T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOBİYOREAKTÖR (FBR) SİSTEMLERİN BİNA KABUĞUNA BÜTÜNLEŞTİRİLMESİNİN İNCELENMESİ

EZGİ AVCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Esma MIHLAYANLAR

EDİRNE-2023

EZGİ AVCI'nın hazırladığı "**FOTOBİYOREAKTÖR (FBR) SİSTEMLERİN BİNA KABUĞUNA BÜTÜNLEŞTİRİLMESİNİN İNCELENMESİ**" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından **Mimarlık** Anabilim Dalında bir **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad):	İmza
Doç. Dr. Esma MIHLAYANLAR	……
Doç. Dr. Doğan ERYENER	……
Doç. Dr. Seher GÜZELÇOBAN MAYUK	……

Tez Savunma Tarihi: 19/06/2023

Bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Doç. Dr. Esma MIHLAYANLAR
Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

……
Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

19 /06 /2023
EZGİ AVCI

Yüksek Lisans Tezi
Fotobiyoreaktör (FBR) Sistemlerin Bina Kabuğuna Bütünleştirilmesinin İncelenmesi
Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

ÖZET

Enerji tüm alanlarda olduğu gibi bina sektöründe de binanın inşa edilmesinden yıkımına kadarki tüm süreçlerinde önemli bir paya sahiptir. Enerjinin binada en çok kullanım / işletme aşamasında tüketildiği bilinmektedir. Günümüzde fosil yakıtların kullanımının azaltılması hedeflenmekte ve yenilenebilir enerjilere yönelim artmaktadır. Ülkeler ve topluluklar bu anlamda çeşitli hedefler ortaya koymaktadır. Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde, 2021 yılından itibaren yeni binaların yaklaşık sıfır enerjili tasarlanarak inşa edilmesi öngörülmektedir. 2050 yılında ise Avrupa kıtasının karbondan arındırılması hedeflenmektedir. Bu durum yeni binaların enerji verimliliği ile birlikte mevcut binaların da enerji verimliliği adına iyileştirilmesi açısından önemlidir. Binaların enerji ihtiyacının sağlanmasında güneş, rüzgâr gibi sürdürülebilir, temiz, yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Biyokütle enerjisi de bunlardan biridir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle enerjisi; farklı amaçlarla eskiden beri kullanılan, kendi kaynaklarını üretebilen, bitkisel ve hayvansal esaslı bir enerji çeşididir. Günümüzde biyokütle; biyoyakıt ve biyoenerji eldesi ile elektrik üretme ve ısıtma gibi amaçlar için yoğun olarak kullanılmaktadır.

Biyokütle enerjisi binalara; pelet soba, biyokütle kazanı, kojenerasyon sistemleri ile ısıtma ve elektrik enerjisi olarak katkıda bulunabilmektedir. Biyokütle enerjisinin bina kabuğu sistemleri ile nasıl bütünleştirilebileceği, bu enerjinin üretime katkıları üzerine günümüzde birçok araştırma ve proje yapılmaktadır. Fotobiyoreaktörler de farklı ve yeni teknolojik sistemleri ortaya çıkaran bu tür çalışmaların sonuçlarındandır.

Fotobiyoreaktör sistemler, görsel etki ve bu görsel etkinin ürettiği enerjinin bir arada olması gibi açılardan olumlu bulunmaktadır. Sistemdeki biyokütle kaynağının nasıl elde edildiği ve kullanıldığı konusunda; binanın bulunduğu yerin konumu, güneşlenme süresi, nemi gibi iklim özellikleri belirleyicidir. Bunların uygulama maliyetini de etkilemesi sistemin farklı açılardan sorgulanmasına neden olmaktadır.

Bu anlamda tez kapsamında; biyokütle enerjisinin binalarda kullanımının mevcut durumu irdelenerek, bina kabuğunda kullanımına yönelik fotobiyoreaktörlere dayalı geliştirilen çalışmalar ve sistemler araştırılmıştır. Ayrıca, sistemlerin Türkiye iklim verileri göz önüne alındığında bina kabuğunda kullanımı incelenmiştir.

