKY (kWh/m ² y)	Karşılanan enerji miktarı (%)	İKİ (%)	Mevcut durum (%14,70)
25	1.gün	64,00	2,29	89,19	2,82	954,38	45,50	126,41	827,97	13,25	11,73	2,97
25	2.gün	62,47	0,76	91,10	4,73	957,74	45,31	245,48	712,26	25,63	8,94	5,76
30	2.gün	65,69	3,98	91,18	4,81	1140,71	34,86	353,49	787,22	30,99	12,28	2,42
30	1.gün	65,87	4,16	85,99	0,38	1136,34	35,11	182,04	954,30	16,02	15,06	0,36
20	1.gün	58,65	3,06	92,40	6,03	773,59	55,83	80,91	692,68	10,46	7,47	7,23
30	3.gün	63,95	2,24	91,09	4,72	1143,61	34,70	499,54	644,07	43,68	10,51	4,19
20	1.gün	58,65	3,06	92,40	6,03	736,13	57,96	80,91	655,22	10,99	9,84	4,86
25	3.gün	59,25	2,46	93,38	7,01	961,06	45,12	346,90	614,16	36,10	7,56	7,14
20	2.gün	56,35	5,36	93,79	7,42	776,11	55,68	157,11	619,00	20,24	5,93	8,77
20	1.gün	58,65	3,06	92,40	6,03	701,50	59,94	80,91	620,59	11,53	14,87	0,17
15	1.gün	50,62	11,09	95,23	8,86	594,52	66,05	45,51	549,01	7,65	4,52	10,18
20	3.gün	52,15	9,56	95,39	9,02	779,15	55,51	222,02	557,13	28,49	5,35	9,35
15	2.gün	48,19	13,52	96,08	9,71	596,92	65,91	88,37	508,55	14,80	3,97	10,73
50	9.gün	66,13	4,42	90,17	3,8	1895,77	8,25	2892,83	-997,06	152,59	15,00	0,3
60	9.gün	68,03	6,32	87,50	1,13	2354,10	34,43	4165,67	-1811,57	176,95	19,78	5,08
15	9.gün	32,69	29,02	98,35	11,98	604,31	65,49	260,35	343,96	43,08	3,65	11,05
25	1.gün	64,00	2,29	89,19	2,82	954,38	45,50	126,41	827,97	13,25	11,73	2,97

Tablo 5.16 Alternatif 4- Optimal çözümlerin performans değerlerinin mevcut durumla karşılaştırmasının özeti

ALTERNATİF 4 CEPHE ÖNERİSİ												
PDO (%)	FBR tipi	EGA (%)	Mevcut durum (%61,71)	KO (%)	Mevcut durum (%86,37)	EKY (kWh/m ² y)	Mevcut durum (1751,22 kWh/m ² y) (%)	Algden enerji üretimi (kWh/m ² y)	Karşılanması gereken EKY (kWh/m ² y)	Karşılanan enerji miktarı (%)	İKİ (%)	Mevcut durum (%14,70)
25	1.gün	59,55	2,16	88,54	2,17	916,25	47,68	71,69	844,56	7,82	11,60	3,1
25	1.gün	59,55	2,16	88,54	2,17	872,70	50,17	71,69	801,01	8,21	13,85	0,85
25	2.gün	58,03	3,68	90,41	4,04	919,36	47,50	139,21	780,15	15,14	8,91	5,79
25	2.gün	58,03	3,68	90,41	4,04	875,03	50,03	139,21	735,82	15,91	11,03	3,67
30	1.gün	63,07	1,36	85,24	1,13	1091,85	37,65	105,18	986,67	9,63	16,12	1,42
20	1.gün	54,45	7,26	91,78	5,41	743,77	57,53	46,21	697,56	6,21	8,11	6,59
20	1.gün	54,45	7,26	91,78	5,41	707,20	59,62	46,21	660,99	6,53	9,81	4,89
20	1.gün	54,45	7,26	91,78	5,41	707,43	59,60	46,21	661,22	6,53	9,84	4,86
35	2.gün	63,74	2,03	84,67	1,7	1269,40	27,51	314,21	955,19	24,75	15,54	0,84
20	2.gün	51,66	10,05	93,18	6,81	710,14	59,45	89,73	620,41	12,63	8,62	6,08
25	3.gün	54,53	7,18	92,87	6,5	878,03	49,86	249,77	628,26	28,45	9,97	4,73
35	3.gün	62,21	0,5	88,17	1,8	1210,73	30,86	390,27	820,46	32,23	15,42	0,72
25	3.gün	54,53	7,18	92,87	6,5	879,15	49,80	249,77	629,38	28,41	10,83	3,87
15	1.gün	46,53	15,18	94,77	8,4	571,90	67,34	26,30	545,60	4,60	4,42	10,27
30	8.gün	49,47	12,24	94,93	8,56	1052,56	39,90	566,28	486,28	53,80	10,42	4,28
60	9.gün	65,88	4,17	86,93	0,56	2002,39	14,34	2390,68	-388,29	119,39	19,29	4,59

