



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



FOTOBİYOREAKTÖR PENCERE
SİSTEMLERİNİN BİNADA GÖLGELEMeye
ETKİSİ ÜZERİNE DENEYSEL ÇALIŞMA

Şeyma Nur UĞUZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Ocak-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Şeyma Nur UĞUZ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOBİYOREAKTÖR PENCERE SİSTEMLERİNİN BİNADA GÖLGELEMeye ETKİSİ ÜZERİNE DENEYSEL ÇALIŞMA

Şeyma Nur UĞUZ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih CANAN

2022, 68 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Fatih CANAN
Prof. Dr. M. Bilal BAĞBANCİ
Doç. Dr. Bilgehan YILMAZ ÇAKMAK

Günümüzde binalarda gölgeleme elemanları ile termal konforu artırmak ve soğutma amacıyla tüketilen enerjiyi azaltmak için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Önceki yıllarda daha çok binaların güneş ışığına göre yönlendirilmesi ya da farklı özelliklerde camların kullanılması ile güneş ışığı etkisi azaltılmaya çalışılıyordu. Son yıllarda ise bitkisel cepheler kullanılarak gölgelendirme yapılması ile ilgili çalışmalar görülmektedir. Fotobiyoreaktör cephe sistemleri (PBR) ise bunun son örneklerinden bir tanesidir. PBR sistemlerde yetiştirilen mikroalgler hem atmosferdeki karbondioksit gazını azaltmakta hem de biyoyakıt ve gıda maddesi olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada Fotobiyoreaktör pencere sistemi ½ ölçekte inşa edilen ahşap yapıya entegre edilmiştir. Tabanı 1,5 m × 2 m ve yüksekliği 1,5 m olan tek açıklıklı 2 adet ahşap yapı modeli inşa edilmiştir. Her iki modele de 50×50 cm ebatlarında 1 adet pencere ve 45 cm×100 cm ebatlarında 1 adet dış kapı takılmıştır. Aynı özelliklere sahip ve aynı malzeme kullanılarak yapılan 2 modelden, bir tanesine fotobiyoreaktör pencere sistemi entegre edilerek gölgelemeye, iç ortam sıcaklığına, gün ışığına, nem faktörüne ve termal konfora olan etkisi diğer kontrol modeli ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca binaların iç ve dış ortam havasında bulunan başta karbondioksit olmak üzere diğer sera gazlarının yenilenebilir enerji kaynağı olan mikroalglerle azaltılması planlanmıştır.

Çalışmada elde edilen veriler, binalarda gölgeleme etkisi ve daha birçok etken açısından fotobiyoreaktör pencere sistemlerinin uygulanabilirliğini göstermektedir. Fotobiyoreaktörlerin bina cephelerinde kullanılarak ve iç mekan tasarımları ile desteklenerek mimarlık disiplinine entegre edilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: fotobiyoreaktör, gölgeleme, küresel ısınma, microalg, pencere, sürdürülebilirlik.

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF PHOTOBIOREACTOR WINDOW SYSTEMS ON SHADING IN BUILDINGS

Şeyma Nur UĞUZ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Architecture**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih CANAN

2022, 68 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Fatih CANAN
Prof. Dr. M. Bilal BAĞBANCİ
Assoc. Prof. Dr. Bilgehan YILMAZ ÇAKMAK**

Today, various studies are carried out to increase thermal comfort and reduce the energy consumed for cooling with shading elements in buildings. In previous years, it was tried to reduce the effect of sunlight by directing the buildings according to sunlight or using glasses with different properties. In recent years, there have been studies on shading using green facades. Photobioreactor façade systems (PBR) are one of the latest examples of this. Microalgae grown in PBR systems both reduce carbon dioxide gas in the atmosphere and can be used as biofuel and food material.

In this study, the Photobioreactor window system was integrated into the wooden structure built at ½ scale. Two single-span wooden building models with a base of 1.5 m × 2 m and a height of 1.5 m were constructed. A window of 50×50 cm and an outer door of 45 cm×100 cm are fitted to both models. Photobioreactor window system was integrated into one of the 2 models with the same properties and made using the same material, and its effect on shading, indoor temperature, daylight, humidity factor and thermal comfort was compared with the other control model. In addition, it is planned to reduce other greenhouse gases, especially carbon dioxide, in the indoor and outdoor air of buildings with microalgae, which is a renewable energy source.

The data obtained in the study show the feasibility of photobioreactor window systems in terms of shading effect and many other factors in buildings. It has been seen that photobioreactors can be integrated into the discipline of architecture by using them on building facades and supporting them with interior designs.

Keywords: photobioreactor, shading, global warming, microalgae, window, sustainability.

ÖNSÖZ

Çalışmamı hazırlarken, değerli bilgileriyle bana destek olan tez danışmanım Doç. Dr. Fatih CANAN' a, 'Mikroalg' çalışmalarına ilgi duymamı sağlayan, beraber başladığımız bu tez çalışmamın her aşamasında emeği bulunan ve her ihtiyacım olduğunda yanımda olan çok değerli abim Arş. Gör. Seyit Uğuz'a, çalışmamda her anlamda büyük katkıları olan Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bölümüne ve bölümdeki değerli hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Destek ve yardımlarda bulunan arkadaşım Emine İşin'e ve abim İhsan Demirtaş' a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim de dahil olmak üzere bütün öğrenim hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen, benimle birlikte tüm güzellikleri ve zorlukları paylaşan anne ve babama, akademik süreç konusunda beni her zaman yüreklendiren ablalarım Şerife Uğuz Arsu'ya, Buket Uğuz'a, eniştem Talip Arsu'ya ve varlığıyla bana destek olan minik yeğenim Fatih Arda Arsu'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Şeyma Nur UĞUZ
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	3
1.2. Çalışmanın Kapsamı	4
1.3. Çalışmanın Yöntemi.....	5
1.4. Literatür Araştırması	5
2. MİKROALGLER VE FOTOBİYOREAKTÖR SİSTEMLER	8
2.1. Bina Cephelerinde Fotobiyoreaktör Sistem Uygulamalarının Örnekleri	17
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	23
3.1. MATERYAL	23
3.1.1. Yapının Konumu ve İklimsel Özellikleri.....	23
3.1.2. 1/2 Ölçekli yapı.....	24
3.1.3. Fotobiyoreaktör.....	25
3.1.4. Alg Kültürü	27
3.1.5. Kültür Ortamı.....	28
3.1.6. Çevre koşulları (ışık, sıcaklık, pH)	29
3.2. YÖNTEM	30
3.2.1. Alg kültürünün gelişme oranının ölçülmesi.....	30
3.2.1.1. Hücre sayım yöntemi	30
3.2.1.2. Sıcaklık ölçümü	30
3.2.1.3. Işık Ölçümü.....	30
3.2.1.4. İstatistiksel Analiz.....	31
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	32
4.1. Gölgeleme etkisi	32
4.2. Güneş ışığı Düzeltme Faktörü.....	36
4.3. Sıcaklık	39
4.4. Nem.....	43
4.5. Termal Konfor Analizi.....	44
4.5.1. PMV ve PPD Hesabı.....	44
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48

KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	58



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

CO_2	: Karbondioksit
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	: Kalsiyum klorür dihidrat
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	: Bakır Sülfat Pentahidrat
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	: Kobalt(II) Nitrat
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	: Bakır Sülfat Pentahidrat
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	: Kobalt(II) Nitrat
EDTA $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$	: Ethane-1,2-diyl dinitrilo/tetraacetic acid
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	: Demir(II) sülfat heptahidrat
H_2SO_4	: Sülfürik asit
H_3BO_3	: Borik asit
K_2HPO_4	: Di-potasyum hidrojen fosfat
KOH	: Potasyum hidroksit
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	: Mangan(II) klorür tetrahidrat
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	: Magnezyum sülfat heptahidrat
NaNO_3	: Sodyum nitrat
MoO_3	: Molibden trioksit
NaCl	: Sodyum klorür
O_2	: Oksijen
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	: Çinko sülfat heptahidrat
$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$	: Mikromol/metrekare/saniye
μ	: Spesifik büyüme hızı (gün ⁻¹)
N_{t1}	: t_1 inci gündeki hücre konsantrasyonu (hücre sayısı/mL)
N_{t0}	: t_0 ncı gündeki hücre konsantrasyonu (hücre sayısı/mL)

td	: İkilene süre (gün)
L	: Litre
ml	: Mililitre
vvm	: hacim/hacim/dk
g	: gram
m	: metre
m ²	: metrekafe
°C	: Celcius Centigrade Degree
cm	: santimetre
mg	: miligram
pH:	: Asitlik veya bazlık derecesi

Kısaltmalar

ATP	: Adenozin trifosfat
BBM	: Bold's Basal Medium
CBE	: Thermal Comfort Tool
COMBO	: Modified Combo Medium
IPCC	: İklim Değişikliği Paneli
IBA	: Uluslararası Bina Sergisi
İDÇS	: İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
PBR	: Fotobiyoreaktör
PPD	: Predicted Percentage Dissatisfied
PMV	: Predictive Mean Vote.
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

1. GİRİŞ

Ülkemizde son 10 yılda toplam bina sayısı, binalarda kat sayısı ve bunlara bağlı olarak binalarda enerji tüketimi sürekli artmıştır. Türkiye'nin yıllık yeni yapılaşma oranı %4'den fazladır ve ülkemiz Avrupa kıtasında en hızlı yapılaşmaya sahip ülkedir (Anonim 1, 2019). TÜİK 2020 verilerine göre Türkiye'de yaklaşık 9,3 milyon bina bulunmakta ve bunların da %87'sini konut oluşturmaktadır. İnşaat sektörü ve sektörde üretilen malzemelerden kaynaklanan sera gazı emisyonları iklim değişikliğinde olumsuz yönde rol almaktadır. Avrupa'da sera gazı emisyonlarının %45'lik bir bölümü inşaat sektöründeki enerji kullanımından kaynaklanmaktadır (Candemir ve ark., 2012). Binalardan kaynaklanan enerji tüketiminin %80-90'lık kısmını ısınma, aydınlanma, havalandırma gibi binanın sürekli ihtiyaçlarından, %10-20'lik kısmını ise yapı malzemelerinin üretimi ve yapıların inşasından kaynaklanmaktadır (Cheng ve ark., 2008).

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sera gazları çevre kirliliği ve küresel ısınmaya olan olumsuz etkilerinden dolayı çevresel bir problem haline gelmiştir. 2018 yılı TÜİK verilerine göre Türkiye'nin toplam sera gazı emisyon miktarı 1990 yılına göre %135,4'lük bir artışla 496,1 Mt CO₂ eşdeğerliğine ulaşmıştır. Kişi başına düşen emisyonlar 1990 yılında 3,8 ton/kişi iken 2016 yılında 6,3 ton'a yükselmiştir (TÜİK, 2020).

Atmosferde büyük oranda artan insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının iklim olaylarındaki olumsuz etkisini azaltmak için 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe konulan, genelde İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (İDÇS) olarak isimlendirilen sözleşme günümüze kadar yaklaşık 200 ülke ve Avrupa Birliği tarafından onaylanmıştır (Akyel, 2009). İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin ilk hedefi, iklimde meydana gelen ve gelecek olan olası değişiklikleri belirlemektir. İklim değişiklikleri günümüzde insanlığın yaşadığı en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir. Bütün bu iklim değişikliklerinin en temelinde ise küresel ısınma yer almaktadır (İnam, 2018).

1988 yılında Dünya Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletler Çevre programı desteğiyle ülkeler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) oluşturulmuştur ve 1992 yılında sözleşme imzalanmıştır. Bu sözleşmeye taraf ülkelerin 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarının azaltımı ile ilgili girişimde bulunmaları gerekmektedir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği için ülkeler arasında 1997 yılında Japonya'da düzenlenen Kyoto Protokolü, 2015 yılında Paris İklim Zirvesi'nde sera gazlarının azaltımı ile ilgili kararlar

alınmıştır. Bu protokoller ile Türkiye'nin de içinde bulunduğu 196 ülke gelecek yıllarda sera gazı emisyonlarının azaltılması için anlaşma yapmışlardır (Oral ve Uğuz, 2020).

Günümüzde gelişmiş ülkeler başta olmak üzere özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi oldukça fazladır. İngiltere 2008 yılında "İklim Değişikliği Yasası" ile aldığı kararda 2016 yılından sonra yapılacak bütün kamu ve özel sektör binalarının sıfır karbon yasasına göre inşa edilmeleri zorunluluğu getirmiştir. Avrupa Birliği ise enerji verimliliği ve karbon salınımının azaltılması için 2002 yılında "Binalarda Enerji Verimliliği Yönetmeliği" çıkartmış ve bu yönetmeliği her beş yılda bir revize etmektedir. 2020 yılından itibaren yapılaşmada hedef neredeyse sıfır enerji (nearly zero-energy) esasına dayanmaktadır. Bu esasa göre yapılan binalarda hem enerji tüketiminin en aza indirilmesi hem de ihtiyaç duyulan enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması amaçlanmaktadır (Candemir ve ark., 2012).

Binalarda dış cephe, yapı performansını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Yüksek performans, dış cephe sisteminin ısı ve nem gibi termal iletimin sağlanması, güneş enerjisinden faydalanma ve hava geçirgenliği açısından önemlidir. Bu da yapının tasarımında, binanın mimarisi, cephe sistemi, pencere boyutları ve özellikleri gibi faktörlerle sağlanmaktadır.

Pencereler, teknik özellikleri ve boyutları bakımından düşünüldüğünde yapının iç ortam termal konforunu, doğal aydınlatmayı ve dış cephe estetiğini doğrudan etkilemektedir. Binalarda iç ortam sıcaklığında oldukça etkili olan pencereler iç ortam ve dış ortam arasındaki ısı transferinde etkin bir rol almaktadırlar (Guo ve Liu, 2020). Özellikle sıcak iklim bölgelerinde pencere ve gölgeleme elemanları gün ışığını kontrol etmede oldukça önemlidir.

Dünyada binalardan kaynaklı enerji kullanımı bütün enerji kullanımının yaklaşık %40-60'ını oluşturmaktadır. Son yüzyılda mevcut enerji kaynaklarının azalması ile birlikte binalarda enerji tasarrufu gündeme gelmiştir. Enerji kaynaklarının minimuma indirilmesi ve çevre kirliliğinin azaltılması için yapılarda enerji etkin tasarım önem kazanmıştır. Binalarda pencereler, dış ortamla direk bağlantılı olduklarından yapılarının ısıtma, soğutma ve havalandırılması açısından bina enerjisinde büyük etkisi olan yapı elemanlarıdır. Bu sebeple pencere sistemlerinin tasarımında bina enerji performansını minimuma indirecek etkin tasarım modelleri gündeme gelmiştir (Yurttakal, 2007).

Günümüzde binalarda gölgeleme elemanları ile termal konforu artırmak ve soğutma amacıyla tüketilen enerjiyi azaltmak için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Önceki yıllarda daha çok binaların güneş ışığına göre yönlendirilmesi ya da farklı özelliklerde camların kullanılması ile güneş ışığı etkisi azaltılmaya çalışılıyordu (Inoue, 2003; Sun ve ark., 2014). Son yıllarda ise bitkisel cepheler kullanılarak gölgelendirme yapılması ile ilgili çalışmalar görülmektedir (Blanco ve ark., 2021; Zhang ve ark., 2021; Jegede ve ark., 2021; Cuce ve ark., 2021). Fotobiyoreaktör cephe sistemleri ise bunun son örneklerinden bir tanesidir. Fotobiyoreaktör cephe sistemlerde, mikroalgler güneş enerjisini kullanarak fotosentez yoluyla hem karbondioksit emisyonlarını azaltmakta hem de yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle üretimi sağlamaktadır. Elnokaly ve Keeling (2016) çalışmalarında alg teknolojilerinin %67 oranında gölgeleme katsayısına sahip olduğunu ve mimari cephelerde gün ışığı düzenleyicileri olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Günümüzde mikroalglerin fotosentetik aktiviteleri sayesinde karbondioksit gazının biyokütle üretilerek azaltılması, biyokütlenin gıda maddesi olarak kullanılması ile ilgili birçok uygulama bulunmaktadır. Ayrıca binaların gölgelemesinde farklı malzeme türleri ile yapılan ve alternatif cephe ve yapı malzemeleri oldukça fazladır. Ancak, bu çalışmanın konusunu oluşturan mikroalg kültürlerinin bulunduğu fotobiyoreaktör aracılığıyla binaların pencerelerinde gölgeleme elemanı olarak kullanılması özgün bir çalışmadır. Bu çalışma sadece binalarda gölgeleme ve termal konforu sağlamakla kalmayıp, biyoyakıt eldesi de sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın en önemli amacı ise, çevre kirliliğine sebep olan sera gazlarının mikroalgler ile azaltılmasını sağlayan özgün bir biyoteknolojik pencere sistemi geliştirmektir. Bu sistemin çıktısı olan biyoyakıt ve biyoürünler ise sürdürülebilir binalara bir örnek oluşturabilecektir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Çalışmada, binaların penceresine entegre edilen fotobiyoreaktör sistemin yapıda gölgeleme ve iç ortam sıcaklığına, gün ışığına, nem faktörüne ve termal konfora olan etkisi incelenmiştir.

Bu kapsamda çalışmanın hedefleri şu şekilde sıralanabilir;

- ½ ölçekli bir yapı modeline fotobiyoreaktör pencere sisteminin entegre edilerek PVC pencere sistemi ile karşılaştırılması,

- Binaya entegre edilen fotobiyoreaktör pencere sisteminin yapı iç ortamında gölgelemeye, sıcaklık ve nem faktörlerine etkisinin incelenmesi,
- Fotobiyoreaktör pencere sisteminin entegre edildiği yapı modeli için termal konfor analizinin yapılması,

Yapılan çalışmalara bakıldığında microalgler kullanılarak tasarlanan fotobiyoreaktör sistemlerinin, mimari alanda kullanımını incelemek ve farklı alanlarda kullanılan fotobiyoreaktör sistemlerinin mimarlık alanında da etkin bir şekilde kullanımı için tanıtılması amaçlanmıştır.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Çalışmada microalgler ve microalglerin fotobiyoreaktör sistemlerdeki uygulamaları araştırılmıştır ve bu araştırmalar ışığında microalglerin kullanıldığı fotobiyoreaktör pencere sistemi ½ ölçekte inşa edilen ahşap yapıya entegre edilmiştir. Elde edilen sonuçlar olumlu ve olumsuz yönleriyle anlatılmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde iklim değişiklikleri ve küresel ısınmadan bahsedilerek çalışmanın amacı, kapsamı, yönteminden bahsedilmiş ve konu ile ilgili yapılan literatür araştırmaları anlatılmıştır. İkinci bölümde microalgler ve fotobiyoreaktör sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra mikroalglerin ve fotobiyoreaktör cephe sistemlerinin bina cephelerinde kullanımı ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, materyal ve yöntem başlığı altında *Ankistrodesmus falcatus* kullanılarak tasarlanan, fotobiyoreaktör pencere sistemi olan ve ½ ölçekte inşa edilen 2 adet ahşap yapı uygulaması tanıtılmıştır. Aynı özelliklere sahip olan ve aynı malzeme kullanılarak yapılan 2 modelden, bir tanesine fotobiyoreaktör pencere sistemi entegre edilerek gölgelemeye, iç ortam sıcaklığına, gün ışığına, nem faktörüne ve termal konfora olan etkisi diğer kontrol modeli ile karşılaştırılmıştır.

Dördüncü bölümde ise, yapılan uygulama sonucu elde edilen veriler açıklanmıştır. Belirlenen parametrelerdeki karşılaştırmalar yapılmıştır. Son bölümde ise, fotobiyoreaktör pencere sisteminin ½ ölçekte uygulanması sonucu elde edilen verilerin sonuçları değerlendirilmiştir.

1.3. Çalışmanın Yöntemi

Çalışmada tabanı 1,5 m × 2 m ve yüksekliği 1,5 m olan tek açıklıklı 2 adet ahşap yapı modeli inşa edilmiştir. Her iki modele de 50×50 cm ebatlarında 1 adet pencere ve 45 cm×100 cm ebatlarında 1 adet dış kapı takılmıştır. Aynı özelliklere sahip ve aynı malzeme kullanılarak yapılan 2 modelden, bir tanesine fotobiyoreaktör pencere sistemi entegre edilerek gölgelemeye, iç ortam sıcaklığına, gün ışığına, nem faktörüne ve termal konfora olan etkisi diğer kontrol modeli ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmada kontrol modeli ile diğer model istatistiksel olarak karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Elde edilen veriler ile belirlenen bütün faktörler kendi içerisinde değerlendirilmiştir.

1.4. Literatür Araştırması

Bu tez için birçok yerli ve yabancı kaynaklardan faydalanılmıştır. Bu kaynaklar içerisinde tezler, bildiriler ve makaleler yer almaktadır. Bu kaynakların içeriğinde örnek teşkil edecek çalışmalar bulunmaktadır.