Bu çalışmada fotobiyoreaktör sistemin bina kabuğunda kullanımının araştırılması amaçlanmıştır. Türkiye şartlarında farklı iklim bölgelerinde, örnek bir bina üzerinde gerçekleştirilen simülasyonlar doğrultusunda bina enerji ihtiyaçları incelenmiştir. Ayrıca uygulamaya yönelik olarak bu sistem için gerekli ölçütlerin tespiti sağlanmış ve mevcut düzeneklerin işleyişleri de araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda fotobiyoreaktör sistemin binaya bütünleştirilmesi ile enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında, gürültü kontrolünde ve çevresel etkiler açısından katkı sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, iklim özelliklerine ve yapı elemanları ısı yalıtım kalınlıklarına göre enerji ihtiyaçlarının da değişiklik gösterdiği görülmüştür.

Küresel iklim değişikliği etkilerinin yaşandığı günümüzde özellikle Paris Antlaşması hedeflerine ulaşılabilmesi açısından yenilenebilir enerji kaynakları ile kullanılan, binalara bütünleşik sistemler daha da önem kazanacaktır. Çalışmanın bu anlamda teoride ve pratikte katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

Yıl : 2023

Sayfa Sayısı : 140

Anahtar Kelimeler : Enerji, yenilenebilir enerji, biyokütle enerjisi, fotobiyoreaktör, FBR, bina kabuğu.

Master's Thesis
Investigation of Integration of Photobioreactor (PBR) Systems into Building Envelope
Trakya University Institute of Natural Sciences
M. Sc. Programme in Architecture

ABSTRACT

Energy has an important share in all processes from the construction of the building to its demolition in the building sector, as in all areas. It is known that energy is consumed mostly in the usage / operation phase in the building. Today, it is aimed to reduce the use of fossil fuels and the tendency to renewable energies is increasing. Countries and communities set various goals in this sense. In the European Union (EU) countries, it is foreseen that new buildings will be designed and built with approximately zero energy starting from 2021. In 2050, it is aimed to decarbonize the European continent. This is important in terms of improving the energy efficiency of existing buildings as well as new buildings in terms of energy efficiency. Sustainable, clean and renewable energy sources such as sun and wind come to the fore the energy needs of buildings. Biomass energy is one of them.

Biomass energy, one of the renewable energy sources; It is a type of energy of vegetable and animal origin, which has been used for different purposes since ancient times, which can produce its own resources. Today, biomass; It is used extensively for purposes such as electricity generation and heating by obtaining biofuels and bioenergy.

Biomass energy to buildings; It can contribute as heating and electrical energy with pellet stove, biomass boiler, cogeneration systems. Today, many research and projects are carried out on how biomass energy can be integrated with building envelope systems and the contribution of this energy to production. Photobioreactors are among the results of such studies that reveal different and new technological systems.

Photobioreactor systems are positive in terms of visual effect and the combination of the energy produced by this visual effect. On how the biomass resource in the system is obtained and used; Climatic features such as the location of the building, the duration of sunshine and humidity are decisive. The fact that these also affect the cost of implementation causes the system to be questioned from different perspectives.

In this sense, within the scope of the thesis; By examining the current situation of the use of biomass energy in buildings, studies and systems developed based on photobioreactors for the use of building envelope were investigated. In addition, the use of the systems in the building envelope was examined considering the climate data of Türkiye.

In this study, it is aimed to investigate the use of the photobioreactor system in the building envelope. Building energy needs were examined in line with the simulations carried out on a sample building in different climatic regions in Türkiye. In addition, the necessary criteria for this system have been determined for practice and the functioning of the existing mechanisms has been investigated. As a result of the study, it has been seen that the energy needs of the buildings vary according to the climate characteristics and the thermal insulation thickness of the building elements.

In today's world, where the effects of global climate change are experienced, systems integrated into buildings, which are used with renewable energy sources, will gain more importance especially in terms of reaching the targets of the Paris Agreement. It is foreseen that the study can contribute in theory and practice in this sense.

Year : 2023

Number of Pages :140

Keywords : Energy, renewable energy, biomass energy, photobioreactor, PBR, building envelope.

ÖNSÖZ

Enerji kaynaklarının tükenmeye başlamasıyla enerjinin verimli kullanımına, alternatif kaynak ve yöntem arayışlarına yönelik çalışmalar artış göstermektedir. Enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olan bina sektörü de bu durumdan etkilenmektedir. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle enerjisinin binalarda kullanımına yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Türkiye açısından bu sistemlerin uygunluğu "Fotobiyoreaktör (FBR) Sistemlerin Bina Kabuğuna Bütünleştirilmesinin İncelenmesi" başlığı altında araştırılmıştır.