BÖLÜM ALTI

SONUÇ

Dünyada enerji tüketiminin artması ve fosil yakıtların kullanımı, enerji tüketiminin önemli bir şekilde kontrol edilmesini gerektiren ciddi çevresel kaygılar doğurmaktadır. Küresel enerji tüketiminde büyük payı olan yapı sektöründe çevreye verdiği olumsuz etkiyi azaltabilmek ve iklim değişikliğine çözüm getirmek için yenilenebilir enerjiye veya enerji verimli teknolojilere yönelmek gibi eylemler son dönemde görülen gelişmelerdir. Bu gelişmeler doğrultusunda, yenilikçi FBR uygulamaları iç mekan konfor koşullarından ödün vermeden yüksek enerji performansı sağlayabildiği için umut verici bir tasarım çözümü olarak ortaya çıkmaktadır.

Yenilikçi sistemlerin uygulanmasının yanı sıra binanın nasıl bir performans gösterdiğinin bilinmesi için bina performansı hakkında bilgi verebilecek nicel yöntemlere ihtiyaç vardır. Karar vermeden önce bina ve bina sistemleri arasındaki etkileşimlerin analiz edilmesi, tasarım seçenekleri için performans göstergelerinin hesaplanması ve karşılaştırılması gerekmektedir. Bina performans simülasyonları bu amaç için kullanılan bir yöntem olmakla birlikte birtakım sınırlılıkları vardır. Bu yöntem, en iyi sonuca ulaşmakla ilgili bilgi vermez. Performansları değerlendirmek için tasarımcının birkaç simülasyon çalışması kurması, tasarım değişkenlerinin değerlerini manuel olarak değiştirmesi ve deneme yanılma yaklaşımına dayalı olarak tüm tasarım kombinasyonlarının performanslarını test etmesi gerekir. Bu nedenle, simülasyon genellikle zaman alıcıdır, ancak giriş değişkenlerinin simüle edilmiş sonuçlar üzerindeki karmaşık ve doğrusal olmayan etkileşimleri nedeniyle yalnızca kısmi iyileştirme ile sonuçlanır. Çok amaçlı optimizasyon, karmaşık problemleri çeşitli değişen parametrelerle çözebildiği ve tanımlanmış bir probleme en iyi çözümleri sunabildiği için mimari projelere önemli ölçüde yardımcı olmaktadır.