İlk fotobiyoreaktör cephe sistemin entegre edildiği bina, 2013 yılında Almanya'da Hamburg Uluslararası Bina Sergisi'nde inşa edilmiştir. Binanın dış cephesinde 129 tane biyoreaktör kullanılmıştır. Şu an, alg cephe sisteminin binanın toplam enerji ihtiyacının %50'sini karşıladığı bilinmektedir. Ayrıca firmanın tasarımcısı, fotobiyoreaktör sistemin güç ve pompa sistemlerinin enerjisinin binadaki solar paneller sayesinde sağlandığını belirtmiştir. Alg cephe sistemlerinin uygulandığı bir diğer bina ise 2011 yılında Los Angeles'da inşa edilen GSA Federal binasıdır. Yine aynı firma San Francisco'da sıfır enerjili Battery Park projesinde fotobiyoreaktör cephe sistemi ile alg üreterek CO₂ emisyonu azaltımını hedeflemiştir (Dakheel ve Aoul, 2017).

Kim (2013), binalarda alg cephe sistemlerin performansı ve prototip örnekleri üzerinde fizibilite çalışmaları yapmıştır. Alg cephe sisteminin binada enerji tüketimini ve CO₂ emisyonunu %30 oranında azalttığı sonucuna varmıştır.

İnam (2018) çalışmasında, fotobiyoreaktör sistemlerin binalara entegre edilmesini laboratuvar ölçeğinde incelemiştir. Farklı besi ortamlarında ve karbondioksit seviyelerinde alg gelişimini gözlemiş ve %80 seyreltilmiş besi ortamı ve %5 CO₂ seviyesinde en verimli alg gelişimi elde etmiştir.

Pruvost ve ark. (2016) çalışmalarında, PBR cephe sistemlerin binalara uygulanabilirliğinde cephe sistemin yapım maliyetinin, CO2 desteği ve ısı transferinin doğrudan etkili faktörler olduğunu belirtmişlerdir.

Martokusuma ve ark. (2017) çalışmalarında, sıcak iklim koşullarında alg cephe sistemlerinin iç ortamı sıcaklığına etkisini diğer cephe sistemleri ile karşılaştırmışlardır. Laboratuvar koşullarında yaptıkları çalışmada, iki farklı gölgeleme sistemi fotobiyoreakör cephe sistemi ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada, 3 tip cephe sisteminin bulunduğu bir ofis binası için sıcaklık, aydınlanma ve oksijen salınımı değerleri 24 saatlik bir deneyde incelenmiştir. 40×60×60 cm ebatlarında ahşaptan yapılan bir kutu yapı gibi düşünülerek dış cephesine 60×70×5 cm ebatlarında PBR entegre edilmiştir. Sıcaklık için iç ortam ve dış ortam sıcaklık farklılıkları hesaplanmıştır. Aydınlanma için ise iç ortam ışık akısı ölçülmüştür. İç ortam hava kalitesi için ise alg üretimi sonucu havaya salınan oksijen miktarı ölçülerek hava kalitesine etkisi incelenmiştir. Elde edikleri sonuçlara göre, soğuk hava koşullarında diğer iki gölge cephe sistemlerinin olduğu yapıda iç ve dış ortam sıcaklık farklılıkları sırasıyla 3.4 ve 3.5°C iken alg cephe sisteminde bu farklılık 6.4°C olarak bulunmuştur. Martokusuma ve ark. (2017) çalışmalarında, soğuk havalarda alg cephe sisteminin yapıda iç ortam sıcaklığını artırırken sıcak havalarda ise iç ortamı serin tuttuğu sonucuna varmışlardır.

Kim (2013) çalışmasında, alg cephe sistemlerinin yapısal, termal ve çevresel performansını deneysel ve bilgisayar modellemesi ile incelemiştir. Kim çalışmasında, iki farklı tip cam panel cephelere karşı alg cephe sisteminin termal ve yapısal performansını, aydınlanma ve gölgeleme kapasitesi ile iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesindeki etkinliğini incelemiştir. Ön termal değerlendirme sonucu, ısı konfor sağlamak için çift kat akrilik panel gerekmesine rağmen, alg cephesinin U faktörünün low-e kaplamalı yalıtımlı cam ünitesi ile karşılaştırılabilir olduğunu göstermiştir. Çalışmada, 152.4 cm×365,76 cm ebatlarındaki bir fotobiyoreaktör tank başına oksijen ve biyokütle üretimi hesaplanmıştır. Saatte 70 litre oksijen üretimi, biyokütlede 2,12-21,2 g/panel/gün ve *Chlorella vulgaris* için 1,2-4,2 g/ panel/gün yağ elde edilmiştir.

Kim ve Patel (2018) çalışmalarında, New York City’de bulunan bir ofis binasının alg cephe sistemi üzerine tasarlanması için bir simülasyon yapmışlardır. Simülasyonun enerji analizi için binanın orijinal hali ve alg cephe sistemli olarak iki farklı model kullanılmıştır. Sonuçlar, bir binanın enerji tüketimini ve çevresel etkiyi mikroalg cepheye uyarlayarak azaltmanın mümkün olduğunu göstermiştir. Alg cephe

sistemli binanın CO2 emisyonlarını 200 ton azaltabileceğini ve ayrıca 30 yıllık bir süre içinde 10 milyon dolardan fazla para kazandırabileceğini belirtmişlerdir.

Sünger (2019) çalışmasında Konya ilinde bulunan tarihi İl Milli Eğitimi Müdürlüğü binasının alg cephe sistemi ile tasarlanması üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmada tarihi binanın seçilme sebebi ise, alg cephe sistemlerinin sadece yeni binalara değil mevcut binalara uygulanabilirliğini de incelenmek istenmiştir. Çalışmada literatürde alg cephe sistemleri üzerine yapılan çalışmalar ve binalar incelenmiştir. Bu doğrultuda yine literatürde alglerin gelişimi için gerekli fiziksel ve çevresel koşullarda araştırılarak tarihi binaya entegre edilebilirliği araştırılmıştır. Fotobiyoreaktörlerin dış cephede termal buffer oluşturarak yalıtıma olumlu yönde etkisi olacağını belirtmiştir. Ayrıca mikroalglerin binaların kirli su arıtımında kullanılabileceğini belirtmiştir.

Dakheel ve Aoul (2017) çalışmalarında, alg cephe sisteminin bir PV ve güneş kollektörüne entegre edilmiş bir aktif gölgeleme sistemi sağlayabileceğini ve ayrıca elektrik üretimi de dahil olmak üzere çift faydaya sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Alg cepheler üzerine yapılan başka bir çalışmada, Sarda ve Vicente (2016) bina cephelerine entegre enerji verimli farklı türde PBR'lar geliştirmiştir. Çalışmada, 8 farklı temel duvar ile entegre edilmiş PBR prototiplerinin yalıtım performansını incelenmiş ve tüm prototiplerde ısı transferinin azalarak enerji tasarrufu sağladığını belirtmişlerdir. Mikroalglerin bina cephelerine entegre edilmesinin enerji tasarrufu sağlamasının ana nedenlerini; önce alglerdeki fotosentezin güneş absorpsiyonu ve gölgeleme ile sıcaklığı düşürdüğünü, ikinci olarak da mikroalglerdeki su ortamı akustik ve ısı yalıtımını arttırdığını belirtmişlerdir.

Umdü ve ark. (2018) yaptıkları deneysel çalışmada, çeşitli fotobiyoreaktörlerin farklı rezervuar, hava tabakası ve rezervuar duvar kalınlıkları için termal U-faktör değerini incelemişlerdir. Box-Behnken yöntemi ile 13 farklı düz panel PBR ile 15 deney düzeneği kurmuştur. Tüm parametrelerin (rezervuar, hava tabakası ve rezervuar duvar kalınlıkları), U-değeri üzerinde önemli bir etki gösterdiğini ve en belirgin etkiyi ise rezervuar duvar kalınlığının gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda, bina cephesine entegre edilen alg cephe sistemlerin etkili yalıtımın yanı sıra gölgeleme gibi önemli avantajlarının olduğunu belirtmişlerdir.

2. MİKROALGLER VE FOTOBİYOREAKTÖR SİSTEMLER

Mikroalgler diğer fotosentetik canlılar gibi güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürmektedirler. Algler, su ekosisteminin birincil üreticilerini oluşturan tek hücreli ve çok hücreli mikroskobik canlı gruplarıdır. Dünyada kırk binden fazla mikroalg türü tanımlanmıştır ve bunların çoğunun besin değerleri oldukça yüksektir. Mikroalglerin yüzey alanlarının daha büyük olması onların hızlı besin almasını ve hücrelerinin daha hızlı büyümesini sağlamaktadır (Okomoda ve ark., 2021).



Şekil 2.1. Algler ve büyüme ortamları (Bibbens, 2015)

Birçok mikroalg türleri yüksek yağ veriminden dolayı biyoyakıt üretiminde kullanılmaktadırlar. Mikroalglerden elde edilen biyoyakıtın diğer biyoyakıtlara göre avantajları mevsimsel olmamaları, büyük ölçekli biyokütle üretiminin kolaylıkları, biyolojik olarak kolay parçalanabilir olmaları ve yenilenebilir kaynak olmalarıdır (Okomoda ve ark., 2021).

Biyokütle olarak kullanılan algler fotosentez yaparak büyümeye devam ederken aynı zamanda canlıların solunum yapabilmesi için ihtiyacı olan O_2 'i de atmosfere vermektedir. Buradaki en önemli olay fotosentezdir, çünkü biyokütleden biyoenerji elde edilirken yanarak serbest kalan karbonun miktarı, mikroalglerin gelişmeleri esnasında yaptıkları fotosentezde emilen karbon miktarına eşittir. Ve bunun sonucunda atmosferdeki CO_2 miktarı ve sera etkisi artmamaktadır. Ek olarak dünyanın bitki biyokütlesinin üçte biri mikroalglerden meydana gelmektedir. Bu sebeple alglerin biyoenerji üretiminde aktif olarak kullanılması oldukça önemlidir (Kükdamar, 2017).

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan Ankistrodesmus alg türü, Selenastraceae familyasından tek hücreli bir tatlı su yosunu türüdür. Ankistrodesmus, küresel olarak hem lentik tatlı sularda hem de büyük yavaş hareketli nehirlerde yaşamaktadır.

Ankistrodesmus türleri, fizyolojik çalışmalarda model tür olarak sıkça kullanılmaktadırlar çünkü diğer alg türlerine kıyasla çok farklı büyüme koşullarında hayatta kalabilmekte ve hızlı büyüme sergilemektedirler (Schomaker ve Dudycha, 2021). Örneğin; Ankistrodesmus falcatus türü, yüksek yağ içeriği ve biyokütle verimliliği olması nedeniyle birçok çalışmalarda biyodizel üretimi için kullanılmışlardır. Bu çalışmalar Ankistrodesmus sp.'nın kimyasal antibiyotiklere alternatif ve önemli bir yeşil enerji kaynağı olduğunu göstermektedir (Okomoda ve ark., 2021).

Birçok farklı çeşidi bulunan alglerin biyokütlelerinin ya da oluşturdukları ürünlerinin kullanım alanları oldukça geniştir. Uzun yıllar boyunca farklı ülkelerde alglerden elde edilen biyoküteller gıda amaçlı kullanılmıştır (Elyaries, 2018). Kullanım alanlarına bakıldığında gıda dışında atık su arıtımı, kimya, yem, endüstriyel alanlarda ve enerji üretimi ile ilgili çalışmalarda da biyokütle elde edilmektedir (İnam, 2018).

Alglerin enerji kaynağı olarak tercih edilmesinin birden fazla sebebi vardır (Klein ve ark., 2018). Her mevsimde istenilen dönemde üretilip hasat edilebilir. Kısa süre içerisinde biyokütlelerini 2 katına çıkarabilirler. Atık sular da dahil olmak üzere herhangi bir su kaynağında yaşayarak ürünlerini elde edebilirler. Zor şartlara dayanıklıdırlar, bu şartlar olsa bile üreyebilirler (İnam, 2018). Alglerden enerji elde edebilmek için büyük alanlara ihtiyaç yoktur (Tandon ve Jin, 2017). Alglerin oluşturduğu biyoyakıtlar birden fazla çeşit olabilmektedir (Salama ve ark., 2018).

Bitkisel kökenli diğer enerji kaynaklarına göre daha fazla biyokütle ve karbonhidrat, yağ üretebilirler (İnam, 2018). Fosil yakıtların kullanımını azaltırken aynı zamanda CO₂ emisyonlarını da azaltabilirler (İnam, 2018). Alglerin bütün bu avantajları maliyet azaltma çalışmaları ile birlikte geliştirildiğinde çevreye zarar vermeyen üretimler gerçekleştirilecektir.

Alglerin enerji kaynağı olarak kullanılmasındaki en büyük problemlerden biri fotobiyoreaktörlerin kurulması için gereken yüksek maliyet, alglerin yaşam koşullarının oluşturulması için ihtiyaç duyulanlar ve dış mekânda üretim için karşılaşılan atmosferik şartlardır (İnam, 2018).

Alglerin yetiştirilmesi için sıcaklık, su, pH, ışık ve fotosentetik verim, karıştırma koşulları, besinler ve gaz değişimi gibi çevresel şartlar önemlidir. Kullanılan her bir mikroalg türü için çevresel koşullar birbirinden farklıdır (Çalışkan E. ve Öner, 2018).

Alglerin yetiştirilme sürecinde hücre boyutunu, kimyasal içeriğini, beslenme tüketimini ve reaksiyon hızını etkilediği için sıcaklık önemli bir etkidir. Algler 15-40 derece gibi geniş bir sıcaklık aralığında yetişebilir. Dış ortamda yetiştirilme

durumlarında mevsim şartlarından kaynaklanan değişiklikler sıcaklık kontrolünü olumsuz etkilemektedir (İnam, 2018).

Diğer mikroorganizmalar gibi alglerin de büyüme yüzdesi sıcaklık optimum şartlara ulaşıncaya kadar artmaktadır. Optimum sıcaklık aşıldığı zaman bu sıcaklık artışı çoğalma hızını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple ortam şartlarına uygun alg türünün seçilmesi oldukça önemlidir. Bazı çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre büyüme sıcaklığının yüksek olması protein içeriğinin azalmasına, yağ ve karbonhidrat içeriğinin ise artmasına sebep olmaktadır fakat başka bir çalışmanın sonuçlarına bakıldığında ise bu durumun tam tersi olduğu tespit edilmiştir. Tutarsızlık gibi görünen bu farklılık aslında alglerin türüne göre sıcaklığın etkisinin farklı sonuçlar göstermesidir (Çalışkan E. ve Öner, 2018).

Algler için ışık miktarı ATP üretiminde ve fotokimyasal kısımda önemli ve gereklidir. Ayrıca ışık süresi, cinsi, miktarı ve erişilebilirliği fotosentez süreci ve biyokütle verimliliği için çok önemlidir. Işık geçirgenliği alglerin hücre yoğunluğuna göre değişir. Alglerin yoğunluğunun fazla olması gölgeleme nedeniyle fotosentetik verimliliği azaltabilir. Kapalı sistemlerde yapay ışıklandırma ile yüksek biyokütle verimliliği sağlanabilir. Ama büyük hacimli kapalı sistemlerde ışınlandırma sorun oluşturabilir. Fotobiyoreaktörlerde yapay ışıklandırma kullanılabilir fakat doğal ışıklandırmaya göre maliyetlidir (İnam, 2018).

Alg hücrelerindeki protein, yağ ve karbonhidrat miktarı üretim şartları (sıcaklık ve ışık yoğunluğu) ile birlikte farklılık gösterir. Işık kaynağı ve yoğunluğu, açık ya da kapalı alg sistemlerinde çoğalmayı etkileyen önemli etmenlerdendir. Işık kriteri fotosentez esnasında önemlidir. Işık verimliliği, alg cinslerinin yetiştirilmesinden olumlu sonuç alabilmek için her şartta en uygun seviyede olmalıdır. Gereğinden az olan ışık yoğunluğunda alg büyüme hızı azalmaktadır. Fotobiyoreaktörlerde algler, ışık dağılımında eşitsizliğe sebep olan yüksek yoğunlukta olmaktadır. Başka bir deyişle yüzeyde yer alan hücreler ışığa doğrudan maruz kalarak ışınımın çoğunu almaktadır. Fotobiyoreaktörlerde ışık almayan alanda kalan algler ise büyümelerini engelleyen ışığın sadece küçük bir kısmını alabilirler. Bundan dolayı ışık dağılımının eşitsizliği fotobiyoreaktörlerin var olan enerjiyi kullanma verimliliğinde azalmalara sebep olmaktadır (Çalışkan E. ve Öner, 2018).

Fotobiyoreaktörlerin verimliliğini arttırmak ve daha fazla alg biyokütlesi elde etmek için iyi bir ışıklandırma ile karanlık/aydınlık döngü modeli uygulanmalıdır. Dış

alanlardaki fotobiyoreaktörler de ışık faktöründen etkilenir. Bu fotobiyoreaktörlerde coğrafi konum, hava durumu ve saat önemlidir (Çalışkan E. ve Öner, 2018).

Ayrıca karıştırma faktörü alglerin büyümesinde oldukça yararlıdır. Güçlü bir karıştırma alg hücrelerini süspansiyon halinde tutar, besini homojen dağıtır ve ayrıca fotobiyoreaktörlerde oksijen birikimini engellemek için gaz-sıvı kütle akışını sağlar. Fakat alg hücrelerine zarar verecek gereğinden fazla karıştırmadan kaçınmak gerekir. Karıştırmanın diğer bir faydası ise ışıklanma esnasında karanlık alanda kalan alglerin aydınlık bölgeye taşınmasını sağlamasıdır. Bu aydınlık/karanlık döngüler, biyokütle verimini artırır (Çalışkan E. ve Öner, 2018).

Algleri yetiştirme ve hasat etme işlemlerinin ikisinde de enerji ve maliyet miktarı fazladır. Alglerden biyoyakıt üretimi için kullanılan işleme faaliyetleri sürdürülebilir olarak görülmemektedir. Alglerden biyokütle elde edebilmek için besin içerikleri uygun olan çoğalma ortamı olması şarttır. Kullanılan yöntemlerle çok fazla miktarda besin kullanımı gerekli olmaktadır. Bu yüzden gerekli olan besin miktarının elde edilmesi hususunda maliyetlerin artmasından kaynaklı, çevresel yarar-maliyet karşımıza çıkacaktır. Alglerin gelişebilmeleri için en önemli olan faktörler ışık (enerji), karbon kaynağı (CO₂), büyüme ortamı (su) ve besinlerdir (azot-fosfor). Alg türlerinin bazıları karbon kaynağı olarak endüstriyel atık su gibi atık kaynaklarını da kullanabilirler. Alglerin gelişimi için ihtiyaç duyulan besinlerin optimizasyonu üretim maliyetlerini azaltarak ekonomik yarar sağlamaktadır (Çalışkan E. ve Öner, 2018).

CO₂ bakımından zengin olan atmosferdeki hava ya da baca gazları alglerin yetiştirme ortamı için besin olabilirler (İnam, 2018). Fotototrofik gelişme esnasında algler karbondioksiti (CO₂) kullanırlar ve oksijen(O₂) üretimi yaparlar. Kapalı sistemlerde O₂ miktarı çok yüksek miktarlarda olduğunda algler bundan olumsuz olarak etkilenir. Bu yüzden CO₂/O₂ oranı dengeli olmalıdır (Çalışkan E. ve Öner, 2018).

Algler bitkilere benzeyen bu özellikleri sebebiyle bitkisel biyokütle sınıflandırılmasında yer almaktadır (Kükdamar, 2017). İlk olarak soya fasulyesi olmak üzere ayçiçeği, mısır, hindistan cevizi gibi birçok farklı karasal bitkilerden elde edilen yağlardan biyodizel üretimi yapılarak genelde kullanılan fosil yakıtların yerine düşünülen biyokütle kaynaklarının yetiştirilip üretilmesi için geniş tarımsal alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bitkisel kökenli biyodizel yakıtların üretimi, dünya genelinde beslenme kaynaklarını ve gelecekte ise tarımcılık faaliyetlerinin sürdürülebilirliği üzerinde etkisi olacaktır. Mikroalgleri diğer biyokütlelerden daha önemli olmasını sağlayan yağ üretim potansiyeli aşağıdaki Şekil 2.2 'de gösterilmiştir (Pekmezci, 2019).

Biyokütle hammaddesi	Dönüm başına düşen yıllık yağ üretimi (Litre)
Mısır	68
Soya fasülyesi	174
Ayçiçeği	371
Kakao	397
Kolza tohumu	462
Hindistan cevizi	1045
Palmiye yağı	2309
Algler	20000

Şekil 2.2. Yaygın Kullanılan Biyokütle Hammaddelerinin Enerji Eldesi İçin Yağ Üretim Potansiyelleri (Pekmezci, 2019).

Alglerin biyokütle içerikleri genel olarak protein, yağ ve karbonhidrattan meydana gelmektedir. Bu içeriklerin bulunma yüzdesi alglerin türüne ve büyüme şartlarına göre farklılık göstermektedir. Birçok farklı türü bulunan alglerin hepsi kendi türünün özelliklerini göstermektedir ve bu sebeple ortaya çıkan ürünler de birbirinden farklıdır. Alglerde bulunan karbon içeriği, kullanılan ışık kaynağına ve karbon miktarına göre yaklaşık %40-%50 gibi oranlarda olmaktadır. Alglerin protein içeriği ise organizmanın %50-%70 gibi oranlarda olan büyük çoğunluğunu meydana getirmektedir (İnam, 2018).