Bu çalışmanın yürütülmesi süresince bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, önerileriyle yol gösteren, yardımını ve desteğini her daim esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Esma MIHLAYANLAR'a, simülasyon programı konusundaki deneyimlerini paylaşarak destek olan Arş. Gör. Dr. Dinçer AYDIN'a ve Arş. Gör. Dr. Aslı Köksoy'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca her koşulda sevgisini, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen annem Nefize AVCI, babam Ergün AVCI, kardeşim Eda Nur AVCI' ya ve bu süreçte destek aldığım herkese çok teşekkür ederim.

Ezgi AVCI

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....iv
ABSTRACT.....vi
ÖNSÖZ.....viii
İÇİNDEKİLER.....ix
SİMGELER DİZİNİ.....xi
KISALTMALAR DİZİNİ.....xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....xv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....xviii
BÖLÜM 1.....1
GİRİŞ.....1
1.1. Araştırma Problemi.....6
1.2. Tezin Amacı ve Önemi.....6
1.3. Tezin Kapsamı ve Yöntemi.....7
1.4. Literatür İncelemesi.....8
BÖLÜM 2.....17
BİNA KABUĞU VE ENERJİ TÜKETİMİNDEKİ ROLÜ, FOTOBİYOREAKTÖR SİSTEMLERİN GELİŞİMİ.....17
2.1. Bina Kabuğunun Gelişimi ve Enerji Tüketimi.....19
2.2. Fotobiyoreaktör Sistemlerin Gelişimi.....28
2.2.1. Biyokütle Enerjisi ve Kullanımı.....29
2.2.2. Biyokütle Enerjisinin Binalara Bütünleştirilmesi.....39
2.2.3. Bina Kabuğunda Algler ve Fotobiyoreaktörlerin Kullanımı.....40
2.2.4. Örnek Projeler.....46
2.2.4.1. Kentsel Tasarım Örnekleri.....46
2.2.4.2. Yenileme Projeleri.....53
2.2.4.3. Yeni Tasarlanmış Projeler.....58

BÖLÜM 3.....62
VAKA ÇALIŞMASI: BIO-INTELLIGENT QUOTIENT (BIQ) BİNASI.....62
3.1. BIQ Binası Özellikleri.....62
3.2. Yöntem.....74
3.2.1. BIQ Binasının Modellenmesi ve Simülasyonu.....75
3.2.2. Türkiye'deki Farklı İklim Bölgeleri için Seçilen Örnek İller.....87
3.3. Bulgular.....90
3.3.1. Hamburg Verileri.....90
3.3.2. Türkiye'deki Farklı İklim Bölgeleri için Seçilen Örnek İllerin Verileri 91
BÖLÜM 4.....103
SONUÇ VE ÖNERİLER.....103
KAYNAKLAR.....110
ÖZGEÇMİŞ.....119
TEZ ÖĞRENCİSİNE AİT BİLİMSEL ÇALIŞMALAR.....121

SİMGELER DİZİNİ

λ	Thermal Conductivity Coefficient / Isıl İletkenlik Kat Sayısı
°C	Degrees Centigrade / Santigrad Derece
%	Yüzde İşareti
ach	Air Change Rate / Hava Değişim Oranı
cm	Centimeter / Santimetre
cm^2	Square Centimeter / Santimetre Kare
CH_2O	Formaldehyde / Formaldehit
CH_4	Methane / Metan
CO_2	Carbon Dioxide / Karbondioksit
G	Camın toplam enerji geçirgenliği
gr	Gram / Gram
h	Hour / Saat
H_2O	Dihydrogen Monoxide / Dihidrojen Monoksit
O_2	Oxygen / Oksijen
kg	Kilogram / Kilogram
kJ	Kilojoule / Kilojul
kWh	Kilowatt-hour / Kilovat-saat
kWh/ m^2	Per Square Meter Kilowatt Hour / Metrekare Başına Kilovat-Saat
L	Liter / Litre
Lux	Lüx / Birim Alan Başına Işık Akısı
m	Meter / Metre
m^2	Square Meter / Metrekare
m^3	Cubic Meter / Metreküp
Pa	Pascal / Paskal
pH	Power of Hydrojen / Hidrojenin gücü
SO_2	Sulfur Dioxide / Kükürt Dioksit

U	Thermal Transmittance / Isıl Geçirgenlik
U_d	Thermal Transmittance / Döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı
U_D	Thermal Transmittance / Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı
U_g	Thermal Transmittance / Cam Isıl Geçirgenlik
U_p	Thermal Transmittance / Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı
U_t	Thermal Transmittance / Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı
W	Watt