Bina performansına en fazla etki eden bina kabuğuna, yenilikçi bir sistemin entegre edilmesi, daha sürdürülebilir bir yapıyı çevre için hedeflere ulaşma yolunda önemli bir adım oluşturabilir. Bu doğrultuda bu tezde doğa tabanlı bir FBR elemanının yapıyla bütünleşmesi durumunda uygulandıkları yapının enerji tüketimine ve ısı-görsel konforuna etkisi araştırılmıştır. İzmir’de yer alan mevcut bir ofis binasının güney cephesinde dört farklı FBR cephesi önerilmiştir. FBR’lerin binanın ısı, görsel ve

enerji performanslarına etkisi, Grasshopper’da bir eklenti olan Octopus yardımıyla optimizasyon yapılarak değerlendirilmiştir. Tasarım değişkenleri olarak PDO, alg konsantrasyonuna bağlı olarak değişen FBR tipinin yanı sıra, duvar tipi ve kalınlığı, yalıtım malzemesi kalınlığı, ısıtma-soğutma ayar noktası olarak belirlenmiş olup tasarım değişkenlerinin etkisi araştırılarak her bir cephe için üç performans amacına uygun optimum değerler elde edilmiştir ve mevcut pencere sistemiyle karşılaştırılmıştır. Elde edilmiş optimum çözümlerde ayrıca FBR’lerin iç mekanda oluşabilecek kamaşmaya etkisi ve üretilen biyokütle enerjisinin binanın enerji ihtiyacının ne kadarını karşıladığı hesaplanmıştır. Mevcut analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Alternatif cephe önerilerinde Akdeniz ikliminde pencere duvar oranının optimum değeri %20-30 arasında bulunmuştur. FBR tipi olarak ise 1. gün ve 2. gün gibi düşük alg konsantrasyonuna sahip FBR’ler ağırlıklı çıkmıştır. Alternatif 3 ve 4 ile de 3. gün alg konsantrasyonlu FBR kullanımları da mevcut çözümler arasındadır.
- EGA’nın ve kamaşmanın sadece pencereye özgü parametrelerin (alg konsantrasyonu ve PDO) etkilediği görülürken, ısıl konfor ve enerji performansının bütün parametreler tarafından etkilendiği bulunmuştur. Bu çalışmada parametreler arasında regresyon analizi yapılmamakla birlikte simülasyonlarda PDO ve alg konsantrasyonunun etkili olduğu görülmüştür.
- EGA açısından cephe önerileri ile mevcut pencere sistemi karşılaştırıldığında bütün alternatiflerde EGA’yı iyileştiren çözümler bulunmaktadır. Alternatif 3’te, diğer alternatiflere göre daha yüksek EGA sonuçları elde edilmiştir.
- EKY ve IKİ açısından bütün alternatiflerde mevcut durumdan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. FBR sisteminin alg yoğunluğu iç ortamdaki sıcaklığı etkileyerek konforsuzluk saatlerinin azaltılmasına yardımcı olmuştur.

- FBR'nin iç mekandaki kamaşmaya etkisi incelendiğinde FBR'nin mevcut duruma kıyasla kamaşmayı oldukça önlediği görülmüştür. İç ortamdaki kamaşma biyokütleyle bağlı olarak geçen ışık miktarı ile ayarlanarak azaltılabilir.
- Cephede FBR kullanılarak üretilen biyokütleden elde edilen enerji miktarının binanın enerji ihtiyacını karşıladığı bulunmuştur. Üretilen enerji ile mevcut durumdaki iyileştirme daha da artmaktadır. Ayrıca binanın ihtiyacından daha fazla enerji bile üretilbildiği görülmüştür.

Genel olarak FBR'nin bütün performans amaçları açısından mevcut pencere sistemine göre daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Dahası, algden enerji elde edilmesi ile binanın enerji ihtiyacını azaltma potansiyeli açısından pencere sistemlerinin önüne geçmektedir. FBR içindeki alg ortamının gölgeleme etkisi sebebiyle iç mekandaki sıcaklık dağılımı düzenlenmekte, böylece konfor koşullarının iyileşmesini sağlamaktadır. Ek olarak fazla güneş ışığını filtrelemesi ile kamaşmayı da engellemesi bu amaç için ayrıca kullanılacak gölgeleme sistemlerinin yerini de alabilir. Bu doğrultuda FBR sistemi standart bir pencereye kıyasla birçok amaca hizmet vermektedir.