Şu anki teknoloji ile yenilebilir ürünler kullanılarak elde edilen yakıtlar, üretim maliyetlerinin yüksek olması ve bu ürünler elde edilirken geniş araziler kullanılmasıyla nedeniyle fosil yakıtların yerine geçebilmesi için iyi bir seçenek olarak görülmemektedir. Microalg gibi bir biyoyakıt kullanımına geçmek sürdürülebilir biyoyakıt için oldukça iyi bir alternatiftir (Pekmezci, 2019).

Microalgleri sürdürülebilir enerji kaynağı yapan şey, fotoototrofik olmaları yani enerji üretirken güneş enerjisini kullanmalarıdır. Farklı ürünlere işlenebilen biyokütle: biyogaz, biyoyakıt vb. gibi ve bunun yanı sıra kozmetik, ilaç ve gıda gibi birçok sektörde karşımıza çıkmaktadır. Algler biyokütle üretmek için atmosferdeki karbondioksiti emer ve bu durum iklim değişikliğini önlemek için oldukça etkilidir. . (Sarda ve Vicente, 2016).

Böylece, çoklu potansiyel kapasiteleri ve onlardan sağlanan faydalar sebebiyle, algler büyük ilgi gördü. Uzun vadeli ve karlı mikroalgler geliştirilen endüstriler, hem insanlar hem de insanlar için gıda üretimi ile ilgili çalışmalar yapmaktadırlar.

İçeriğindeki proteinleri ve diğer değerli bileşikleri nedeniyle algler yenilenebilir enerji alanında ilgi odağı olmuşlardır (Sarda ve Vicente, 2016).

Alglerin yetiştirilmesinde büyük ölçekli yetiştirilme çalışmalarındaki en büyük amaç, düşük maliyetli ve istenilen kalitede ürün yetiştirmektir. Büyük ölçekli yetiştirilme sistemlerinde sıcaklık, ışığın verimli kullanımı, kültürün devamlılığı ve belirli şartların sağlandığı gibi dikkat edilmesi gereklidir. Alg türlerinde istenilen büyüme kültür ortamlarında kendi türüne özgü koşulların uygun olmasıyla sağlanır (Kargın, 2020).

Algler kapalı sistem ya da açık baraj, göl, atık su ve benzeri büyük alanlarda gelişebilir. Algler için üretim sistemi seçilmesi ise alglerin cinsine, besinlerinin erişilebilirliğine, iklim koşullarına, sıcaklığına ve elde edilmek istenen ürüne bağlıdır. Alglerin üretim sistemleri çoğunlukla açık ya da kapalı sistemler şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Bir de kapalı ve açık sistemin bir arada olduğu hibrit sistemler mevcuttur (İnam, 2018).

Maliyetinin düşük olması ve daha basit bir sistem olması sebebiyle açık sistemler daha çok tercih edilmektedir. Fakat açık sistemlerde istenmeyen cinslerin gelişmesi ve verimliliğin daha düşük olmasından dolayı alg yetiştirilmesinde olumsuz durumlar oluşturmaktadır (Çalışkan E. ve Öner, 2018).

Kapalı sistemlerde, alglerin yetiştirilmesi için ihtiyaç duyulan fiziksel ve kimyasal etmenler kontrol dışı olmayacak şekilde hazırlanabilir. Bunlara ek olarak kapalı sistemler, elde edilmek istenen ürün dışında istenmeyen türlerin gelişmesini önlemesi, kültür ortamı şartlarının sabit tutulmasını ve ışık dağılımının ayarlanabilmesi gibi birçok avantajı vardır. Algler dış ortamlarda tanklarda ve havuzlarda üretilmektedir. İç ortamlarda küçük çaplı sistemler için torbalarda, büyük ölçekli sistemler için ise düz levha ve tübüler fotobiyoreaktörler gibi sistemlerde üretilmektedirler (Çalışkan E. ve Öner, 2018).

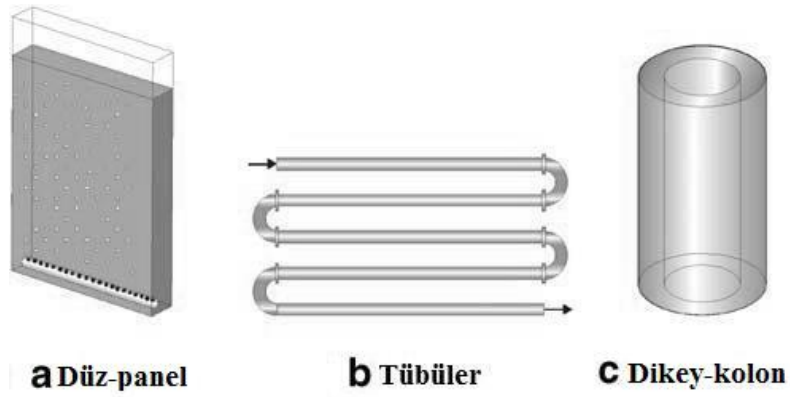


Şekil 2.3. Çeşitli fotobiyoreaktör örnekleri (Anonim 2, 2013)(Anonim 3, 2014)

Alg yetiştirilmesinde en temel ve eski yöntem açık sistemlerdir. Açık sistemler alglerin doğal yetiştirme ortamları ile neredeyse aynıdır. Bu sistemi kurmak ve sürdürmek için gereken maliyet miktarının düşük olması açık sistemin tercih edilmesinin en önemli sebeplerinden biridir. Açık sistemde alg yetiştiriciliğinde sistem kontrolü yok denecek kadar azdır. Bu sebeple elde edilmek istenen sonuçlara erişebilmek zordur. Sistemin kontrolsüzlüğü sebebiyle gereken miktarda alg yetiştirilemiyor ve elde edilmek istenmeyen cinlerin artması gibi sonuçlar ortaya çıkabilmektedir (Sayaner, 2013).

Açık sistemlerde elde edilen biyokütle verimi de oldukça azdır. Üretilen algin en uygun yetiştirilme koşullarını oluşturmak, ondan iyi bir verim sağlayabilmek için şarttır. Ama alglerin yetiştirilmesi için gereken bütün koşulları sağlamak, açık sistemlerde neredeyse imkansızdır (Sayaner, 2013).

Son zamanlarda alglerin kozmetik, ilaç, insan tüketimi ve benzeri alanlarda kullanılıyor olmasından dolayı alglerden elde edilen ürünlerin ağır metaller ve bu metalleri içerebilecek mikroorganizmaları içeriğinde barındırmaması gerekmektedir. Bu sebeple alglerin yetiştirilmesinde kapalı sistemler daha önemli hale gelmektedir. Günümüzde kapalı fotobiyoreaktör sistemlerinin kurulmasına yönelik araştırmalar artmış ve bu konuda önemli gelişmeler elde edilmiştir. Araştırmalardaki temel amaç ışık verimliliğini artırmak ve her bir alg hücresine eşit miktarda ışığın ulaşmasını sağlamaktır (Şahin ve Akyurt, 2010).



Şekil 2.4. Düz-panel, tübüler ve dikey-kolon fotobiyoreaktörler (Conk D. ve ark., 2008).

Aslında kapalı sistemler açık sistemlerde oluşan bazı dezavantajları ortadan kaldırmak için kullanılmaya başlanmıştır. Kapalı sistemlerde alg üretilmesinde kullanılan reaktörler şekillerine göre; düz-panel, tübüler ve dikey-kolon fotobiyoreaktörlerdir. Kapalı sistemler alg kültürleri için korunaklı bir ortam oluşturmaktadır. Açık sistemlere göre daha uygun pH ve sıcaklık, daha iyi karıştırma sistemi, buharlaşmadan kaynaklanan kayıpların daha az olması, biyokütle verimliliğinin istenilen seviyede olması gibi birçok konuda daha avantajlıdır. Fakat bir de fazla miktarda çözünmüş oksijenin fotosenteze engel olması, istenilenden daha fazla ısınma, mikroorganizmaların hasar görmesi ve ışıklandırma sisteminde kullanılan ürünlerin bozulması gibi dezavantajları da vardır (Oktor, 2018).

Tübüler en çok kullanılan fotobiyoreaktör çeşididir (İnam, 2018). Uzun süreli kültür ortamı için uygunluk sağlaması, bütün faktörler için kontrol mekanizmasının olması, açık sistemlerle kıyaslandığında daha az alana gereksinim duyulması, elde edilen ürünlerden yüksek verimlilik sağlanması gibi birçok faktörün etkisiyle ticari amaçlı alg yetiştirilmesi için tercih edilmektedir (Oktor, 2018).

Panel fotobiyoreaktörler, geniş ışık alma yüzeyleri ve ince yapıları sebebiyle fotobiyoreaktör çeşitlerinden en verimli olanı şeklinde düşünülmektedir. Panel fotobiyoreaktörlerin diğer fotobiyoreaktörlere göre daha yüksek fotosentetik verim elde sağlandığı gözlemlenmiştir (Pekmezci, 2019).

Dikey kolon fotobiyoreaktörler, iyi bir karıştırma ve kontrol edilebilir bir üretim sağlayan sistemlerdendir. Üretimi basittir ve yüksek miktarda ışığa maruz kalmaya olanak tanır (Pekmezci, 2019).



Şekil 2.5. Dikey kolon fotobiyoreaktörler (Anonim 2, 2013)(Anonim 3, 2014)

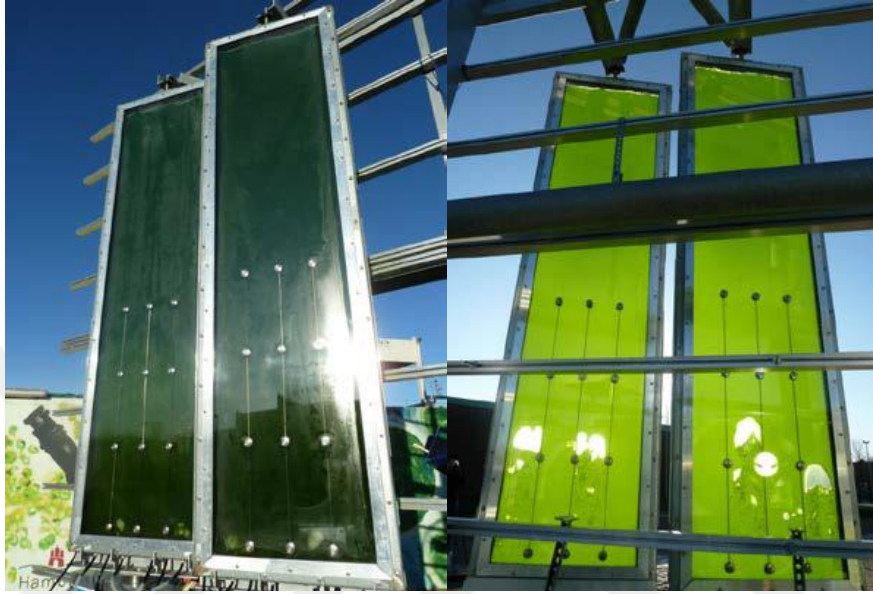
Kapalı ya da açık sistemlerin binalara entegre edilerek microalg yetiştirilmesindeki en büyük amaç sürdürülebilir, sosyal, ekonomik, kültürel ve çevresel anlamda birçok faktörü ele alan, gelecek nesilleri de düşünerek tasarlanmış binalar yapmaktır. Bu konuda ilk binalarda kullanılan enerji minimum seviyeye indirilmeli, pasif tasarım kullanılmalı, yapay aydınlatma gibi fazla enerji tüketen sistemlerin kullanımı kısıtlanmalı ve tasarlanan bina bulunduğu bölgenin yerel iklim koşullarına uygun olmalıdır (Tatar, 2013).

Sürdürülebilir binalar tasarlanmasındaki amaç, enerji kaynaklarının etkin olarak kullanılması ve ekosistemi bozmayan doğal bir çevre oluşturmaktır. Bu amaç doğrultusunda yapının tasarım aşamasında ve devamında inşaat süresinde de belli faktörleri dikkate alarak yapılacak olan binanın bütün bu kriterleri uzun süre boyunca devam ettirebilmesi gerekmektedir. Sürdürülebilir bir tasarım için fotobiyoreaktörler kullanıldığında yukarıda belirtilen kriterlerin birçoğunu sağlamaktadır (Kükdamar, 2017).

Fotobiyoreaktörler;

- Bina cephelerine fotobiyoreaktörler uygulandığı takdirde, cepheler yeni bir amaç kazanmakta ve enerji üretiminde yer alabilecek tasarımlar haline gelmektedir.
- Kapalı sistemler içinde üretilen alglerden biyoenerji sağlanarak binanın ihtiyacı olan elektrik enerjisi ve ısı enerjisi üretilmektedir.
- Güneş ışığının yoğunluğu arttığı zaman, gölgeleme etkisi yaparak, iç mekân konforu sağlamakta ve insan sağlığını faktörünü de göz ardı etmemektedir.
- Alglerin gelişmek amacıyla yaptığı fotosentez ile binanın sıfır CO₂'e yaklaşmasını ve çevreye salınan CO₂'in kullanılmasını sağlamaktadır.

- Alglerin üretildiği kapalı sistem için binanın atık suyunu kullanarak geri dönüşüm yapmaktadır.
- Bina için yüksek ısı yalıtım etkisi sağlamaktadır.
- Giydirme cephe ya da çift kabuk cephe sistemleri şeklinde uygulaması yapılabilmektedir (Kükdamar, 2017).



Şekil 2.6. Sürdürülebilir tasarım aracı olarak fotobiyoreaktörler (Anonim 4, 2013)

2.1. Bina Cephelerinde Fotobiyoreaktör Sistem Uygulamalarının Örnekleri

Fotobiyoreaktör cepheler, etkin sistemlerdir. Bina cephelerine uygun fotobiyoreaktör seçimi ve uygulaması sayesinde yenilenebilir enerji türlerinden biri olan biyoenerjinin üretimi yapılabilmektedir. Fotobiyoreaktör sistemlerin uygulanması, eski ve yeni binalarda, ticari, kamu ve konut yapılarında mümkündür. Bu başlıkta fotobiyoreaktör sistemlerinin kullanıldığı örnek bina cepheleri anlatılmıştır (Kükdamar, 2017).

Fotobiyoreaktör sistemlerinin uygulamasının yapılmasıyla dünyadaki ilk fotobiyoreaktör sistemli cephesi olan BIQ binası Almanya, Hamburg'ta Uluslararası Bina Sergisi (IBA) ile 2011-2013 yılları arasında yapılmıştır. Yapılan bu bina Smart Material House yarışmasında birinci olmuştur. Arsanın alanı 1600 m², kullanılabilecek toplam alan ise 839 m²'dir. Yapı betonarme ve taş malzeme kullanılarak inşa edilmiştir (Kükdamar ve Göksal Ö., 2018).



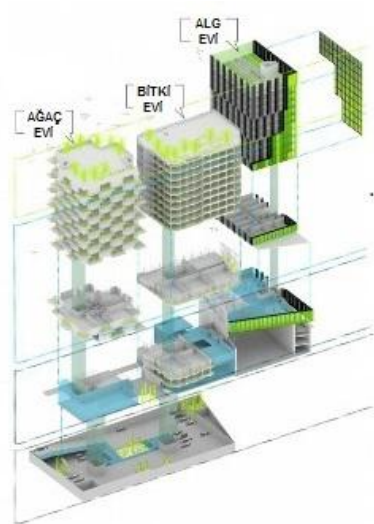
Şekil 2.7. BIQ Bina Görünümü Ve Zemin Kat Planı (Kükdamar ve Göksal Ö., 2018).

Fotobiyoreaktör cephe sistemlerinin uygulandığı ilk örnek olan bu binanın güneş gören cephelerine, cam paneller kullanılarak yapılan içinde canlı algler bulunduran kapalı fotobiyoreaktörler yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu paneller içerisinde bulunan algler sayesinde gölgeleme yapmaktadır ve algler güneş ışığıyla fotosentez yaparak besinlerini oluştururken iç mekânı ısıtma işlevini de yapmaktadırlar. Ayrıca algler gelişip çoğaldıktan sonra fazla miktardaki algler panellerden alınıp başka yerlerde biyokütle olarak kullanılarak bu biyokütleden enerji üretilmektedir. Bu enerji, herhangi bir bitkiden elde edilen enerjiye göre 5 kat daha fazladır. Algler besin üretebilmek için fotosentez yaparken cephede renk değişimi olmaktadır böylece alglerin renklerinden besin ve ısı ürettikleri anlaşılabilmektedir. Cam paneller içerisindeki algler, yapının bütün enerji gereksinimini karşılar aynı zamanda karbon salınımını senede 6 ton miktarında azaltır (Altın ve Orhon, 2014).



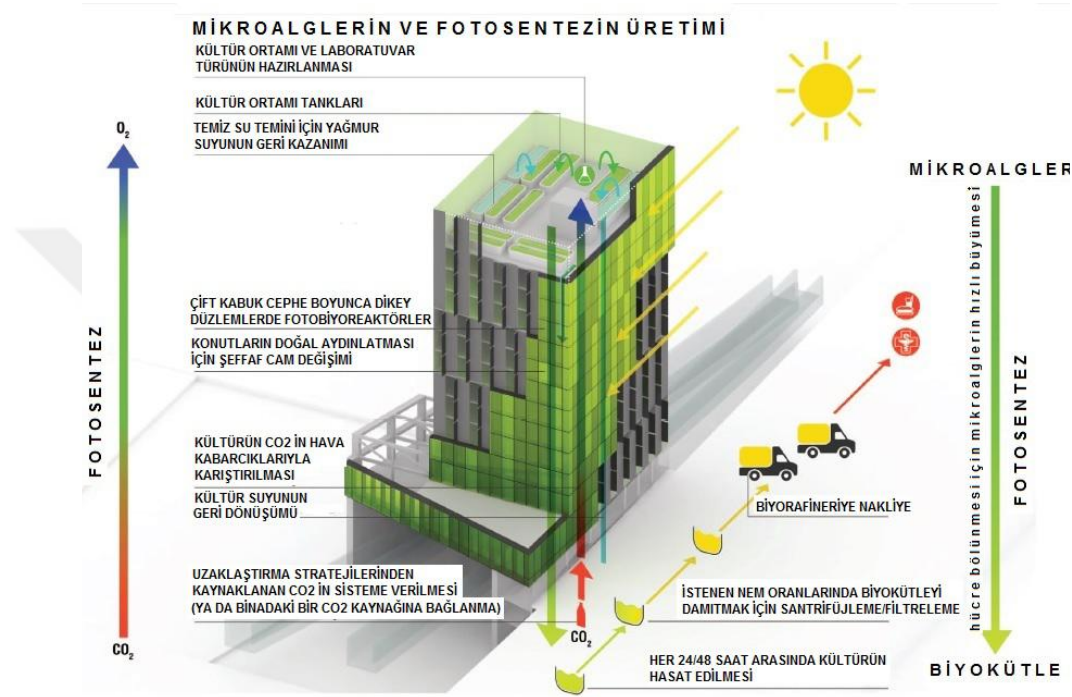
Şekil 2.8. Hamburg’da inşa edilen fotobiyoreaktör cepmeli bina (Anonim 4, 2013)

Fotobiyorektör sistemlerinin kullanıldığı başka bir örnek “In Vivo” olarak adlandırılan bu proje, kent yaşamında insanlar ve doğa ile bir bütünlük sağlamak, sosyalleşmeyi sağlamak başarmak için, bunlara uygun, sürdürülebilir bir şehir oluşturmayı hedeflemektedir. Tasarlanan üç bina, Ağaç Evi, Bitki Evi ve Alg Evi şeklinde isimlendirilmektedir (Kükdamar, 2017).



Şekil 2.9. “In Vivo” yeşil projesi, Alg Evi tasarımı ve Ağaç Evi, Bitki Evi ve Alg Evi üçlüsü (Kükdamar, 2017)

Tasarlanan üç yapıdan birisi Alg Evi, fotobiyoreaktörlerden meydana gelen bir bina cephesi vardır. 900 m²'lik bu cephede yer alan fotobiyoreaktörlerde tıbbi çalışmalarda kullanabilmek için alg yetiştirilecektir. Cephede yer alan fotobiyoreaktörler, evlerde kullanılmak üzere sıcak su ve ısıtma için, fotobiyolojik algılayıcılar sayesinde depolanan ısınn kullanılmasına imkân sağlayacaktır (Kükdamar, 2017).



Şekil 2.10. Alg Evi'ndeki fotobiyoreaktörlerden biyoenerji üretimi (Kükdamar, 2017)

Fotobiyoreaktör sistemlerinin var olan bir bina üzerine uygulanması olarak karşımıza çıkan, HOK ve Vanderweil mimarlık ve mühendislik ekiplerinin tasarımını yaptığı proje, bina emisyonlarının 2020 senesine kadar %30 oranında azaltılması hedefiyle Uluslararası Alg Yarışması ve Metropolis Magazine'in Yeni Nesil Tasarım Yarışmasını kazanmıştır (Pekmezci, 2019).



Şekil 2.11. Los Angeles’da, 1960’larda inşa edilmiş, U.S. GSA ofis binası (Pekmezci, 2019)



Şekil 2.12. “Sıfır Süreç: İyileştirme Çözümü” binası kavramsal tasarımı (Kükdamar, 2017)

Mevcut olan binaya entegre fotobiyoreaktör tasarım çalışmaları yapılmıştır. %25, %60 ve %80 oranlarında açıklığı olan tübüler fotobiyoreaktör sistemleri, yapı cephesi yüzeyine 2.322,5 m2 alan olacak biçimde tasarlanmışlardır (Pekmezci, 2019).