KISALTMALAR DİZİNİ

EU / AB	European Union / Avrupa Birliği
API	Application Programming Interface / Uygulama Programlama Arayüzü
ASRAE	The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers / Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme
BEP	Binalarda Enerji Performansı
BEP-BUY	Binalarda Enerji Performansı Bakanlık Uç Yazılımı
BEP-İS	Binalarda Enerji Performansı Sunucu Uygulaması
BEP-TR	Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Uygulaması
BIQ	Bio-Intelligent Quotient
BIM	Building Information Modeling / Bina Bilgi Modellemesi
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CDD	Cooling Degree Day / Soğutma Derece Gün
EES	Engineering Equation Solver
EVK	Enerji Verimliliği Kanunu
EKB	Enerji Kimlik Belgesi
EPS	Expanded Polystyren Foam / Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük
ETFE	Ethylene Tetrafluoroethylene
FEA	Finite Element Analysis / Sonlu Elemanlar Analizi
G20	Groups of 20 / 20 Grubu
HDD	Heating Degree Day / Isıtma Derece Gün
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning / Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
IBA	International Building Exhibition / Uluslararası Yapı Fuarı
IEA	International Energy Agency / Uluslarası Enerji Ajansı
IIP	ITP Inovation Park / ITP İnovasyon Parkı

ITB	Institut Teknologi Bandung / The Bandung Institute of Technology/ Bandung Teknoloji Enstitüsü
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change / Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design / Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik Mühendisleri Derneği
nZEB/ nSEB	Nearly Zero-Emission Building / Neredeyse Sıfır Enerjili Bina
NZEB/ NSEB	Net Zero-Emission Building / Net Sıfır Enerjili Bina
ZEB/ SEB	Zero-Emission Building / Sıfır Enerjili Bina
NSW	New South Wales / Yeni Güney Galler
PBR / FBR	Photobioreactor / Fotobioreaktör
PV	Photovoltaic / Fotovoltaik
REN	Renewables Now
RWP	Raceway Ponds
SSC	Strategic Science Consult / Stratejik Bilim Danışmanlığı
SDM	System Dynamic Model
SHGC	Solar Heat Gain Cofficient / Güneş Isısı Kazanım Katsayısı
TS	Turkish Standards / Türk Standartları
VT	Visible Transmittance / Görünür Geçirgenlik
YeS-TR	Ulusal Yeşil Sertifika Sistemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Bina kabuğuna etki eden faktörler (Moghtadernejad, 2018). 18
Şekil 2. 2. Bina kabuğu elemanları (buildingscience.com). 18
Şekil 2. 3. Çok katlı ve tek katlı binalarda bina kabuğundan ısı kayıp yüzdeler 23
Şekil 2. 4. Sektörlere göre toplam nihai enerji tüketimi ve sektörlerin yenilenebilir enerji 24
Şekil 2. 5. Binalarda toplam nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerji payı; 2010, 2019 24
Şekil 2. 6. Karbondioksit emisyonlarının binalarda enerji tüketimiyle doğru orantılı 25
Şekil 2. 7. Mevcut ve pasif binaların bina kabuğu özellikleri ve ısıtma yükü değerleri . 27
Şekil 2. 8. Pasif bina yapı elemanlarının taşıması gereken özellikler (meskencelik.com). 28
Şekil 2. 9. Kaynağa göre 1949-2022 enerji tüketimleri (EIA). 30
Şekil 2. 10. Kaynağa göre 2021-2022-2023 aylık enerji tüketimleri (EIA) 30
Şekil 2. 11. 2019 yılı enerji talebinin yakıta göre dağılımı (pwc.com.tr, 2021). 33
Şekil 2. 12. Yıllara göre biyokütle kurulu gücü, GW, 2005-2019 (pwc.com.tr, 2021). . 37
Şekil 2. 13. Biyokütle kaynaklı ısı ve elektrik üretimi (pwc.com.tr, 2021). 37
Şekil 2. 14. Biyoenerjinin toplam nihai enerji tüketimindeki yeri ve son kullanım 38
Şekil 2. 15. 1990-2020 yılları arasında Türkiye'de kaynağa göre toplam enerji arzı (IEA). 39
Şekil 2. 16. Algler, yosunlar (Kükdamar, 2017). 40
Şekil 2. 17. Kapalı ve açık alg üretim sistemleri (Kükdamar, 2017). 41
Şekil 2. 18. Farklı fotobiyoreaktör sistemler (Öncel, Köse, & Öncel, 2016) 41
Şekil 2. 19. Fotobiyoreaktörün çalışma prensibi (Öncel, Köse & Öncel, 2020) 44
Şekil 3. 1. Binanın işlevlere göre değişebilme özelliği (Roedel & Petersen, 2013). 64
Şekil 3. 2. Binada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı (Roedel & Petersen, ... 66
Şekil 3.3. Binanın ısıtma, soğutma ve depolama için kullandığı sistemlerin kesit 66