Önerilen optimizasyon kurgusu FBR sisteminin ısı- görsel ve enerji performansını optimize etme yeteneğine sahiptir. Bu önerilen kurgu farklı iklim bölgeleri ve yapı türleri için uygulanabilir. Farklı parametreler eklenerek performanslar değerlendirilebilir ve iyileştirilebilir. Ayrıca farklı performans talepleri için de hızlı bir şekilde analizler yapılabilmesi olanağı sayesinde önerilen kurgu geliştirilerek erken tasarım aşamasında kullanılan bir karar destek aracı olabilir.

Bu çalışma ile literatürdeki FBR ile ilgili çalışmalara farklı performanslar açısından yaklaşılarak katkıda bulunulduğu düşünülmektedir. Ancak gelecek çalışmalar için dikkate alınması gereken bazı konular bulunmaktadır. Bu çalışmaya FBR'nin ısı kütlesi dahil edilememiştir. FBR'nin ısı kütlesini dahil ederek binanın enerji dengesini nasıl etkileneceğinin irdelenmesi başka bir araştırma konusudur. Ayrıca FBR'nin pencere tanımlamasındaki değerler bazı ölçüm ve hesaplamalar ile yapılmıştır. Büyük ölçekli bir FBR ile doğrulanması gerekmektedir. Gelecekte FBR sisteminin daha iyi

tanımlanmasını sağlamak ve sürdürülebilirliğe katkıda bulunabilmesi için bu incelenen performanslar dışında maliyet hesabı, yaşam döngüsü analizi ve çevresel performansı da incelenerek daha kapsamlı sonuçlar alınabilir. Ayrıca gelecek çalışmalarda FBR parametreleri ve diğer parametrelerin performanslar üzerindeki etkileri ve aralarındaki ilişkinin analiz edilebilmesi regresyon analizi gibi istatistiksel yöntemlerle ortaya konabilir.



KAYNAKLAR

- Acar, U., Kaska, O. ve Tokgoz N. (2021). Multi-objective optimization of building envelope components at the preliminary design stage for residential buildings in Turkey. *Journal of Building Engineering*, 42, 102499.
- AIA California. (2020). *What is EUI?* 19 Ekim 2021. <https://aiacalifornia.org/energy-use-intensity-eui/>
- Aksin, F. N. ve Arslan Selçuk S. (2021). Use of simulation techniques and optimization tools for daylight, energy and thermal performance: a case on office module(s) in different climates, *39th eCAADe Conference*, Novi-Sad, Sırbistan, 8 - 10 Eylül 2021.
- Araji, M. T. ve Shadid, I. (2018). Symbiosis optimization of building envelopes and micro-algae photobioreactors. *Journal Building Engineering*, 18, 58-65.
- Arpacıoğlu, Ü., Çalışkan, C. İ., Şahin, B. ve Ödevci, N. (2020). Mimari planlamada, günışığı etkinliğinin artırılması için kurgusal tasarım destek modeli. *Tasarım Kuram*, 16(29), 53-78.
- Arup. (bt). *Worldwide first façade system to cultivate micro-algae to generate heat and biomass as renewable energy sources*. 15 Mayıs 2021, <https://www.arup.com/projects/solar-leaf>
- ASHRAE. (2001). *The 2001 ASHRAE handbook: fundamentals*. Atlanta, GA.
- ASHRAE. (2014). American society of heating, ventilating, and air conditioning engineers [ASHRAE] guideline 14. Measurement of energy and demand savings.
- ASHRAE Standard 55 (2004). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- Badeche, M. ve Bouchahm, Y. (2020). Design optimization criteria for windows providing low energy demand in office buildings in Algeria. *Environmental and Sustainability Indicators*, 100024.