Fotobiyoreaktör sisteminde bulunan algler gelişebilmek için tuvaletin atık suyunda yer alan besinleri kullanmaktadırlar. Mevcut ofis binasının etrafındaki Santa Ana Çevre yolundan geçen araçların egzozlarından salınan karbonu absorbe edip

fotosentez yaparak atmosfere oksijen şeklinde vermektedir. Fotobiyoreaktör sistemlerde yetiştirilen alglerden elde edilen biyokütleden enerji üretilmektedir (Pekmezci, 2019).

Cepheye uygulanan fotobiyoreaktör sistemler ve diğer yenileme işlemleri ile yapının harcadığı enerji miktarı %84 azaltılmıştır. Kullanılan fotobiyoreaktör sistem yapıya %9 oranında enerji kazandırmaktadır. Binaya yerleştirilen sistemler ile sistematik ve uyumlu çalışan bir düzen oluşturulmuştur (Pekmezci, 2019).



3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde yürütülmüştür. Çalışmada, binaların penceresine entegre edilen fotobiyoreaktör sistemin yapıda gölgeleme ve iç ortam sıcaklığına olan etkisi araştırılmıştır. Fotobiyoreaktör pencere sistemi ½ ölçekte inşa edilecek olan ahşap yapıya entegre edilmiştir. Tabanı 1,5m × 2 m ve yüksekliği 1,5 m olan tek açıklıklı 2 adet ahşap yapı modeli inşa edilmiştir. Aynı özelliklere sahip ve aynı malzeme kullanılarak yapılan olan 2 modelden, bir tanesine fotobiyoreaktör pencere sistemi entegre edilerek gölgelemeye ve iç ortam sıcaklığına etkisi diğer kontrol modeli ile karşılaştırılmıştır.

3.1. MATERYAL

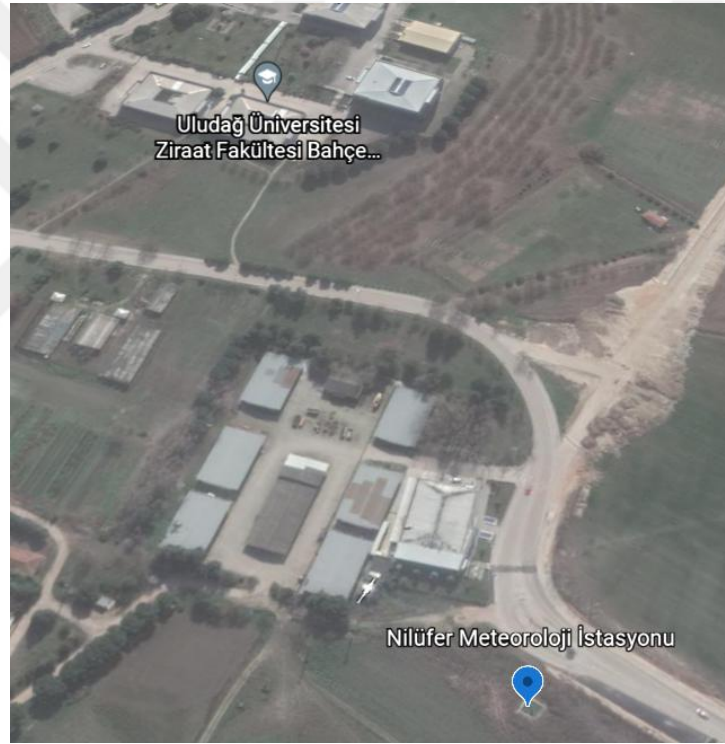
3.1.1. Yapının Konumu ve İklimsel Özellikleri

Çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde yürütülmüştür. ½ ölçekli yapılar Ziraat fakültesine ait araziye inşa edilmiştir. Bursa ili Nilüfer ilçesinin meteoroloji verileri Bursa Uludağ Üniversitesi Meteoroloji istasyonundan alınmıştır. Meteoroloji istasyonunun deney alanına uzaklığa yaklaşık 800 m mesafededir. Çalışma alanındaki dış ortam sıcaklık ve nem değerleri meteoroloji istasyonundan ölçülen verilerden alınmıştır.

Tablo 3.1. Bursa Nilüfer Meteoroloji istasyonu sıcaklık ve nem değerleri

1. GÜN (18.9.2021)			2. GÜN (19.09.2021)			3. GÜN (20.09.2021)		
Tarih/Saat	Sıcaklık	Nem	Tarih/Saat	Sıcaklık	Nem	Tarih/Saat	Sıcaklık	Nem
10:02	33,2	32	00:02	18,9	86	00:02	20	82
11:02	33,2	30	01:02	17,5	88	01:02	19,3	83
12:02	33,5	29	02:02	17,5	90	02:02	19,3	85
13:02	34,6	29	03:02	16,9	90	03:02	18,1	86
14:02	33,2	31	04:02	15,9	90	04:02	17,9	87
15:02	30,8	35	05:02	18,1	93	05:02	20,3	81
16:02	26	57	06:02	22,2	75	06:02	24,3	64
17:02	22,7	74	07:02	23,9	69	07:02	27,4	50
18:02	22,3	74	08:02	26,3	62	08:02	30,2	45
19:02	22,2	78	09:02	28	54	09:02	32,2	37
20:02	21,1	78	10:02	30	43	10:02	33,7	36
21:02	19,7	85	11:02	32,2	35	11:02	33,6	35

22:02	19,2	87	12:02	31	36	12:02	34,7	32
23:02	19,7	87	13:02	32,6	38	13:02	34,6	34
			14:02	32,4	36	14:02	33,5	34
			15:02	29,6	44	15:02	31,5	37
			16:02	27	49	16:02	28,5	43
			17:02	23,9	56	17:02	25,4	51
			18:02	23,5	58	18:02	23,9	54
			19:02	22,5	60	19:02	22,9	57
			20:02	21,6	62	20:02	21,1	60
			21:02	20,8	67	21:02	20,8	65
			22:02	22,1	70	22:02	19,9	68
			23:02	20,3	77	23:02	19,8	68



Şekil 3.1. Nilüfer meteoroloji istasyonu ve çalışma alanının haritada gösterimi

3.1.2. 1/2 Ölçekli yapı

Çalışmada fotobiyoreaktör pencere sisteminin yapı iç ortamında gölgeleme ve diğer çevresel parametrelere etkisi incelenmiştir. Fotobiyoreaktör pencere sisteminin normal bir PVC pencere ile karşılaştırılması açısından iki tane aynı özelliklere sahip ve aynı yere konumlandırılan 1/2 ölçekte yapı modeli inşa edilmiştir.

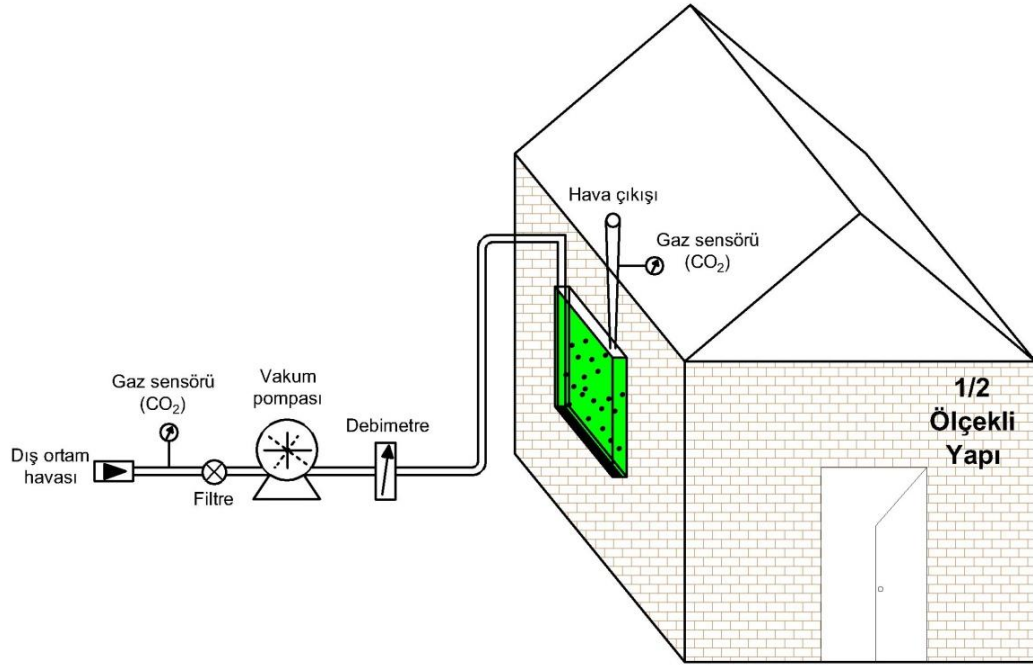
Çalışmada, fotobiyoreaktör pencere sistemi $\frac{1}{2}$ ölçekte inşa edilmiş olan ahşap yapıya entegre edilmiştir. Tabanı $1,5\text{ m} \times 2\text{ m}$ ve yüksekliği $1,5\text{ m}$ olan tek açıklıklı 2 adet ahşap yapı modeli inşa edilmiştir. Her iki modele de $50 \times 50\text{ cm}$ ebatlarında 1 adet pencere ve $45\text{ cm} \times 100\text{ cm}$ ebatlarında 1 adet dış kapı takılmıştır (Şekil 3.2.). Aynı özelliklere sahip ve aynı malzeme kullanılarak yapılacak olan 2 modelden, bir tanesine fotobiyoreaktör pencere sistemi entegre edilerek gölgelemeye, iç ortam sıcaklığına ve diğer parametrelere olan etkisi kontrol modeli ile karşılaştırılmıştır. Bu sebeple 3 gün boyunca her iki modelde de iç ortam ve dış ortam arasındaki aydınlanma ve sıcaklık değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Yapıların inşaat aşamasının olduğu görsel Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. $\frac{1}{2}$ Ölçekli yapıların görselleri

3.1.3. Fotobiyoreaktör

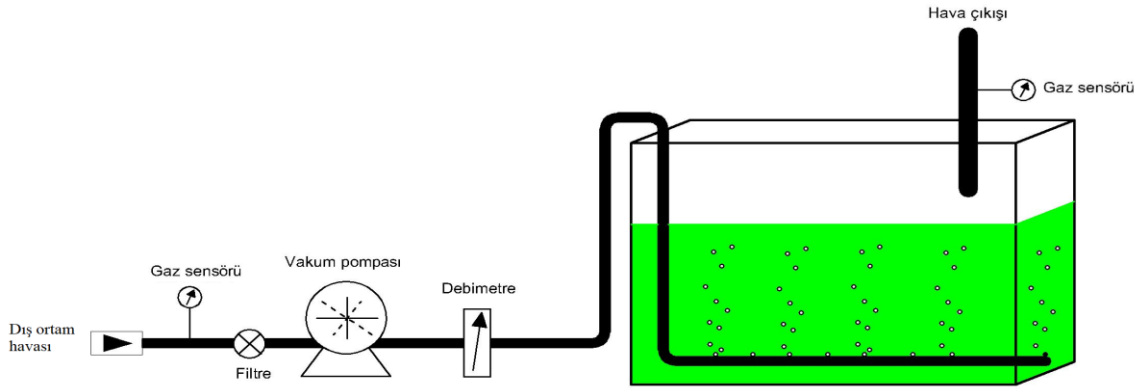
Binanın gölgelemesi ve sera gazının azaltılmasında kullanılacak olan algler, kapalı tip fotobiyoreaktörlerde yetiştirilmiştir (Kang ve Wen, 2015, Chiu ve ark., 2008, Keffer ve Kleinheinz, 2002).



Şekil 3.3. Fotobiyoreaktör sistemin şematik gösterimi

Fotobiyoreaktör tasarımında reaktör içindeki etkin ışık yoğunluğunu artırmak amacıyla genellikle şeffaf malzemeler kullanılmaktadır. Yüksek ışık geçirgenliği, daha az ısı kaybı ve uzun ömürlü olması sebebiyle tasarımı yapılacak reaktör için akrilik cam malzeme kullanılmıştır. Reaktör boyutları 35 cm yüksekliğinde, 50 cm eninde ve 10 cm genişliğinde 15 L hacim kapasiteli olacak şekilde yapılmıştır.

Fotobiyoreaktöre verilecek olan havanın istenilen debiye ayarlanabilmesi için, fotobiyoreaktör girişine debimetre (CS Instruments VA 520 debimetre 1/4", DN 8) yerleştirilerek gaz debisi ayarlanmıştır. 10 L'lik alg kültürünün bulunduğu reaktöre 5 L/dakika (0,5 vvm)'lık debiyle hava girişi sağlanmıştır. Kültür ortamına gaz transferi fotobiyoreaktör tabanına yerleştirilecek olan bubble sistem ile yapılmıştır. Kültür ortamındaki karıştırma işlemi de yine bubble sistem ile sağlanmıştır. Reaktörden gaz çıkışı için ise, reaktörün üst kısmından bir hava çıkışı verilmiştir. Fotobiyoreaktör sistemin kesit görünüşü Şekil 3.4.'de verilmiştir.



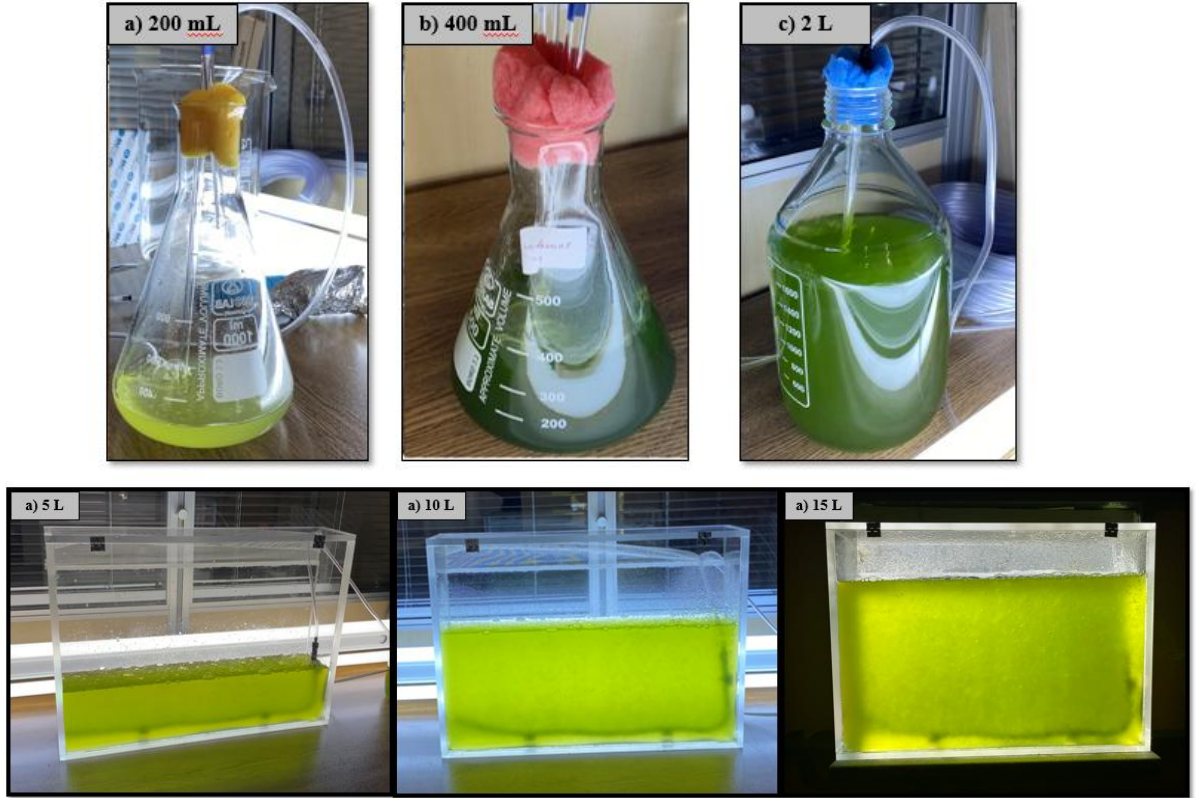
Şekil 3.4. Fotobiyoreaktör sistemin kesit görünüşü



Şekil 3.5. Fotobiyoreaktör pencere sisteminin entegre edildiği 1/2 ölçekli yapı

3.1.4. Alg Kültürü

Ankistrodesmus sp. her iki ucunda hafif eğri olan uzun hilal şekline sahip yeşil bir fototrofik mikroalgdir. Ankistrodesmus sp. farklı yetiştirme koşullarına (sıcaklık, ph, ışık) hızlıca adapte olabilen ve çok hızlı gelişim gösterebilen bir alg türüdür. Çalışma dış ortamda yapılmıştır. Bu sebeple gece-gündüz sıcaklık farklılığından ya da güneş açısından dolayı ışık farklılığından dolayı PBR sisteme gelen sıcaklık ve ışık sürekli değişiklik göstermiştir. Ankistrodesmus sp. türünün bu koşullara adapte olabileceği düşünüldüğünden bu tür seçilmiştir.



Şekil 3.6. Mikroalg kültürünün ekimi ve 10 L'lik hacime kadar olan görüntüleri

3.1.5. Kültür Ortamı

Çalışmada laboratuvar ölçeğinde yapılan fotobiyoreaktör'de öncelikli olarak seçilen alg türü için yaşam koşulları sağlanmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde Ankistrodesmus türü için en uygun besiyerinin Bold's Basal Medium olduğu sonucuna varılmıştır. Okomoda ve ark. (2021) çalışmalarında 3 farklı kültür ortamının (Bold's Basal Medium (BBM), Modified Combo Medium (COMBO) ve Bristol) Ankistrodesmus türünün gelişimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ankistrodesmus türünün Bold Basal Medium ve COMBO ile en iyi gelişme gösterdiği sonucuna varmışlardır. Bu sebeple çalışmada, alg kültürlerinin gelişimi için Bold's Basal Medium kullanılmıştır. Tablo 3.2.'de Bold's Basal Medium kültür ortamı besin değerleri verilmiştir.

Tablo 3.2. Bold's Basal Medium besin değerleri (Hagendijk, 2015)

Bold's Basal Medium	
K_2HPO_4	175 mg/l
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	25 mg/l
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	75 mg/l

NaNO ₃	250 mg/l
K ₂ HPO ₄	75 mg/l
MoO ₃	1.42 mg/l
NaCL	25 mg/l
EDTA C ₁₀ H ₁₆ N ₂ O ₈	50 mg/l
KOH	31 mg/l
FeSO ₄ *7H ₂ O	4.98 mg/l
H ₂ SO ₄	1uL
H ₃ BO ₃	11.42 mg/l
İz Elementler (1 mL/L)	
ZnSO ₄ *7H ₂ O	8.82 g/l
MnCl ₂ *4H ₂ O	1.44 g/l
CuSO ₄ *5H ₂ O	1.57 g/l
Co(NO ₃) ₂ *6H ₂ O	0.49 g/l

Bold's Basal Medium için gerekli tüm kimyasal malzemeler saf suda çözülerek hazırlanan besin ortamı 121°C'de 15 dakika otoklavda steril hale getirilmiştir.

3.1.6. Çevre koşulları (ışık, sıcaklık, pH)

Zhang ve ark. (2015) çalışmalarında, *S. dimorphus* türünün azot ve fosfor giderim hızının 50 ila 400 $\mu\text{mol/m}^2/\text{sn}$ ışık yoğunluğu aralığında pozitif yönde etkilendiğini belirtmişlerdir. *S. Dimorphus* türünün azot giderim miktarı 50 $\mu\text{mol/m}^2/\text{sn}$ ışık yoğunluğunda 5 mg/L/gün iken, 100-300 $\mu\text{mol/m}^2/\text{sn}$ ışık yoğunluğunda 10 mg/L/gün'e çıkmıştır.

Bir çok mikroalg türünün gelişimi için optimum sıcaklık aralığı 16-27°C'dir (Encarnacion ve ark., 2010). Knutson ve ark. (2018) çalışmalarında *S. dimorphus* alg türünün gelişimi için optimum sıcaklığın 26°C olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma Eylül ayında Bursa ili Uludağ Üniversitesi kampüs alanında yapılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Bursa ili 1928-2020 yılları sıcaklık verilerine göre sıcaklık aralıklarının alg gelişimi için gerekli optimum sıcaklıklar aralığında olmasından dolayı, bu projede fotobiyoreaktördeki kültür ortamının sıcaklığı stabil tutulmayıp serbest bırakılmıştır. Test süresi boyunca kültür ortamının sıcaklık değişimi gözlemlenmiştir.

PH alg hücrelerinin gelişimini doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Alg kültür ortamının pH değeri, biyokütle verimini ve algin spesifik gelişme oranını doğrudan etkilemektedir. PH ayrıca kültür ortamındaki besinlerin taşınmasında da etkili olarak rol almaktadır. Mikro alglerin gelişimi için gerekli olan pH aralığı genellikle 7-9 aralığındadır (Encarnacion ve ark., 2010; Hodaifa ve ark., 2009).