- Bakmohammadi, P. ve Noorzai, E. (2020). Optimization of the design of the primary school classrooms in terms of energy and daylight performance considering occupants' thermal and visual comfort. *Energy Reports*, 6, 1590–1607.
- British Standards Institution. (2008). BS8206-2: 2008: Lighting for buildings: code of practice for daylighting. BSI.
- BuildUp. (2015). *The BIQ house: first algae-powered building in the world*. 21 Eylül 2020, <http://www.buildup.eu/en/practices/cases/biq-house-first-algaepowered-buildingworld>.
- Castaldo, V. L. ve Pisello, A. L. (2017). Uses of dynamic simulation to predict thermal-energy performance of buildings and districts: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 7(1), e269.
- CIBSE. (2002), Code for lighting, Oxford, Butterworth-Heinemann.
- Cervera Sardá, R. ve Vicente, C. A. (2016). Case studies on the architectural integration of photobioreactors in building façades efficiency. F. Pacheco Torgal, C. Buratti, S. Kalaiselvam, C.-G. Granqvist ve V. Ivanov (ed). *Nano and Biotech Based Materials for Energy Building* (1. Baskı) içinde (457-84). Switzerland: Springer.
- Chraïbi, S., Lashina, T., Shrubsole, P., Aries, M., van Loenen, E., ve Rosemann, A. (2016). Satisfying light conditions: A field study on perception of consensus light in Dutch open office environments. *Building and Environment*, 105, 116–127.
- Commission Internationale de l'Eclairage, CIE 171:2006 Technical report - Test cases to assess the accuracy of lighting computer programs, CIE, Vienna, 2006.
- Çakmanus, İ. (2011). Bina enerji simülasyonu. *Yeşil Bina*, 8, 36-39.
- Çıldır, A. S., Köktürk, G. ve Tokuç, A. (2020). Design approaches for retrofitting offices to reach nearly zero energy: A case study in the Mediterranean climate, *Energy for Sustainable Development*, 58, 167–181.

- Doulos, L., Tsangrassoulis, A. ve Topalis F. (2008). Quantifying energy savings in daylight responsive systems: The role of dimming electronic ballasts. *Energy and Buildings*, 40, 36–50.
- Elrayies, G. M. (2018). Microalgae: Prospects for greener future buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1175–1191.
- European Committee for Standardization. (2007). Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-addressing indoor air quality, thermal environment, lighting, and acoustics (EN 15251:2007). Brussels: CEN.
- Evins, R. (2013). A review of computational optimization methods applied to sustainable building design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 230–245.
- EPA. (2016). *What is energy use intensity (EUI)?* 10 Ekim 2021. <https://www.energystar.gov/buildings/facility-owners-and-managers/existing-buildings/use-portfolio-manager/understand-metrics/what-energy>.
- Fang, Y. (2017). *Optimization of daylighting and energy performance using parametric design, simulation modeling, and genetic algorithms*. Doktora tezi, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina.
- Fang, Y. ve Cho, S. (2019). Design optimization of building geometry and fenestration for daylighting and energy performance. *Solar Energy*, 191, 7–18.
- Fanger, P. O. (1972). *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Fritsche, U. R., Eppler, U., Fehrenbach, H. ve Giegrich, J. (2018). *Linkages between the sustainable development goals (SDGs) and the GBEP sustainability indicators for bioenergy (GSI)*. Technical Paper for the GBEP Task Force on Sustainability, International Institute for Sustainability Analysis and Strategy [IINSAS], Darmstadt, and Institute for Energy and Environmental Research [IFEU], Heidelberg.