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Alg kültürünün gelişme oranının ölçülmesi

3.2.1.1. Hücre sayım yöntemi

24 saatlik periyotlarla yaklaşık 100 µL'lik pipet yardımıyla fotobiyoreaktörden alınan örnekler hemositometre slaydı üzerine yerleştirilerek mikroskopta hücre sayımı yapılmıştır. Hücreler, kameralı mikroskop yardımıyla elle sayılmıştır. Veriler her bir numune için alınarak dijital olarak saklanmıştır. Spesifik büyüme hızı ve ikilenme süresi aşağıdaki verilen eşitliklerle hesaplanmıştır (Becker, 1994);

$$\mu = \frac{L_n N_t - L_n N_0}{t - t_0} \quad (3.1)$$

$$t_d = \frac{L_n 2}{\mu} \quad (3.2)$$

μ : spesifik büyüme hızı (gün⁻¹)

N_t : t_1 inci gündeki hücre konsantrasyonu (hücre sayısı/mL)

N_0 : t_0 ncı gündeki hücre konsantrasyonu (hücre sayısı/mL)

t_d : ikilenme süresi (gün)

3.2.1.2. Sıcaklık ölçümü

Deneyde ahşap yapı modeline entegre edilecek PBR pencere sisteminin iç ortam sıcaklığına etkisi 3 gün boyunca incelenmiştir. 3 günlük deneme süresinde iç ortamda 3 farklı noktaya yerleştirilen sıcaklık ölçerler ile saatlik alınan sıcaklık verileri kaydedilerek analiz edilmiştir. Deney süresince eş zamanlı olarak kontrol yapı modelinde de sıcaklık verileri alınmıştır. Ayrıca 3 gün boyunca sıcaklık değerleri kaydedilerek kıyaslama yapılmıştır.

3.2.1.3. Işık Ölçümü

PBR pencere sisteminin yapı iç ortamında gölgelemeye etkisi iç ortamdaki aydınlatma miktarına göre incelenmiştir. Işık şiddeti ölçümünde Li-Cor marka ışık

ölçüm cihazı kullanılmıştır. Deney süresi boyunca kontrol ve PBR pencere sistemli yapı modellerinin her ikisinde de iç ortamdaki ışık şiddeti değerleri lüksmetre ile ölçülmüştür. Ölçüm işlemi yapı iç ortamında 3 farklı noktadan yapılmıştır. 1. Nokta pencereye e yakın nokta, 2. Nokra orta nokta ve 3. Nokta pencere en uzak nokta olarak belirlenmiştir. Her üç noktada ışık ölçümleri yerden 55 cm yükseklikten yapılmıştır. Binalarda iç ortam ışık şiddeti değerleri 3 gün boyunca alınan verilerle PBR pencere sisteminin gölgelemeye etkisi incelenmiştir.

3.2.1.4. İstatistiksel Analiz

Verilerin istatistiksel analizi için Minitab ve Jmp programları kullanılmıştır. Çalışmada kontrol grubu ile deneme grubu karşılaştırılmak üzere istatistiksel analizlere tabi tutulmuştur. EV1 ve EV2 iç ortam ışık şiddeti değerlerinin 1.Nokta, 2.Nokta ve 3.Nokta için T Student testi ile farklılıkları analiz edilmiştir. Ayrıca iç ortam sıcaklık, nem ve hava hızı değerleri EV1, EV2 ve dış ortamda ortalama, gece ve gündüz değerlerine göre T Student testi ile analiz edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

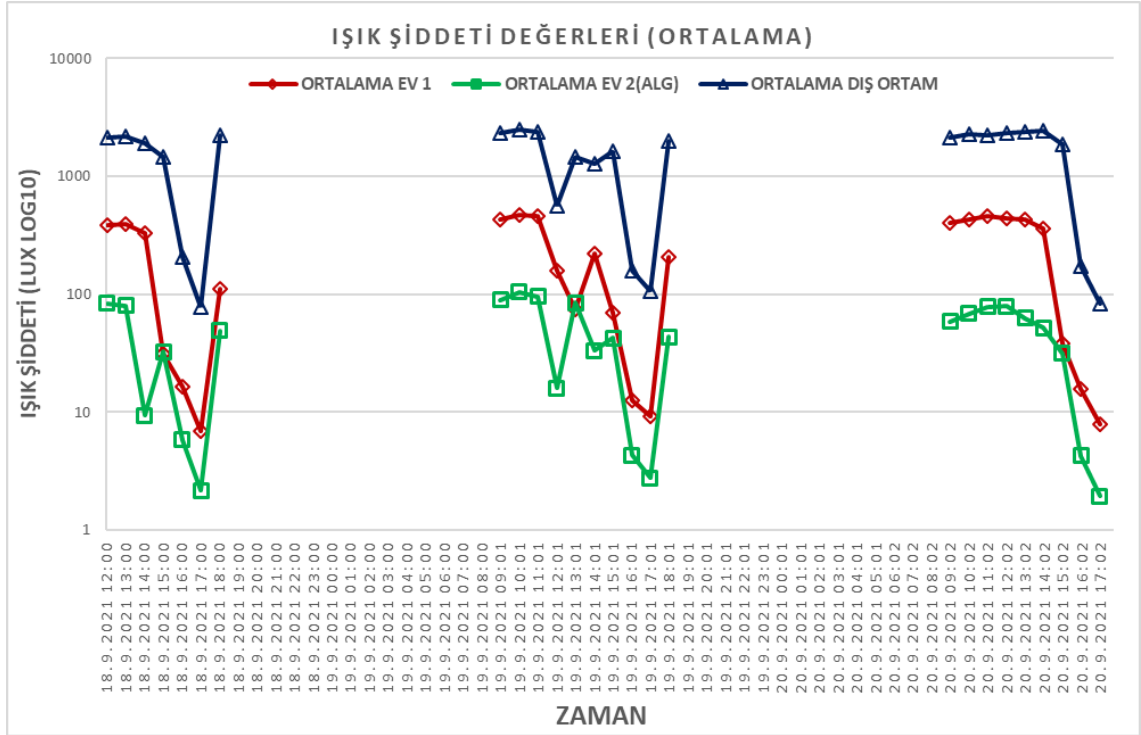
4.1. Gölgeleme etkisi

Çalışmada, her iki yapının da içerisinde 3 noktadan ışık ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler pencereye en yakın nokta (1. Nokta), orta nokta (2. Nokta) ve en uzak nokta (3. Nokta) olmak üzere 3 noktadan yapılmıştır. Kontrol modeli (EV1) için ortalama ışık şiddeti değeri 9957 lux iken PBR pencere sistemli evde (EV2) ortalama ışık şiddeti değeri 2035 lux olarak ölçülmüştür. EV1 ve EV2 arasında ortalama ışık şiddeti açısından istatistiksel olarak farklılık bulunmuştur ($P<0,01$) (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. EV1-EV2 (alg) için ortalama ışık şiddeti t-testi sonuçları (lux)

	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
EV1	26	9957	8087	1565
EV2 (ALG)	26	2035	1470	287
T-Değer = 4,92 P-Değer = 0,000				

Şekil 4.1'deki grafikte EV1, EV2 ve Dış ortam için ortalama ışık şiddeti değerleri gösterilmiştir. Dış ortam ışık şiddeti değeri, binanın dışarısından penereye en yakın noktadaki ışık şiddeti değeri ölçülmüştür. Dış ortam ışık şiddeti değerleri 3630-103978 lux aralığında değişiklik göstermiştir. EV1 ve EV2'de her 3 noktadan alınan ışık şiddeti değerlerinin ortalaması ise EV1 için 552-19852 lux aralığında iken, bu değerler EV2'de 85-4526 lux aralığında kalmıştır. Tablo 4.1'deki grafikte de görüleceği üzere, yapı iç ortamında ışık şiddeti değerleri EV2'de daha düşük gözlemlenmiştir. Bu da EV2'deki PBR pencere sisteminin yapıya gelen güneş ışığında gölgeleme etkisi yarattığını göstermektedir.

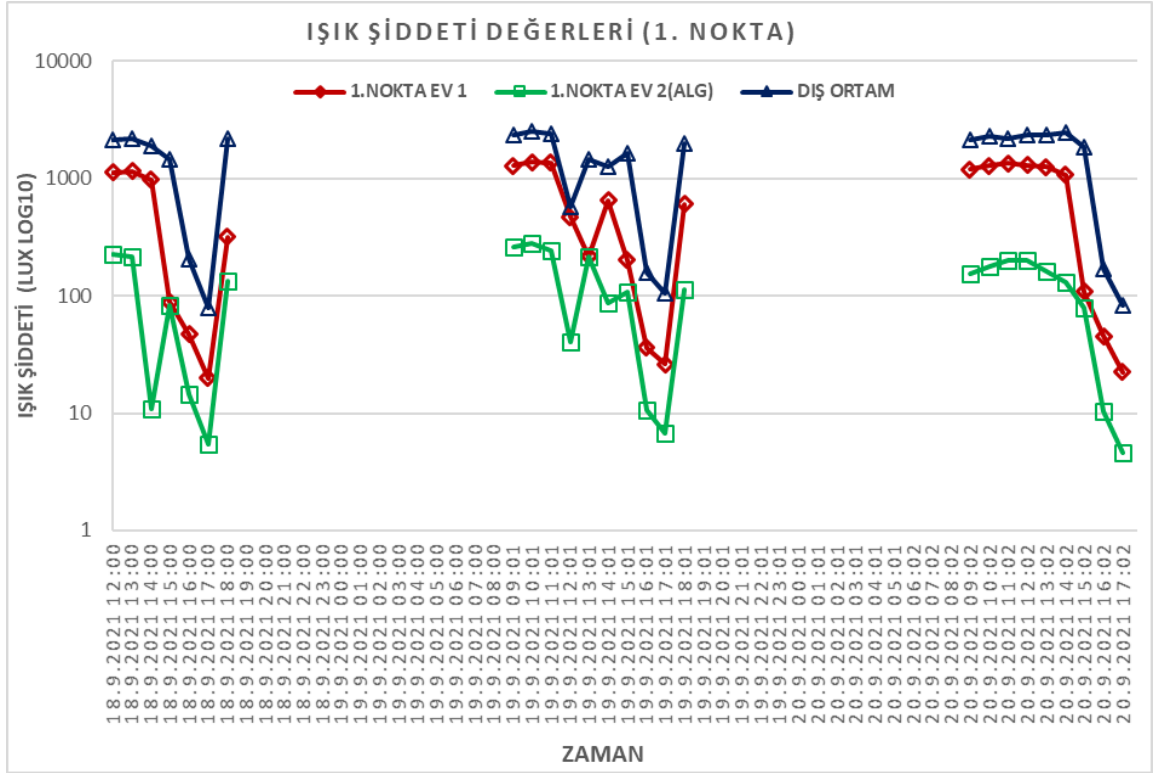


Şekil 4.1. EV1, EV2 ve Dış Ortam Ortalama Işık Şiddeti Değerleri

Pencerelere en yakın 1.noktada ortalama ışık şiddeti değeri EV1’de 29478 lux iken EV2’de 5317 lux olarak ölçülmüştür. Çalışmada dış ortam ortalama ışık şiddeti değeri 67565 lux ölçülmüştür. Işık şiddeti verilerine bakıldığında, EV1’de normal PVC pencere, binaya gelen ışığın %44’ünü içeriye alırken, EV2’de PBR pencere sistemi gelen ışığın %8 ini içeriye almıştır. Her iki evde de 1. Nokta açısından ışık şiddeti değerleri incelendiğinde iki ev arasında istatistiksel anlamda farklılık tespit edilmiştir ($P<0,01$) (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. EV1-EV2(alg) 1.Nokta için ışık şiddeti t-testi sonuçları (lux)

	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
EV1	26	29478	24043	4696
EV2 (ALG)	26	5317	3961	783
T-Değer = 5,06 P-Değer = 0,000				

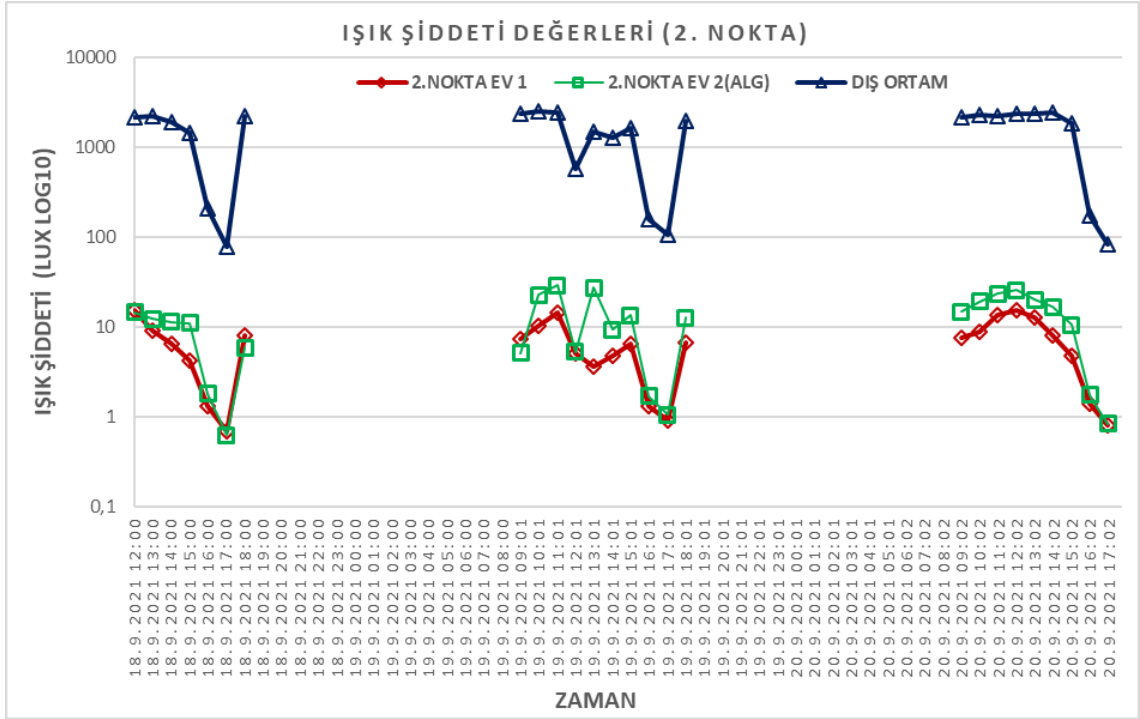


Şekil 4.2. EV1, EV2'de 1. Nuktadaki Işık Şiddeti Değerleri

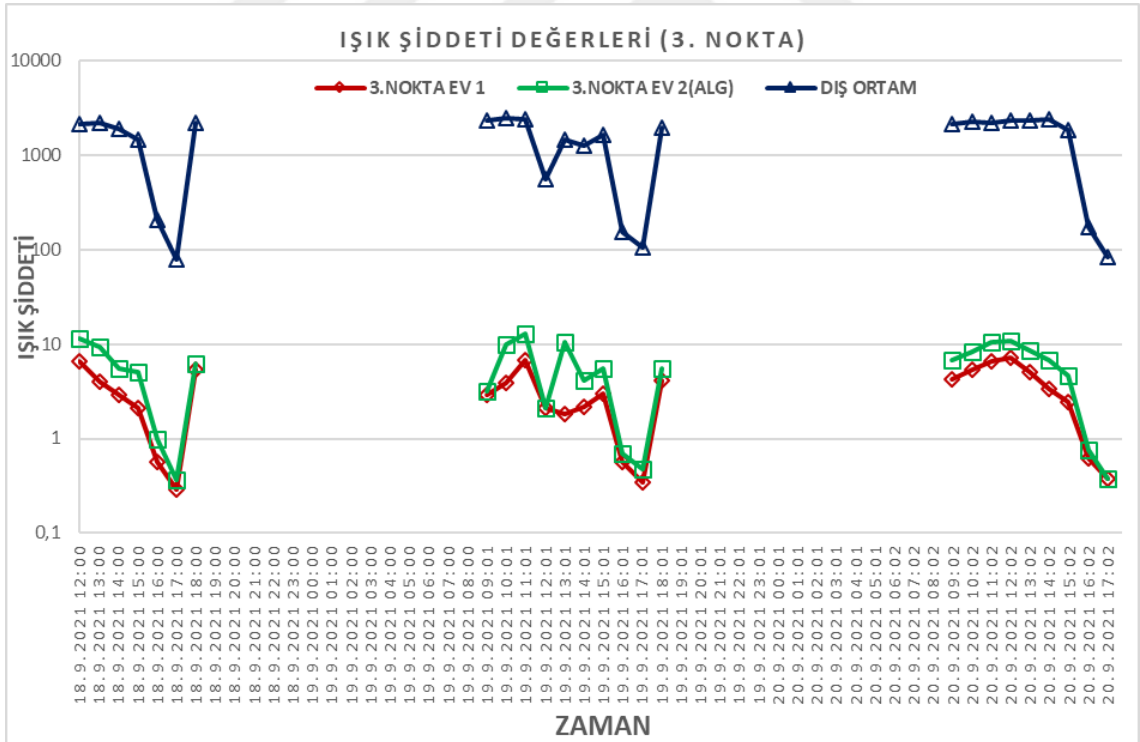
Orta noktada yapılan ölçümlerde EV1'de 299 lux ışık şiddeti ölçülürken EV2'de 531 lux değeri ölçülmüştür ve EV1 ve EV2'de 2. Nuktada ışık şiddeti değerleri istatistik olarak farklıdır (Şekil 4.2). 1. Nuktada ışık şiddeti EV2'de daha düşük çıkarken 2. Nuktada daha yüksek çıkmıştır. Aynı durum 3.Nuktada da görülmektedir. 3. Nuktada EV1'de ışık şiddeti 141 lux iken EV2'de 253 lux olarak ölçülmüştür. Buna göre EV2'deki PBR pencere sistemi gelen ışığı %92'sini gölgeleme etkisi ile kırarken 2. Ve 3. Noktalarda ise daha aydınlık bir ortam yaratmıştır. Bu durum, PBR sistemin içerisindeki alg kültür ortamının ışığı yansıtarak iç ortamda daha aydınlık bir ortam yarattığı düşünülmektedir.

Tablo 4.3. EV1-EV2(alg) 2. ve 3.Nokta için ışık şiddeti t-testi sonuçları (lux)

	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
EV1	26	299	201	69
EV2 (ALG)	26	531	382	117
T-Değer = -2,74 P-Değer = 0,009				
	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
EV1	26	141	94	26
EV2 (ALG)	26	253	170	85
T-Değer = -2,92 P-Değer= 0,006				



Şekil 4.3. EV1, EV2’de 2. Nuktadaki Işık Şiddeti Değerleri



Şekil 4.4. EV1, EV2’de 3. Nuktadaki Işık Şiddeti Değerleri

Işık şiddeti mimari tasarım aşamasında öncelikli olarak değerlendirilmesi gereken görsel konfor ile ilişkili bir faktördür. Mekanın işlevine göre ışık şiddeti seviyesi belirlendikten sonra mekan içinde bu seviyelerin sağlanıp sağlanamadığı belirlenmeli eğer bu seviye sağlanamadıysa tasarım aşamasında problemler çözülmelidir.

Arpacıoğlu ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada ofis yapıları için 300 lux ile 500 lux arasında değişen ışık şiddeti ve eğitim binaları için 300 lux ile 750 lux arasında değişen ışık şiddeti seviyelerinin görsel konfor açısından uygun olduğu belirlenmiştir. Sümengen ve ark. (2015) çalışmalarında konut yapılarında görsel konfor için gerekli olan ışık şiddetinin 100 lux ile 400 lux aralığında değerler olması gerektiğini saptamışlardır. İncelenen bu çalışmalar kapsamında yapılan deneysel çalışmada elde edilen verilere bakıldığında, 2. noktada yapılan ölçümlerde EV1’de 299 lux ışık şiddeti ölçülürken EV2’de 531 lux değeri ölçülmüştür. Buna göre EV2(Alg)’deki PBR pencere sistemi gelen ışığı %92’sini gölgeleme etkisi ile kırarken aynı zamanda iç mekanda daha aydınlık bir ortam oluşturduğu düşünülmektedir. Ayrıca yapılan deneysel çalışmadan elde edilen ışık şiddetinin yapı işlevine göre uygunluğuna bakıldığında EV2(Alg)’deki PBR pencere sisteminin ofis yapıları için daha kullanışlı olacağı düşünülmektedir. EV2(Alg)’deki PBR pencere sistemi mekanlar için hem gölgeleme etkisi hem de daha aydınlık bir ortam sağlayarak görsel konfor standartlarına uygun alanlar yaratabilir.

4.2.Günüşiği Düzeltme Faktörü

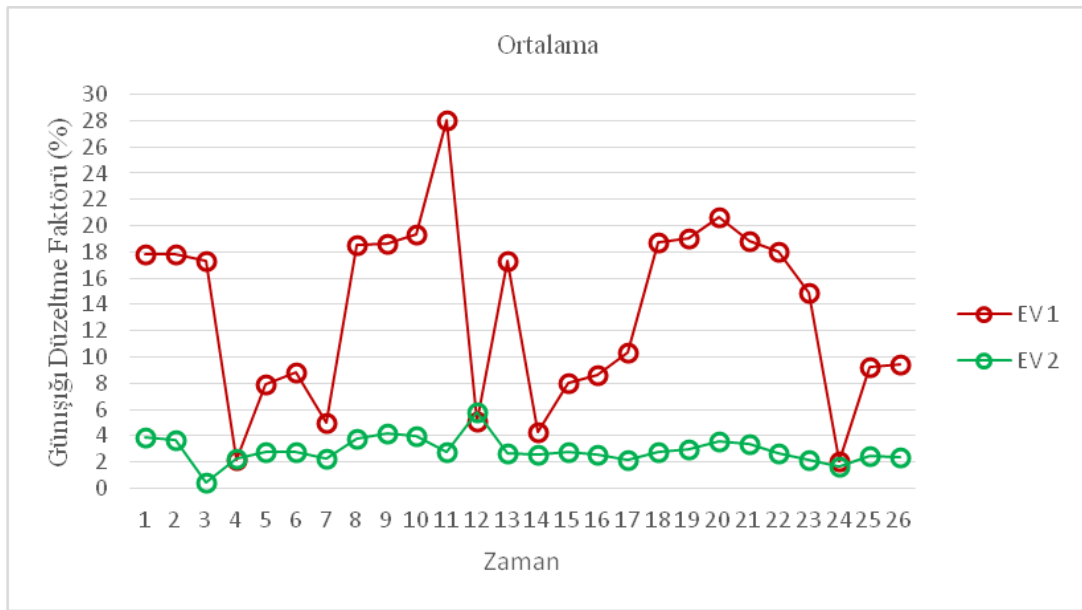
Çalışmada, her iki bina modelinde de iç ortamda güneş ışığı haricinde bir aydınlatma aracı kullanılmamıştır. Doğal aydınlatmanın sayısal olarak ifade edilmesinde gün ışığı faktörü yaygın olarak kullanılmaktadır. Gün ışığı faktörü, iç ortamda ölçülen aydınlık düzeyinin, dış ortamda ölçülen aydınlık düzeyine olan oran şeklinde ifade edilmektedir. Gün ışığı faktörünün %2’nin altında olduğu durumlarda aydınlatma gerektiği belirtilirken, %2 ile %5 arasında olan mekânlarda doğal aydınlatmanın yeterli olduğu belirtilmiştir (Duraler, 2017; IESNA, 2011).

Çalışmada, EV1 ve EV2 için gündüz saatleri için günüşiği düzeltme faktörü değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre, EV1 için ortalama günüşiği faktörü

%13,32 çıkarken, EV2’de %2,9 olarak elde edilmiştir. EV1 ve EV2 arasında günışığı faktörü açısından istatistiksel olarak farklılık gözlenmiştir (Tablo 4.4). EV1 ve EV2’nin ortalama gün ışığı faktörünün zamana bağlı değişimi Şekil 4.5’de verilmiştir.

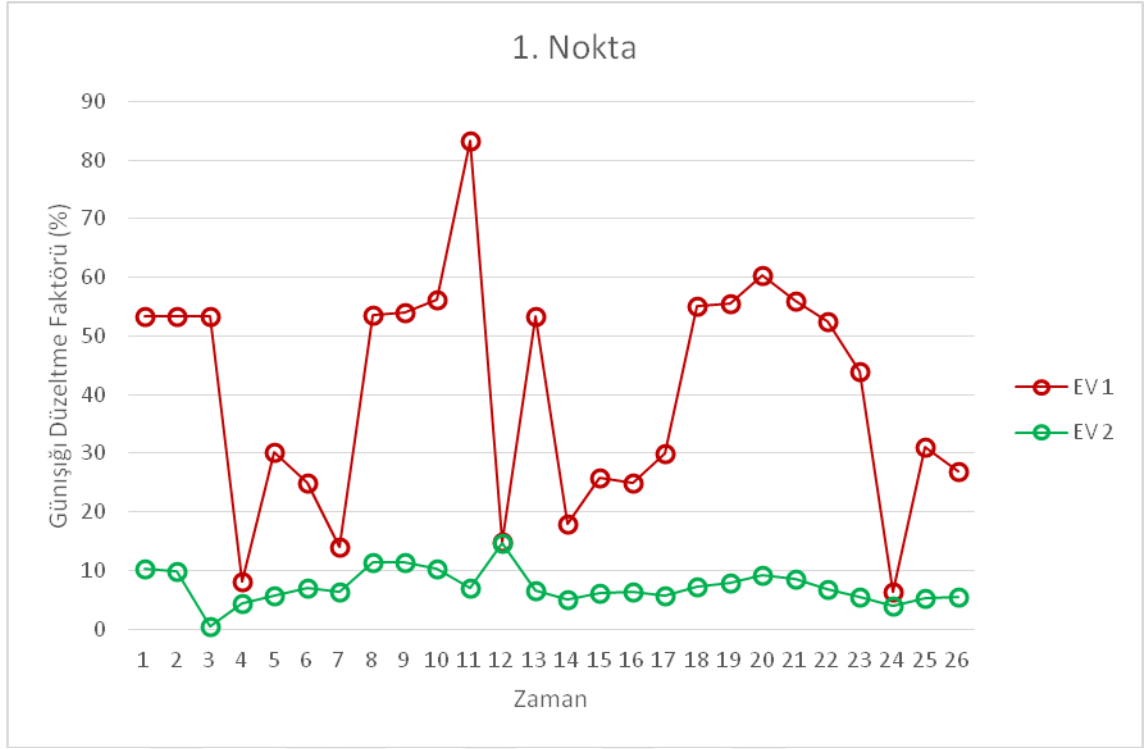
Tablo 4.4. EV1 ve EV2 günışığı düzeltme faktörü t-testi sonuçları (%)

	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
EV1	27	13,32	6,68	1,3
EV2 (ALG)	27	2,905	0,97	0,19
T-Değer = 8,01 P-Değer = 0,000				

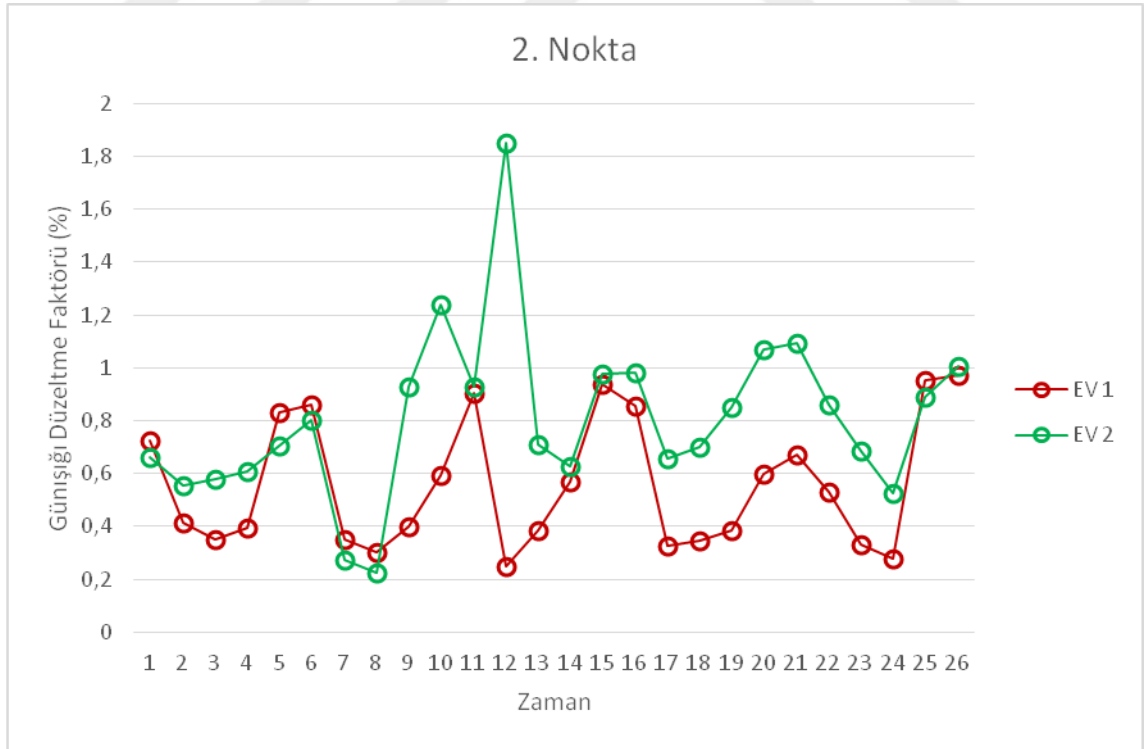


Şekil 4.5. EV1 ve EV2 ortalama günışığı düzeltme faktörü

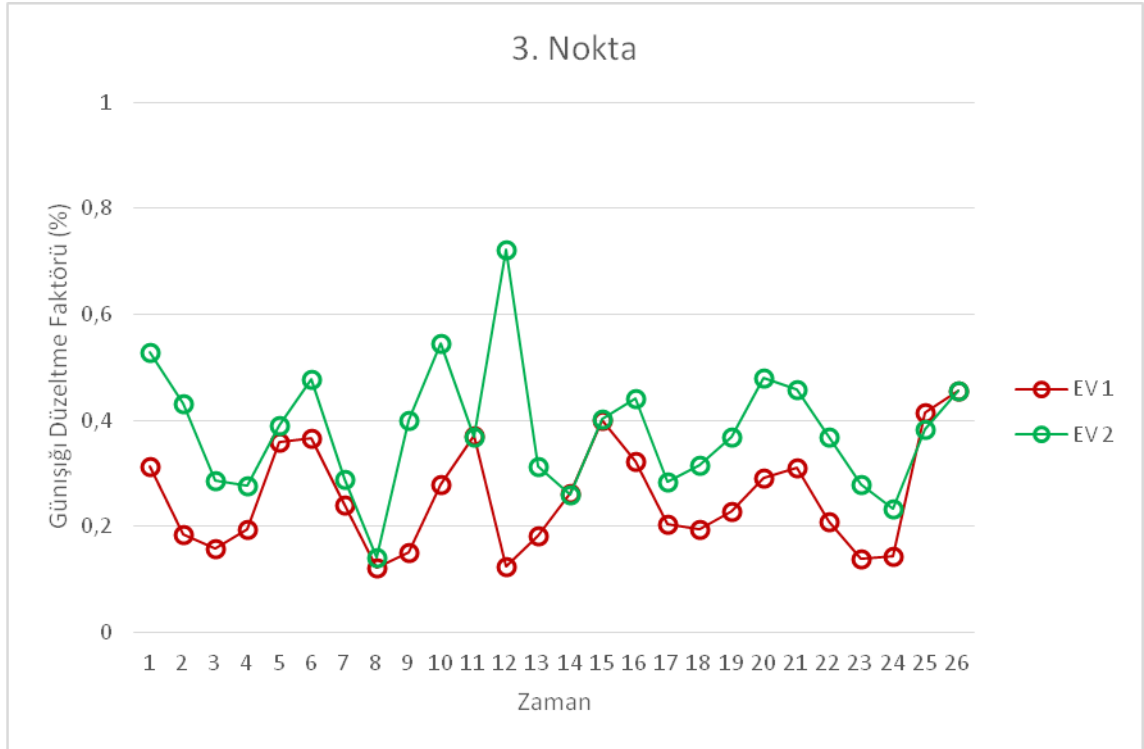
Günışığı düzeltme faktörü EV1 ve EV2’de her 3 noktadan alınan ışık şiddeti değerlerine göre de hesaplanmış ve 3 farklı noktadaki değişimleri incelenmiştir. 1 noktada düzeltme faktörü değeri EV1’de daha yüksek çıkarken, 2. ve 3. Noktalarda düzeltme faktörü EV2’de daha yüksek değerlerde çıkmıştır. 3 farklı noktaya ait düzeltme faktörlerinin değişim grafiği Şekil 4.6- 4.7- 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.6. EV1 ve EV2' 1. Nokta için güneşli düzeltme faktörü



Şekil 4.7. EV1 ve EV2' 2. Nokta için güneşli düzeltme faktörü



Şekil 4.8. EV1 ve EV2' 3. Nokta için günışığı düzeltme faktörü

Arpacioğlu (2012) çalışmalarına bakıldığında günışığı faktörü ile ilgili, %1 altındaki günışığı oranı oldukça yetersizdir. Günışığı faktörünün % 2 ile % 5 aralığındaki oranda olması ise iyi seviyede aydınlanma oranını ifade eder. Günışığı faktörünün oranının % 10'un üstüne çıkması ise görsel konforsuzluğu artırmaktadır. Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen verilere göre, EV1 için ortalama günışığı faktörü %13,32 çıkarken, EV2(Alg)'de %2,9 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre EV2(Alg)'de elde edilen günışığı oranı EV1 e göre daha iyi seviyede aydınlanma sağlandığını göstermektedir. Bu oranlara bakılarak ayrıca EV2(Alg) görsel konfor şartlarının da sağlanabileceğini düşünülmektedir.

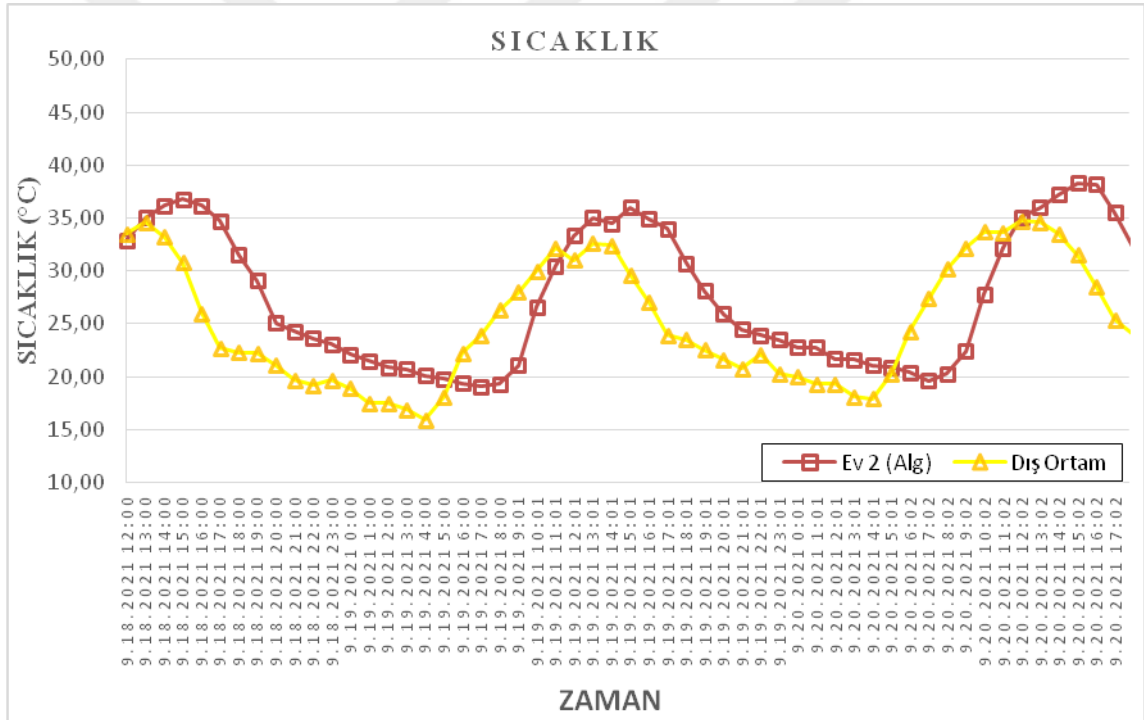
4.3. Sıcaklık

Çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi bahçesinde yürütülmüştür. Çalışma boyunca bina iç ortamında gece-gündüz sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Dış

ortam sıcaklık verileri ise, çalışmanın yürütüldüğü yere 800 m uzaklıkta olan Bursa Nilüfer Meteoroloji İstasyonundan alınmıştır. Deneme sürecinde dış ortam sıcaklık değerleri 15,9-34,7°C aralığında, ortalama sıcaklık değeri ise 25,24°C olarak ölçülmüştür. EV1 ve EV2 için iç ortam ortalama sıcaklık değerleri ise sırasıyla 27,66 ve 27,63°C olarak ölçülmüştür. EV1 ve EV2 iç ortam ortalama sıcaklık değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık bulunmamıştır (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. EV1 ve EV2 ortalama Sıcaklık için t-testi sonuçları (°C)

	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
EV1	55	27,66	6,46	0,87
EV2 (ALG)	55	27,63	6,49	0,88
T-Değer = 0,02 P-Değer = 0,982				



Şekil 4.9. EV2-Dış ortam sıcaklık değerleri

EV1 ve EV2’de iç ortam sıcaklıkları gece ve gündüz olarak karşılaştırıldığında iç ortam sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak farklılık gözlenmemiştir (Tablo 4.6-4.7). EV1 ve EV2’de gece ortalama sıcaklık değeri 22,3°C olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.6. EV1 ve EV2 gece saatlerinde ortalama sıcaklık için t-testi sonuçları (°C)

	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
EV1	28	22,30	2,53	0,48
EV2 (ALG)	28	22,33	2,58	0,49
T-Değer = -0,04 P-Değer = 0,967				

Tablo 4.7. EV1 ve EV2 gündüz saatlerinde ortalama sıcaklık için t-testi sonuçları (°C)

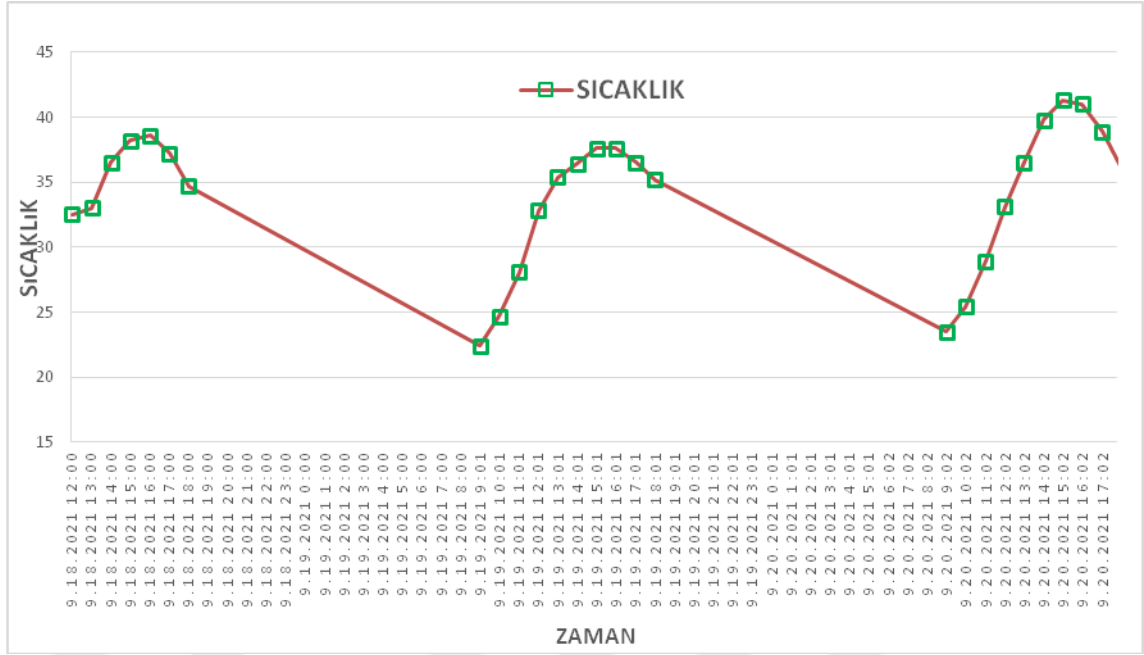
	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
EV1	27	33,22	4,12	0,79
EV2 (ALG)	57	33,14	4,35	0,84
T-Değer = 0,07 P-Değer = 0,941				

Çalışmada EV2’de iç ortam ortalama sıcaklığı dış ortama göre daha yüksek ölçülmüştür ($P < 0,05$). PBR pencere sisteminin gölgeleme etkisine bağlı olarak iç ortam sıcaklığını da düşürmesi bekleniyordu. Ancak, deneme sürecinde dış ortam sıcaklıkları özellikle gündüz saatlerinde 30°C’lerin üstüne çıkmıştır. PBR pencere sisteminde yetiştirilen alg kültür ortam sıcaklığı da buna bağlı olarak artış göstermiştir. PBR sistemindeki alg kültür ortamının sıcaklık değerleri Şekil 4.10’ da verilmiştir.

Alg kültür ortamı sıcaklığı deneme süreci boyunca 22,4 ile 41°C aralığında ölçülmüştür. Seçilen alg kültürü yüksek ve düşük sıcaklıkları tolere edebilen bir tür olmasından dolayı alg gelişiminde olumsuz bir etki gözlenmemiştir. Ancak PBR ortamındaki sıcaklık artışı yapı iç ortamında sıcaklık artışına sebep olmuştur. EV2(alg) ve dış ortam arasında sıcaklık için istatistiksel olarak farklılık vardır.

Tablo 4.8. EV2 ve dış ortam ortalama sıcaklık için t-testi sonuçları (°C)

	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
DIŞ ORTAM	55	25,24	5,83	0,79
EV2 (ALG)	55	27,63	6,49	0,88
T-Değer = -2,04 P-Değer = 0,044				



Şekil 4.10. Mikroalg kültür ortamı sıcaklık değerlerinin değişimi

EV2(alg) ve dış ortam arasında gece saatlerinde sıcaklık için istatistiksel olarak farklılık çıkmamıştır ancak gündüz saatlerinde istatistiksel olarak farklı çıkmıştır (Tablo 4.9- 4.10).