- Geisler-Moroder D. ve Dür, A. 2008. Validation of radiance against CIE171: 2006 and improved adaptive subdivision of circular light sources. *7th International RADIANCE workshop*, Fribourg Switzerland: October 30-31, 2008.
- Giouri, E., Tenpierik, M. ve Turrin, M. (2020). Zero energy potential of a high-rise office building in a mediterranean climate: using multi-objective optimization to understand the impact of design decisions towards zero-energy high-rise buildings. *Enerji and Buildings*, 209, 1-18.
- Ghobad, L. (2013). *Analysis of daylighting performance and energy savings in roof daylighting systems*. Doktora tezi, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina.
- Goia, F. (2016). Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential. *Solar Energy*, 132, 467–492.
- Hensen, L. M. (1990). Literature review on thermal comfort in transient conditions. *Building and Environment* 25(4), 309–316.
- Höppe, P. (2002). Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings*, 34, 661 - 665.
- Huesemann, M. H., Van Wagenen, J., Miller, T., Chavis, A., Hobbs, S., ve Crowe, B. (2013). A screening model to predict microalgae biomass growth in photobioreactors and raceway ponds. *Biotechnology and bioengineering*, 110(6), 1583-1594.
- International Organization for Standardization. (1994). ISO 7730: Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort. ISO.
- International Organization for Standardization. (2003). ISO 15099: Thermal performance of windows, doors, and shading devices – Detailed calculations.

- IEA. (2017). *Technology roadmap – delivering sustainable bioenergy*. 10.12.2021. <https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/technology-roadmap-delivering-sustainable-bioenergy/>
- Jakubiec, J.A. ve Reinhart, C.F. (2016). A concept for predicting occupants' long-term visual comfort within daylight spaces. *LEUKOS-The Journal of the Illuminating Engineering Society*, 12(4), 185-202.
- Jones, N. L. (2019). Fast climate-based glare analysis and spatial mapping. *Proceedings of the 16th IBPSA Conference*, Rome, Italy: September 2-4, 2019.
- Jakubiec, A. ve, Reinhart, C. (2010). The use of glare metrics in the design of daylight spaces: Recommendations for practice. *9th International Radiance Workshop*, Freiberg, Germany.
- Judkoff, R. ve Neymark, J. (2006). Model Validation and Testing: The Methodological Foundation of ASHRAE Standard 140. *ASHRAE Conference*, Quebec City, Canada: June 24–29, 2006.
- Kaba el Halabi, R. ve Genova, A. (2019). *Algae Façade: From Sea Weed to City Grid*. Yüksek Lisans tezi, Politecnico Di Milano, Milano, Italy.
- Kampelis, N., Papayiannis, G. I., Kolokotsa, D., Galanis, G. N., Isidori, D., Cristalli, C., ve Yannacopoulos, A. N. (2020). An integrated energy simulation model for buildings. *Energies*, 13(5), 1170.
- Kaya, S. ve Fırlalı, N. (2017). Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde pareto optimal kullanımı, *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 5(2), 9-18.
- Kheiri, F. (2018). A review on optimization methods applied in energy-efficient building geometry and envelope design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 897–920.
- Kim, K. H. ve Patel S. (2018). Sustainable tall buildings: microalgae facades for city's energy production, water conservation, and good air quality. *125th IASTEM International Conference*, Seoul, South Korea, 53–58.

- Kim, K. H. (2013). A feasibility study of an algae façade system. *Proceedings of the International Conference on sustainable building SB13 SEQU*, Seoul, South Korea.
- 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.
- Lee, J., Boubekri, M. ve Liang, F. (2019). Impact of building design parameters on daylighting metrics using an analysis, prediction, and optimization approach based on statistical learning technique. *Sustainability*, 11, 1474.
- Leeuw, A. (2016). *The potential for high rise envelopes as energy production units*. Yüksek Lisans tezi, Delft University of Technology, Delft, Holland.
- Lin, Y.-H., Tsai, K.-T., Lin, M.-D., ve Yang, M.-D. (2016). Design optimization of office building envelope configurations for energy conservation, *Applied Energy*, 171, 336–346.
- Liu, X., Xu, M., Guo, J. ve Zhu, R. (2019). Numerical study on the energy performance of building zones with transparent water storage envelopes. *Solar Energy*, 180, 690–706.
- Lo Verso, V. R.M., Javadi, M. H.S., Pagliolico, S., Carbonaro, C. ve Sassi G., (2019). Photobioreactors as a dynamic shading system conceived for an outdoor workspace of the state library of Queensland in Brisbane: study of daylighting performances. *Journal of Daylighting*, 6, 148-168.
- Mardaljevic, J. (1998). Daylight simulation. *rendering with radiance: the art and science of lighting visualization* (1. Baskı) içinde (341-389). San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Mardaljevic, J. ve Christoffersen, J. (2017). “Climate connectivity” in the daylight factor basis of building standards. *Building and Environment*, 113, 200–209.

- Mashaly, I. A., Garcia-Hansen, V., Cholette, M. E. ve Isoardi, G. (2021). A daylight-oriented multi-objective optimisation of complex fenestration systems. *Building and Environment*, 197, 107828.
- Nabil, A. ve Mardaljevic J. (2005). Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, 38, 905–913.
- Nasrollahzadeh, N. (2021). Comprehensive building envelope optimization: Improving energy, daylight, and thermal comfort performance of the dwelling unit. *Journal of Building Engineering*, 44, 103418.
- Negev, E., Yezioro, A., Polikovsky, M., Kribus, A., Cory, J., Shashua-Bar, L., ve Golberg, A. (2019). Algae window for reducing energy consumption of building structures in the Mediterranean city of Tel-Aviv, Israel, *Energy and Buildings*, 204, 109460.
- Ochoa Morales, C. E., Aries, M. B. C. ve Hensen, J. L. M. (2012). State of the art in lighting simulation for building science: a literature review. *Journal of Building Performance Simulation*, 5, 209-233.
- Öztürk Kerestecioğlu, F. ve Pekmezci. Y. T. (2019). Defining The Problems in Integration of Microalgae Photobioreactor Systems to Architecture. *International Journal of Engineering Science and Application*, 3(2), 52–70.
- Pagliolico, S., Lo Verso V. R. M., Torta, A., Giraud, M., Canonico, F. ve Ligi L. (2015). A preliminary study on light transmittance properties of translucent concrete panels with coarse waste glass inclusions. *Energy Procedia* 78, 1811 – 1816.
- Pagliolico, S. L., Verso, V. R. M. L., Bosco, F., Mollea, C., ve La Forgia, C. (2017). A novel photo-bioreactor application for microalgae production as a shading system in buildings. *Energy Procedia*, 111, 151–160.
- Pagliolico, S. L., Lo Verso, V. R. M., Zublena, M. ve Giovannini, L. (2019). Preliminary results on a novel photo-bio-screen as a shading system in a

- kindergarten: Visible transmittance, visual comfort and energy demand for lighting. *Solar Energy*, 185, 41–58.
- Parsons, K. (2014). *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance* (3. Baskı). CRC Press.
- Pruvost, J., Le Gouic, B., Lepine, O., Legrand, J. ve Le Borgne, F. (2016). Microalgae culture in building-integrated photobioreactors: Biomass production modelling and energetic analysis. *Chemical Engineering Journal*, 284, 850–861.
- Reinhart, C. F., ve Galasiu, A. (2006). Results of an online survey of the role of daylighting in sustainable design. NRC-IRC Report.
- Reinhart, C.F. (2010). *Tutorial on the Use of daysim simulations for sustainable design*. 21 Ekim 2021, <https://pdfslide.net/documents/daysim30tutorial.html>
- Ruiz, G., ve Bandera, C. (2017). Validation of calibrated energy models: common errors. *Energies*, 10(10), 1587.
- Shafavi, N. S., Zomorodian, Z. S., Tahsildoost, M., ve Javadi, M. (2020). Occupants visual comfort assessments: A review of field studies and lab experiments. *Solar Energy*, 208, 249–274.
- Şener Yılmaz, F. (2014). Sürdürülebilir çevre için mimari aydınlatma sistemi tasarımında kullanılabilecek bir yaklaşım. Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Talaei, M., Mahdavinejad, M. ve Azari, R. (2020). Thermal and energy performance of algae bioreactive façades: A review. *Journal of Building Engineering*, 28, 1-14.
- Talaei, M., Mahdavinejad, M., Azari, R., Prieto A., Sangin, H. (2021). Multi-objective optimization of building-integrated microalgae photobioreactors for energy and daylighting performance. *Journal of Building Engineering*, 102832.
- Tokuç, A., Köktürk, G. ve Savaşır K. (2019). Alglerle yeşeren cepheler. *Mimarlık*, 408, 59-63.