Tablo 4.9. EV2 ve Dış ortam gece saatleri sıcaklık için t-test sonuçları (°C)

	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
Dış ortam	28	20,83	3,29	0,62
EV2 (ALG)	28	22,33	2,58	0,49
T-Değer = 1,90 P-Değer = 0,063				

Tablo 4.10. EV2 ve Dış ortam gündüz saatleri sıcaklık için t-test sonuçları (°C)

	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
EV2 (ALG)	27	33,14	4,35	0,84
DIŞ ORTAM	27	29,81	4,08	0,79
T-Değer = 2,90 P-Değer = 0,006				

4.4. Nem

Çalışmada, yapı iç ortamındaki nem değerleri gece-gündüz saatlik olarak kaydedilmiştir. Nem verilerine bakıldığında, EV1’de nem değeri %22,9-77 arasında değişiklik gösterirken EV2’de %25,5,-78,4 Aralığında değişiklik göstermiştir. EV1 ve EV2 iç ortam nem değerleri karşılaştırıldığında istatistiksel bir farklılık bulunamamıştır.

Tablo 4.11. EV1 ve EV2’de iç ortam nem değerlerinin t-testi sonuçları (%)

	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
EV1	55	50,6	15,8	2,1
EV2 (ALG)	55	52,5	15,8	2,1
T-Değer = -0,64 P-Değer= 0,522				

EV2 iç ortam ve dış ortam nem değerlerine bakıldığında, EV1’de ortalama nem değeri %52,5 ile dış ortam nem değerinden (%60,5) daha yüksek çıkmıştır. EV2 ve dış ortam nem değerleri istatistiksel olarak farklılık göstermiştir (Tablo 4.12).

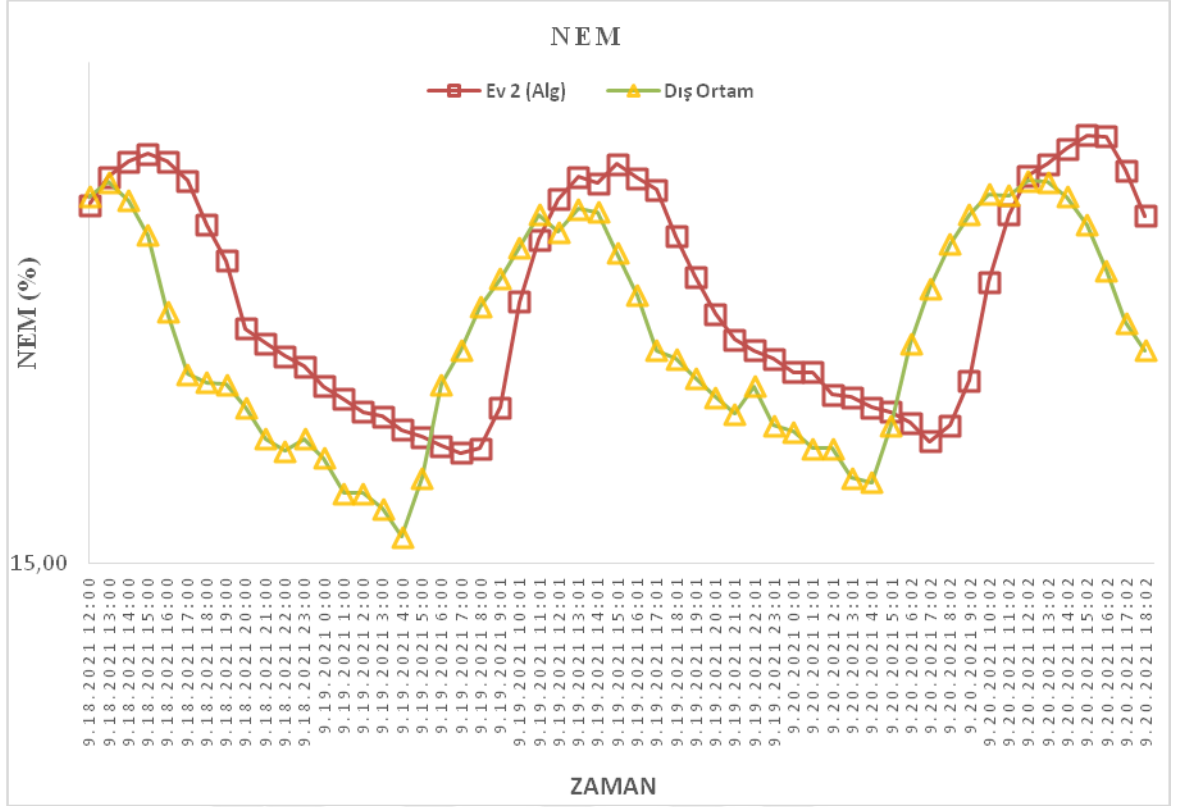
Tablo 4.12. EV2 ve dış ortam nem değerlerinin t-testi sonuçları (%)

	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
EV2 (ALG)	55	52,5	15,8	2,1
DIŞ ORTAM	55	60,5	21,1	2,8
T-Değer = -2,25 P-Değer = 0,0027				

EV2 ve Dış ortam nem değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.11’de verilmiştir. EV2 ve dış ortam nem değerleri gündüz saatleri için değerlendirildiğinde istatistiksel olarak farklılık bulunamamıştır. Ancak gece saatleri incelendiğinde, EV2’de nem değeri %61,9 iken dış ortamda nem değeri %77 bulunmuştur.

Tablo 4.13. EV2(alg)-Dış Ortam Gece Saatlerine Nem değerlerinin t-testi sonuçları (%)

	Sayı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
EV2 (ALG)	28	61,9	11,2	2,1
DIŞ ORTAM	28	77	12,8	2,4
T-Değer = -4,72 P-Değer = 0,000				



Şekil 4.11. EV2-Dış ortam nem değerlerinin değişimi

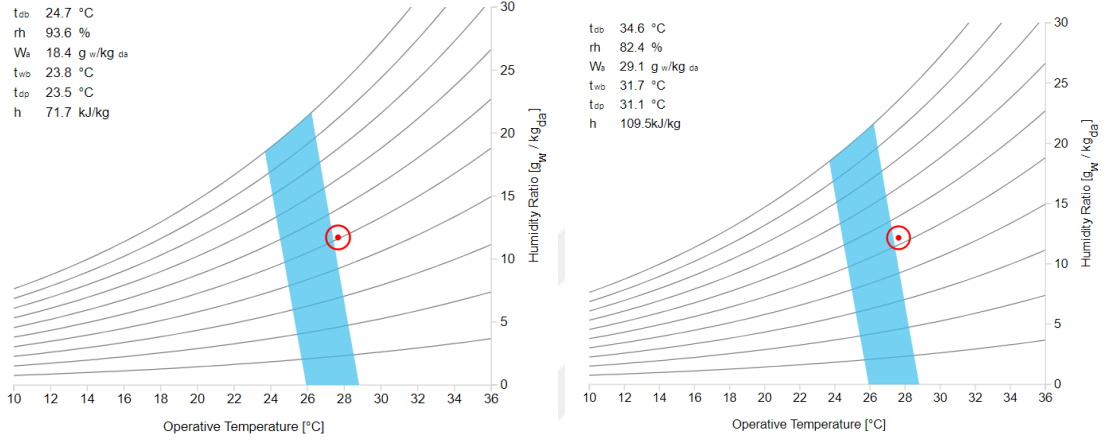
4.5. Termal Konfor Analizi

Çalışmada deney süresi boyunca sıcaklık, nem ve hava hızı değerleri gece-gündüz boyunca ölçülmüştür. Bu elde edilen değerlerle yerden 55 cm yükseklikte Isıl Çevre Memnuniyeti (Predicted Mean Vote-PMV) ve Isıl Çevreden Memnuniyetsizlik (Predicted Percentage Dissatisfied-PPD) değerleri hesaplanmıştır.

4.5.1. PMV ve PPD Hesabı

Yapılarda termal konfor analizlerinde genellikle ASHRAE Standart 55-2013: ‘İnsan kullanımı için ısııl çevre koşulları’ ve ISO 7730 (2005): ‘İlimli ısııl çevreler-PMV ve PPD indislerinin ve ısııl konfor koşullarının belirlenmesi’ standartları kullanılmaktadır. PMV ve PPD değerlerinin hesaplanmasında CBE Thermal Comfort Tool-CBE Termal Konfor Hesaplama Aracı kullanılmıştır (<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>).

EV1 ve EV2 için ortalama sıcaklık, nem ve hava hızı değerlerine göre ortalama PMV ve PPD değerleri hesaplanmıştır ve Şekil 4.12’de psikometrik diyagramlar üzerinde gösterilmiştir. EV1’de PMV değeri 0,59, PPD değeri ise %12 olarak hesaplanmıştır (Slightly warm). EV2’de ise PMV değeri 0,60, PPD değeri ise %13 olarak hesaplanmıştır. Ortalama değerler üzerinden Anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir.

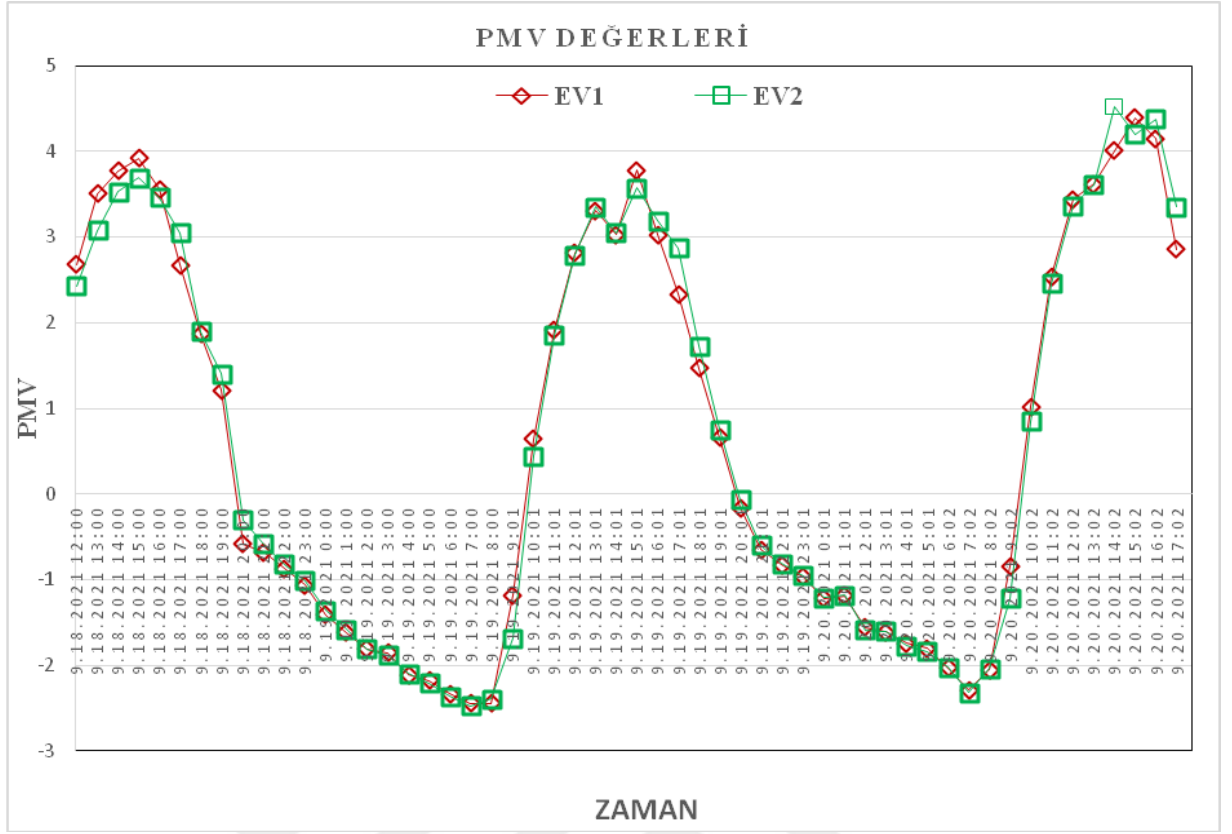


Şekil 4.12. EV1(soldaki) ve EV2 (sağ) için psikometrik diyagramlar

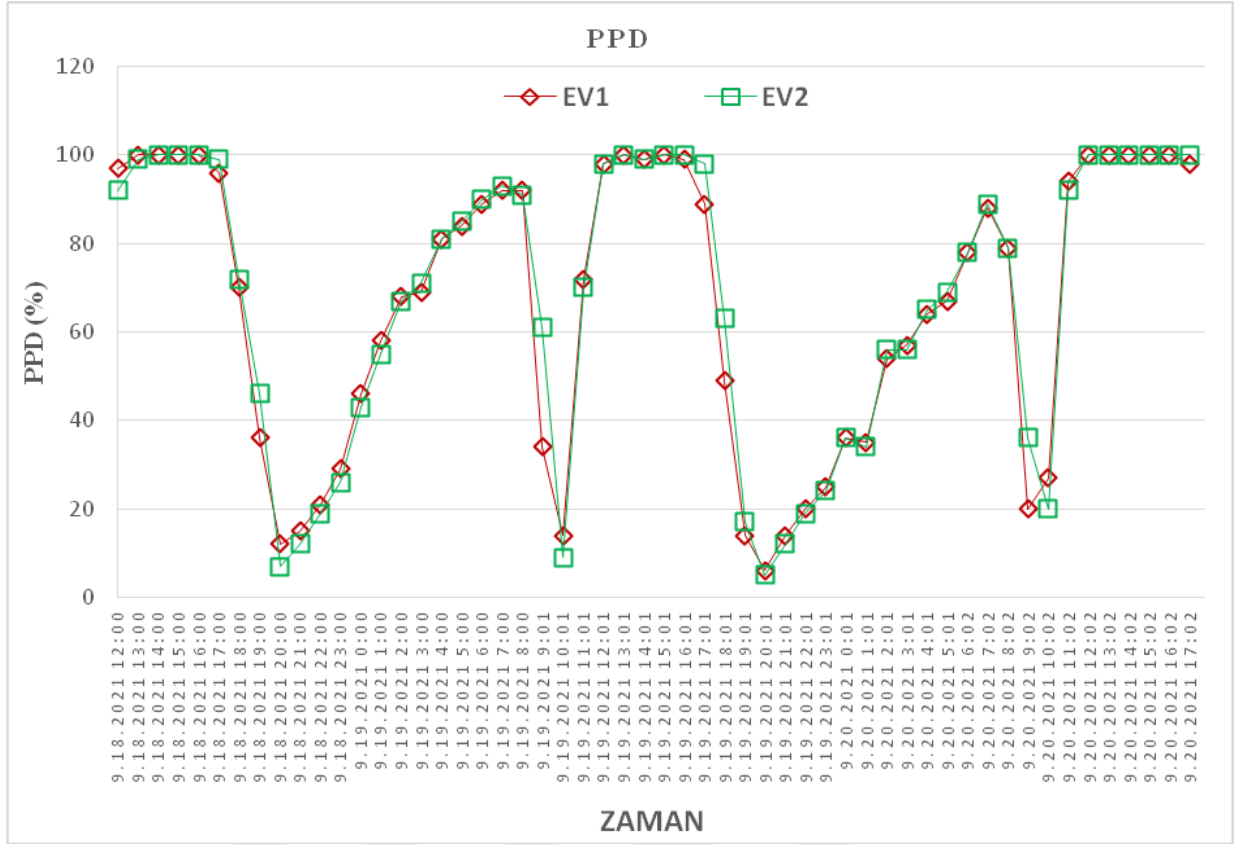
PMV değerlerinin insan üzerinde termal algı düzeylerinin belirlenmesi için yedi noktalı ısı duyarlılık ölçeği geliştirilmiştir (Mıhlıyanlar ve ark., 2017). Isı duyarlılık ölçeği Tablo 4.14’de verilmiştir. EV1 ve EV2’nin PMV ve PPD değerlerine göre ısı duyarlılık ölçeğinde PMV 1’ karşılığının “Hafif sıcak” olduğu görülmektedir.

Tablo 4.14. Isı Duyarlılık Ölçeği (Ekici, 2013; Mıhlıyanlar ve ark., 2017)

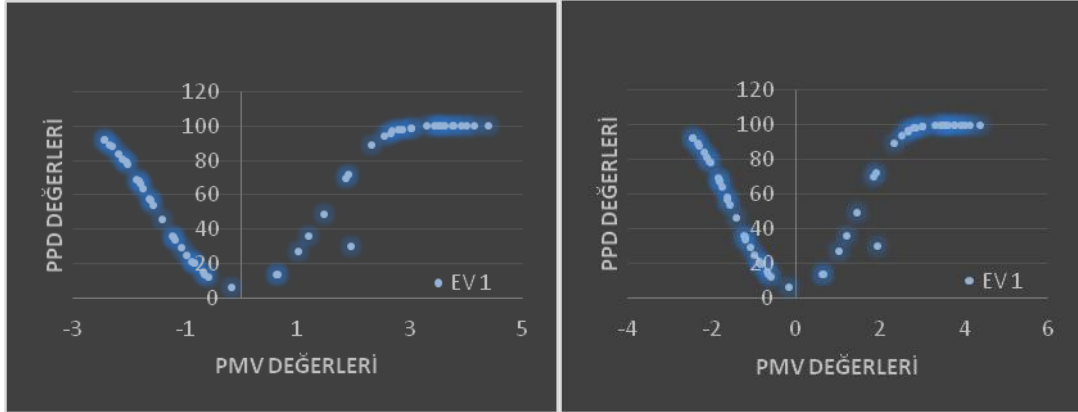
PMV	ANLAM	YORUM
3	Aşırı sıcak	Bunaltıcı ve tolere edilemez.
2	Sıcak	Çok sıcak.
1	Hafif sıcak	Tolere edilebilir, sıcak.
0	Nötr	Konforlu
-1	Hafif serin	Tolere edilebilir, serin.
-2	Serin	Çok serin.
-3	Soğuk	Tolere edilemez, soğuk.



Şekil 4.13. EV1 ve EV2 için PMV değerlerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.14. EV1 ve EV2 için PPD değerlerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.15. Ölçülen PMV değerlerine karşılık gelen PPD (%) değer grafikleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, binaların penceresine entegre edilen fotobiyoreaktör sistemin yapıda gölgelemeye, iç ortam sıcaklığına, gün ışığına, nem faktörüne ve termal konfora olan etkisi araştırılmıştır.

Fotobiyoreaktör pencere sistemi $\frac{1}{2}$ ölçekte inşa edilen ahşap yapıya entegre edilmiştir. Tabanı 1,5 m $\times$ 2 m ve yüksekliği 1,5 m olan tek açıklıklı 2 adet ahşap yapı modeli inşa edilmiştir. Her iki modele de 50 $\times$ 50 cm ebatlarında 1 adet pencere ve 45 cm $\times$ 100 cm ebatlarında 1 adet dış kapı takılmıştır. Aynı özelliklere sahip ve aynı malzeme kullanılarak yapılan 2 modelden, bir tanesine fotobiyoreaktör pencere sistemi entegre edilerek gölgelemeye, iç ortam sıcaklığına, gün ışığına, nem faktörüne ve termal konfora olan etkisi diğer kontrol modeli ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmada, her iki yapının da içerisinde 3 noktadan ışık ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler pencereye en yakın nokta (1. Nokta), orta nokta (2. Nokta) ve en uzak nokta (3. Nokta) olmak üzere 3 noktadan yapılmıştır. Kontrol modeli (EV1) ve PBR pencere sistemli evde (EV2) şeklinde adlandırılmıştır.

Yapılan çalışmalara göre fotobiyoreaktör pencere sisteminin yapıda gölgeleme etkisine bakıldığında, yapının iç ortamındaki ışık şiddeti değerleri EV2’de daha düşük gözlemlenmiştir. Bu da EV2’deki PBR pencere sisteminin yapıya gelen güneş ışığında gölgeleme etkisi yarattığını göstermektedir. 1. Nuktada ışık şiddeti EV2’de daha düşük çıkarken 2. Nuktada daha yüksek çıkmıştır. Aynı durum 3.Nuktada da görülmektedir. Buna göre EV2’deki PBR pencere sistemi gelen ışığı %92’sini gölgeleme etkisi ile kırarken 2. ve 3. Noktalarda ise daha aydınlık bir ortam yaratmıştır. Bu durum, PBR sistemin içerisindeki alg kültür ortamının ışığı yansıtarak iç ortamda daha aydınlık bir ortam yarattığı düşünülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen ışık şiddetinin yapı işlevine göre uygunluğuna bakıldığında EV2(Alg)’deki PBR pencere sisteminin ofis yapıları için daha kullanışlı olacağı düşünülmektedir. EV2(Alg)’deki PBR pencere sistemi mekanlar için hem gölgeleme etkisi hem de daha aydınlık bir ortam sağlayarak görsel konfor standartlarına uygun alanlar yaratabilir.

İç ortamda ölçülen aydınlık düzeyinin, dış ortamda ölçülen aydınlık düzeyine olan oranı olan günışığı düzeltme faktörü EV1 ve EV2’de her 3 noktadan alınan ışık şiddeti değerlerine göre de hesaplanmış ve 3 farklı noktadaki değişimleri incelenmiştir.

1. noktada düzeltme faktörü değeri EV1’de daha yüksek çıkarken, 2. ve 3. Noktalarda düzeltme faktörü EV2’de daha yüksek değerlerde çıkmıştır. Bu durumda şunu göstermektedir; fotobiyoreaktör pencere sistemi yapı iç ortamında direk gölgeleme etkisi yaratmakta ve diğer yandan da fotobiyoreaktör, pencereye gelen güneş ışığını iç ortama yansıttığı için pencereden uzak bölgelerde diğer yapıya göre daha aydınlık ortam yaratmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen verilere göre, EV1 için ortalama günışığı faktörü %13,32 çıkarken, EV2(Alg)’de %2,9 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre EV2(Alg)’de elde edilen günışığı oranı EV1 e göre daha iyi seviyede aydınlanma sağlandığını göstermektedir. Bu oranlara bakılarak ayrıca EV2(Alg) görsel konfor şartlarının da sağlanabileceğini düşünülmektedir.

Yapılan çalışma boyunca bina iç ortamında gece-gündüz sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Deneme sürecinde dış ortam sıcaklık değerleri 15,9-34,7°C aralığında, ortalama sıcaklık değeri ise 25,24°C olarak ölçülmüştür. EV1 ve EV2 için iç ortam ortalama sıcaklık değerleri ise sırasıyla 27,66 ve 27,63°C olarak ölçülmüştür. EV1 ve EV2 iç ortam ortalama hava sıcaklık değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık bulunmamıştır. EV1 ve EV2’de iç ortam sıcaklıkları gece ve gündüz olarak karşılaştırıldığı iç ortam sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak farklılık gözlenmemiştir. EV1 ve EV2’de gece ortalama sıcaklık değeri 22,3°C olarak ölçülmüştür.

Çalışmada EV2’de iç ortam ortalama hava sıcaklığı dış ortama göre daha yüksek ölçülmüştür. PBR pencere sisteminin gölgeleme etkisine bağlı olarak iç ortam sıcaklığını da düşürmesi bekleniyordu. Fakat deneme sürecinde dış ortam sıcaklıkları özellikle gündüz saatlerinde 30°C’lerin üstüne çıkmıştır. PBR pencere sisteminde yetiştirilen alg kültür ortam sıcaklığı da buna bağlı olarak artış göstermiştir. Alg kültür ortamı sıcaklığı deneme süreci boyunca 22,4 le 41°C aralığında ölçülmüştür. Seçilen alg kültürü yüksek ve düşük sıcaklıkları tolere edebilen bir tür olmasından dolayı alg gelişiminde olumsuz bir etki gözlenmemiştir. Ancak PBR ortamındaki sıcaklık artışı yapı iç ortamında sıcaklık artışına sebep olmuştur.

Çalışmadaki nem verilerine bakıldığında, EV1’de nem değeri %22,9-77 arasında değişiklik gösterirken EV2’de %25,5,-78,4 Aralığında değişiklik göstermiştir. EV1 ve EV2 iç ortam nem değerleri karşılaştırıldığında istatistiksel bir farklılık bulunamamıştır. EV2 ve dış ortam nem değerleri gündüz saatleri için değerlendirildiğinde istatistiksel

olarak farklılık bulunamamıştır. Ancak gece saatleri incelendiğinde, EV2’de nem değeri %61,9 iken dış ortamda nem değeri %77 bulunmuştur. PBR pencere sisteminin gece saatlerinde yapı iç ortamındaki nem değerinde azaltma etkisi yaptığı gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmada Termal Konfor Analizi için EV1 ve EV2 içi ortalama sıcaklık, nem ve hava hızı değerlerine göre ortalama PMV ve PPD değerleri hesaplanmıştır. EV1’de PMV değeri 0,59, PPD değeri ise %12 olarak hesaplanmıştır. EV2’de ise PMV değeri 0,60, PPD değeri ise %13 olarak hesaplanmıştır. EV1 ve EV2’nin PMV ve PPD değerlerine göre ısı duyarlılık ölçeğinde PMV 1’ karşılığının “Hafif sıcak” olduğu görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında hedeflenen asıl amaç microalglerin yüksek CO₂ emilimi, üretim verimi, bina içi ve dışı arasında bağlantı sağlayabilmesi gibi birçok avantajıyla beraber gerçek yaşamda uygulanma potansiyelini kullanarak sürdürülebilir, çevre dostu bina cephe sistemlerinin kullanımını artırmaktır.

Fotobiyoreaktör cephe sisteminin çıktısı olan oksijen içeren temiz havanın tekrar bina iç ortamına sirkülasyonunun sağlayan ve dolayısıyla sera gazı etkisini azaltan microalgler, PBR sistemlerinin ileri aşama çalışmalarında sıcaklık dengeleme görevi görebilir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler özellikle binaya entegrasyon aşamasının detaylarının ve güncel teknolojik analizlerinin de dahil edildiği daha büyük kontrol düzenekleri içeren PBR dış alan çalışmalarını amaçlayan gelecekteki çalışmalar için umut vadetmektedir.

Gelecek yıllarda CO₂ salınımı en aza indirilmiş ve enerji verimliliği yüksek binaların inşası daha çok önem kazanacaktır. Başta Avrupa Birliği ülkeleri olmak üzere birçok gelişmiş ülkeler sera gazı emisyonu düşük ve enerji verimliliği yüksek binaların inşa edilmesi için birçok yasa çıkarmış ve yönetmeliklerini revize etmişlerdir.

Çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında günümüzün problemi olan küresel ısınma ve iklim değişikliği için alınan önlemlere katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynağı olan mikro alglerin sürdürülebilir yapı cephe sistemlerinde kullanılma olanağı yaratılmış olacaktır. Bu bağlamda söz konusu çalışmanın “Sürdürülebilir Yapı ve Cephe Sistemleri”, “Yenilenebilir Enerji ve Enerji Depolama” ve “Sürdürülebilir Çevre Yönetimi Teknolojileri, Ekosistemler ve Sürdürülebilir Yapılı Çevre” alanlarında yapılacak olan bilimsel çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmada elde edilen veriler, binalarda gölgeleme olarak fotobiyoreaktör pencere sistemlerinin kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır. Günümüzde dünyanın en

büyük problemi sera gazlarının yol açtığı küresel ısınma ve iklim değişikliği problemidir. Bu çalışma ile sera gazları fotobiyoreaktör pencere sistemi ile azaltılmış olacak hem de üretilen biyokütle biyoyakıt olarak kullanılacaktır. Bu sayede de yapılardan kaynaklanan enerji tüketimi en aza indirilmiş olacaktır. Geliştirilecek olan fotobiyoreaktör sistemi, ülkemizde inşaat sektöründe sürdürülebilir bir sistem olarak kullanılabilir. Bu sayede ülkemizde yapılarda daha modern ve çevre dostu pencere ve cephe sistemlerinin kullanılma olanağı sağlanmış olacaktır.



KAYNAKLAR

- Anonim 1, 2021, Keskin, T., Güven, A. “Dünyada Ve Türkiye’de Enerji Verimliliği”. Erişim Linki: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-15_%20Enerji%20Verimlili%C4%9Fi_T%C3%BClin%20Keskin%20Alpaslan%20G%C3%BCven.pdf [Ziyaret Tarihi: 10.12.2021].
- Anonim 2 , 2013, “Algal Greenhouse Up and Running”, <http://iowaepscor.org/news/2013/algae-openhouse-2013>, [Ziyaret Tarihi: 10 Aralık 2020].
- Anonim 3, 2014, “Photobioreactor for Micro Algae Production”, b.t., http://neogenesisindia.com/pht_rctr.html, [Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2020].
- Anonim 4, 2013, “Research and Practice: The Bio-Responsive Façade”, <http://www.detail-online.com/inspiration/research-and-practice-the-bio-responsive-facade-106313.html>, [Ziyaret Tarihi: 5 Ocak 2021].
- Akyel, Ö. Y., 2009, *İklim değişikliği çerçeve sözleşmesi ve Türkiye’deki uygulamaları*, Doctoral dissertation, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı.
- Altın, M., Orhon, A. V., 2014, Akıllı Yapı Cepheleri ve Sürdürülebilirlik, Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, 1-9.
- Ardiani N.A., Koerniawan, M.D., Martokusumo1, W., Suyono, E. A., Poerbo1, H. W., 2019, Feasibility of Algae Photobioreactor as Façade in the Office Building in Indonesia, *Earth and Environmental Science* 322 (2019) 012020, 2-3.
- Arpacioğlu, Ü., Çalışkan, C.İ., Şahin, B., Ödevci, N., 2020, Mimari Planlamada, Günışığı Etkinliğinin Arttırılması için Kurgusal Tasarım Destek Modeli, *Tasarım Kuram* 2020;16(29):53-78.
- Baysan, O., 2003, Sürdürülebilirlik Kavramı Ve Mimarlıkta Tasarıma Yansıması, İstanbul Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, 32.
- Becker, E. W., 1994, *Microalgae: biotechnology and microbiology* (Vol. 10). Cambridge University Press.
- Blanco, I., Convertino, F., Schettini, E., Vox, G., 2021, Energy analysis of a green façade in summer: an experimental test in Mediterranean climate conditions. *Energy and Buildings*, 245, 111076.
- Bibbens, J., v2015, “Using DNA Barcoding to Identify Algae Species”, <https://prezi.com/6n4lpj8i2glc/using-dna-barcoding-to-identify-algae-species/>, [Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2021].
- Candemir, B., Candemir, B., Beyhan, B., Karaata, E. S., & Karaata, E. S., 2012, *İnşaat sektöründe sürdürülebilirlik: yeşil binalar ve nanoteknoloji stratejileri*. İMSAD

(İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği Yayınları) & TÜSİAD (Türk Sanayicileri ve İş Adamları Derneği).

- Cheng, C., Pouffary, S., Svenningsen, N., & Callaway, M., 2008, The Kyoto Protocol, the clean development mechanism, and the building and construction sector. *UNEP SBCI, Paris*.
- Chiu, S. Y., Kao, C. Y., Chen, C. H., Kuan, T. C., Ong, S. C., Lin, C. S., 2008, Reduction of CO₂ by a high-density culture of *Chlorella* sp. in a semicontinuous photobioreactor. *Bioresource technology*, 99(9), 3389-3396.
- Conk Dalay, M., İmamoğlu, E., Öncel, S., 2008, Mikroalgal Biyokütle Üretimi İçin Düşük Maliyetli Fotobiyoreaktör Tasarımı, *TÜBİTAK MAG, Proje No: 104M354*.
- Cuce, P. M., Cuce, E., Guclu, T., Demirci, V., 2021, Energy Saving Aspects of Green Facades: Current Applications and Challenges. *Green Building & Construction Economics*, 1-11.
- Çalışkan Eleren, S., Öner, B., 2018, Sürdürülebilir Ve Çevre Dostu Biyoyakıt Hammaddesi: Mikroalgler, *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 25(3), 305.
- Dakheel, J., Aoul, K. T., 2017, Building Applications, Opportunities and Challenges of Active Shading Systems: A State-Of-The-Art Review, *Energies* 2017, 10, 1672; doi:10.3390/en10101672.
- Duraler, Y., 2017, Tip İlkokul Dersliklerinin Gün Işığından Etkin Yararlanması Açısından Tasarlanmasına Yönelik Bir Çalışma, Yüksek lisans tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Ekici, C., 2013, PMV Metodu ile Isıl Konfor Ölçümü ve Hesaplanması, *VIII. Ulusal Ölçüm Bilim Kong, Gebze/Kocaeli, Türkiye* (2013), 26-28.
- Elcik, H., & Çakmakçı, M. 2017, Mikroalg Üretimi Ve Mikroalglerden Biyoyakıt Eldesi, *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 2-5.
- Elrayies, G. M., 2018, Microalgae: prospects for Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 1176.
- Elnokaly, A., & Keeling, I., 2016, An empirical study investigating the impact of micro-algal technologies and their application within intelligent building fabrics. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 216, 712-723.
- Encarnacion, R. C., Benitez, S. G., Santos, M. G., & Medina, C. S., 2010, Maximization of *Scenedesmus dimorphus* lipid yield for the production of biodiesel. *Polytechnic University of Puerto Rico, San Juan, Puerto Rico*.

- Gezici, M., 2012, Biyodizel Üretimine Uygun Mikroalglerin Gelişimine Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Etkisinin Belirlenmesi, Ankara Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, 8.
- Guo, A., & Liu, Z., 2020, A New Method for Energy Efficiency Design of Building Facade and Its Thermodynamic Evaluation. *Journal homepage: <http://ieta.org/journals/ijht>*, 38(4), 903-913.
- Hagendijk, A. J., 2015, *Design of an optimal photobioreactor* (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).
- Hodaifa, G., Martínez, M. E., & Sánchez, S. (2009). Influence of pH on the culture of *Scenedesmus obliquus* in olive-mill wastewater. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 14(6), 854-860.
- IESNA, 2011. The Lighting Handbook: Reference&Application 10th Edition, New York: Illuminating Society of North America, ABD.
- Inoue, T., 2003, Solar shading and daylighting by means of autonomous responsive dimming glass: practical application. *Energy and buildings*, 35(5), 463-471.
- İnam, A., 2018, Fotobiyoreaktör Tasarımı Ve Bu Fotobiyoreaktörün Bina İle Etkileşiminin Laboratuvar Ölçekte İncelenmesi, Ege Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, 30-33.
- Jegade, F. O., Adewale, B. A., Ajonye, G. O., & Adebajo, T., 2021, Evaluation of the use of Green Façade in Residential Buildings in Kubwa, Abuja, Nigeria. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1107, No. 1, p. 01218, IOP Publishing.
- Karaman, S. ve Gökalp, Z., 2010, Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 3 (1), 59.
- Kargın, H., 2020, Akuakültürde Kullanılan Mikroalg Üretim Sistemleri Fotobiyoreaktörler Dünyada ve Ülkemizde Kullanımı, *Mediterranean Fisheries And Aquaculture Research*, 114-115.
- Kang, J., Wen, Z., 2015, Use of microalgae for mitigating ammonia and CO₂ emissions from animal production operations—Evaluation of gas removal efficiency and algal biomass composition. *Algal Research*, 11, 204-210.
- Keffer, J. E., Kleinheinz, G. T., 2002, Use of *Chlorella vulgaris* for CO₂ mitigation in a photobioreactor. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 29(5), 275-280.
- Klein, B.C., Bonomi, A. ve Filho, R.M., 2018, Integration of microalgae production with industrial biofuel facilities: A critical review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1377.

- Knutson, C. M., McLaughlin, E. M., & Barney, B. M., 2018, Effect of temperature control on green algae grown under continuous culture. *Algal research*, 35, 301-308.
- Kim, K. H., 2013, Beyond green: growing algae facade. In ARCC Conference Repository.
- Kim, K. H., Patel, S., 2018, Sustainable Tall Buildings: Microalgae Facades For City's Energy Production, Water Conservation, And Good Air Quality. Proceedings of 125th IASTEM International Conference, Seoul, South Korea, 18th-19th July 2018.
- Koç,E., Kaya,K., 2015, Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu, *Mühendis Ve Makina*, 56(668), 36-47.
- Koh, L. P., Ghazoul, J., 2008, Biofuels, Biodiversity, And People: Understanding The Conflicts And Finding Opportunities, *Biological Conservation*, 141(10), 2455-2456.
- Kükdamar, İ., 2017, Cephelerde Fotobiyoreaktör Kullanımının Binaların Sürdürülebilirliğine Etkisi , *Teskon 2017 / Bina Fiziği Sempozyumu*, 3-11.
- Kükdamar, İ., Göksal Özbalta, T., 2018, Bina Kabuğunda Yenilikçi Yaklaşımlar- Fotobiyoreaktör Cepheler, *3.Ulusal Yapı Fiziği Ve Çevre Kontrolü Kongresi*, 208-209.
- Martins, F.,Felguerias,C.,Smitkova,M., ve Caetano, N.,2019, Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries, *Energies*,2019,2.
- Martokusumo, W., Koerniawan, M. D., Poerbo, H. W., Ardiani, N. A., & Krisanti, S. H., 2017, Algae and building façade revisited. a study of façade system for infill design. *Journal of Architecture and Urbanism*, 41(4), 296-304.
- Mıhlayanlar, E., Kartal, S., ve Yılmaz E. Ş., 2017, Yükseköğretim Yapılarında Isıl Konfor Şartlarının Araştırılması: Mimarlık Fakültesi Örneği, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 213 (2017), 917-927.
- Okomoda, V.T.; Abdulrahman, A.K.; Khatoon, H.; Mithun, S.; Oladimeji, A.S.; Abol Munafi, A.B.; Alabi, K.I.; Alamanjo, C.C.; Anuar, H., 2021, Performance Characteristics of *Ankistrodesmus falcatus* in Different Culture Media and Concentration, *Plants* 2021, 10, 755.
- Oktor, K., 2018, Mikroalgelerin Çevre Teknolojilerindeki Yeri, *Çevre Bilim Ve Teknoloji*, 337-338.
- Oral, O., & Uğuz, S., 2020, Türkiye'deki Farklı Sektörlere Ait Sera Gazı Emisyon Değerlerinin Çok Katmanlı Algılayıcılar ve Topluluk Öğrenmesi Yöntemleri ile

Tahmin Edilmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 12(2), 464-478.

Pekmezci, Y.T. 2019, Mikroalgler Kullanılarak Tasarlanan Fotobiyoreaktör Sistemlerinin Mimari Tasarım Disiplinine Aktarılmasındaki Sorunlar, Yıldız Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, 72-95.

Pruvost, J., Gouic, B., Lepine, O., Legrand, J., Borgne, F., 2016, Microalgae culture in building-integrated photobioreactors: Biomass production modelling and energetic analysis. *Chemical Engineering Journal* 284 (2016) 850–861.

Razzak, S.A., Ali, S.A.M., Hossain, M.M. ve Delasa, H., 2017, Biological CO₂ fixation with production of microalgae in wastewater, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 379.

Salama, E.S., Hwang, J.H., El-Dalatony, M.M., Kurade, M.B., Kabra, A.N., Abou-Shanab, R.A.I., K, K.H., Yang, I.S., Govindwar, S.P., Kim, S. ve Jeon, B.H., 2018, Enhancement of microalgal growth and biocomponent-based transformations for improved biofuel recovery: A review, *Biotechnology Institute*, 258, 368.

Sarda, R.C., Vicente, C.A., 2016, Case Studies on the Architectural Integration of Photobioreactors in Building Façades, *Nano and Biotech Based Materials for Energy Building Efficiency*, 457-458.

Sayaner, O., 2013, Mikroalg Yetiştiriciliği Yoluyla Baca Gazı Kaynaklı Karbondioksit Azaltımı, İstanbul Üniversitesi, *Enerji Enstitüsü*, 14-16.

Schomaker R.A., Dudycha J.L., 2021, De novo transcriptome assembly of the green alga *Ankistrodesmus falcatus*, *PLoS ONE*, 16(5): e0251668, 1-2.

Shadzad, U., 2012, The Need For Renewable Energy Sources, *International Journal of Information Technology and Electrical Engineering*, 16.

Stephens, E., Ross, I. L., Mussgnug, J. H., Wagner, L. D., Borowitzka, M. A., Posten, C., Ve Hankamer, B., 2010, Future Prospects Of Microalgal Biofuel Production Systems. *Trends In Plant Science*, 15(10), 557-558.

Sun, C., Giles, H., & Lian, Z., 2014, The dynamic impact of window characteristics on shading factor and energy consumption, *Solar energy*, 102, 1-13.

Sünger, Y., 2019. A Study On The Utilization Of Microalgae For Producing Light And Biofuel In The Built Environment (Doctoral Dissertation, Middle East Technical University).

Sümengen, Ö., Yener, A.K., 2015, Binalarda Aydınlatma Enerji Performansının Belirlenmesinde Güneşine İlişkin Değişkenlerin İncelenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(3):135-148.

- Şahin, Y., Akyurt, İ., 2010, Planktonlar ve Fotobiyoreaktörler, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi / The Black Sea Journal of Science*, 1 , 86-87.
- Tatar, E., 2013, Sürdürülebilir Mimarlık Kapsamında Çalışma Mekanlarında Gün Işığı Kullanımı İçin Bir Öneri, Süleyman Demirel Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 148.
- Tandon, P. ve Jin, Q.,2017, Microalgae Culture Enhancement Through Key Microbial Approaches, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 80, 1089.
- The International Energy Agency, 2019, Energy Efficiency: Buildings. Retrieved 12 10, 2018, from The International Energy Agency: <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings/>
- TÜİK, 2020. Türkiye İstatistik Kurumu.
- Türkeş, M., Sümer, U.M. ve Çetiner, G.,2000, Küresel İklim Değişikliği Ve Olası Etkileri, Çevre Bakanlığı, *Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları (13 Nisan 2000, İstanbul Sanayi Odası)*, 2.
- Türkeş, M.,2008, Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler, *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1, 26.
- Umdü, E. S., Kahraman, İ., Yildirim, N., & Bilir, L., 2018, Optimization of microalgae panel bioreactor thermal transmission property for building façade applications. *Energy and Buildings*, 175, 113-120.
- Yurttakal, Ö., 2007, Pencere Sistemlerinin Isıl Performansının Eleman ve Bina Düzeyinde Değerlendirilmesi, Doctoral dissertation, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Zhang, Q., Neilson, R., Giles, M., Li, H., Yang, X. R., Su, J. Q., & Zhu, Y. G., 2021, Vertical distribution of antibiotic resistance genes in an urban green facade. *Environment International*, 152, 106502.