- Tokuç, A., Köktürk, G., Deniz, I., Ezan, M. A., Altunacar, N. ve Yaman, Y. (2021). TÜBİTAK 3. Gelişme ara raporu. (TUBITAK, 218M580: 2021).
- Tuhus-Dubrow, D. ve Krarti, M. (2010). Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings. *Building and Environment*, 45(7), 1574–1581.
- Umdü, E. S., Kahraman, İ., Yildirim, N. ve Bilir, L. (2018). Optimization of microalgae panel bioreactor thermal transmission property for building façade applications. *Energy and Buildings*, 175, 113–120.
- Vajkay, F. ve Zizka, L. (2014). Assessment of daylighting design tools against test cases included in CIE's 171:2006 Report. *Advanced Materials Research*, 899, 352–355.
- Wong, I. L. (2017). A review of daylighting design and implementation in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 959–968.
- Wu, T. ve Lei, C. (2016). Thermal modelling and experimental validation of a semi-transparent water wall system for Sydney climate. *Solar Energy*, 136, 533-546.
- Wurm, J. ve Pauli, M. (2016). SolarLeaf: The world's first bioreactive façade. *Architectural Research Quarterly*, 20(01), 73–79.
- Wurm (bt). *Worldwide first façade system to cultivate micro-algae to generate heat and biomass as renewable energy sources*. 20 Eylül 2020, <https://www.arup.com/projects/solar-leaf>.
- Yu, X. ve Su, Y. (2015). Daylight availability assessment and its potential energy saving estimation –A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 494–503.
- Yaman Y., Tokuç, A., Şener, I., Altunacar, N., Köktürk, G., Deniz, I. ve Ezan, M. A. (2021). Energy efficient buildings with algae. *7th International Conference on Environment and Renewable Energy, (ICERE 2021)*, Qingdao, China: March 26-28, 2021.

- Yang, L., Yan, H., ve Lam, J., C. (2014). Thermal comfort and building energy consumption implications – A review. *Applied Energy*, 115, 164–173.
- Yılmaz, Z. (2012). *Bina performans modelleme ve simülasyonları*. 10 Kasım 2021. <https://www.ekoyapidergisi.org/bina-performans-modelleme-ve-simulasyonlari>.
- Zhang, T., Baasch, G., Ardakanian, O. ve Evins, R. (2021). On the Joint Control of Multiple Building Systems with Reinforcement Learning. *Proceedings of the Twelfth ACM International Conference on Future Energy Systems*, Italy: July, 28 – June, 2, 2021.
- Zhao, J. ve Du, Y1. (2020). Multi-objective optimization design for windows and shading configuration considering energy consumption and thermal comfort: A case study for office building in different climatic regions of China. *Solar Energy*, 206, 997-1017.

EKLER

EK- 1 Kısaltmalar

EGA	Elverişli Günışığı Aydınlatması
EKY	Enerji Kullanım Yoğunluğu
FBR	Fotobiyoreaktör
GA	Genetik Algoritma
GF	Günışığı Faktörü
GIKK	Güneş Isısı Kazanım Katsayısı
GKO	Günışığı Kamaşma Otonomisi
GO	Günışığı Otonomisi
İKİ	Isıl Konfor İhlali
KO	Kamaşma Otonomisi
MGO	Mekansal Günışığı Otonomisi
NOSH	Normalleştirilmiş Ortalama Sapma Hatası
OID	Ortalama Isıl Duyum
OKHDK	Ortalama Karekök Hatanın Değişim Katsayısı
OSH	Ortalama Sapma Hatası
PDO	Pencere Duvar Oranı
SKH	Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri
TMY	Tahmini Memnuniyetsizlik Yüzdesi