Şekil 3. 4. Binanın teknik hacimleri (Kükdamar & Özbalta, 2018; www.metalocus.es; 67
Şekil 3. 5. Binanın cephesinde yer alan FBR sistemi (Roedel & Petersen, 2013). 68
Şekil 3. 6. Fotobiyoreaktör cephenin çalışma sistemi (Kükdamar & Özbalta, 2018). 69
Şekil 3. 7. SolarLeaf katmanları (www.metalocus.es). 70
Şekil 3. 8. Solar Leaf için farklı katman denemeleri (arup.com). 71
Şekil 3. 9. Binanın enerji konsept şeması (Kerner, Gebken, Sundarrao, Hindersin, & .. 72
Şekil 3.10. BIQ binasının yıllık enerji dengesi (MWh/yıl), (Kükdamar & Özbalta, ... 73
Şekil 3. 11. Modellemede tanımlanan katlar (a), modellemedeki pencereler (b) 76
Şekil 3. 12. BIQ Binası'na ait kat planları (Roedel & Petersen, 2013). 77
Şekil 3. 13. BIQ Binası'na ait kesitler ve görünüşler (www10.aeccafe.com). 78
Şekil 3. 14. BIQ Binası'nın DesignBuilder programında modellenen çatı katı. 79
Şekil 3. 15. BIQ Binası'nın DesignBuilder programında modellenen arakatları. 79
Şekil 3. 16. BIQ Binası'nın DesignBuilder programında modellenen zemin katı. 80
Şekil 3. 17. BIQ Binası'nın DesignBuilder programında modellenen tüm katları ve temeli. 80
Şekil 3. 18. BIQ Binası'nın modeline güneş panellerinin eklenmesi. 81
Şekil 3. 19. BIQ Binası çevresindeki diğer binalar 81
Şekil 3. 20. BIQ Binası çevresindeki diğer binaların modele eklenmesi. 81
Şekil 3. 21. BIQ Binası'nın kış dönemi (21 Aralık) gün ışığı ve gölge analizi. 82
Şekil 3. 22. BIQ Binası'nın yaz dönemi (21 Haziran) gün ışığı ve gölge analizi. 82
Şekil 3. 23. Fonksiyon (activity) kısmının tanımlanması. 83
Şekil 3. 24. 2013 yılında güncellenen TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına 87
Şekil 3. 25. Hamburg'a ait simülasyon sonuçları. 90
Şekil 3. 26. Hamburg'a ait iç ortam ve yapı elemanları termal tasarım simülasyon 91
Şekil 3. 27. İzmir'e ait simülasyon sonuçları. 92
Şekil 3. 28. İzmir'e ait iç ortam ve yapı elemanları termal tasarım simülasyon sonuçları. 92
Şekil 3. 29. İstanbul'a ait simülasyon sonuçları. 93
Şekil 3. 30. İstanbul'a ait iç ortam ve yapı elemanları termal tasarım simülasyon sonuçları. 93
Şekil 3. 31. Ankara'ya ait simülasyon sonuçları. 94

Şekil 3. 32. Ankara'ya ait iç ortam ve yapı elemanları termal tasarım simülasyon.....94
Şekil 4. 1. Referans bina ve örnek illerin ısıtma, soğutma ve fotovoltaik güç değerleri. 104
Şekil 4. 2. Referans bina ve örnek illerin toplam enerji tüketimi. 105
Şekil 4. 3. Meteroloji verilerine göre yıllık yatay yöndeki güneş radyasyonu (kWh/m²) 106
Şekil 4. 4. Referans bina ve seçilen illerin meteroloji verilerine göre yıllık hava sıcaklığı 107

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. 1. Tezin yöntemi ve tez süreci aşamaları. 5
Çizelge 2. 1. Bina kabuğu performansı değerlendirme parametreleri (Moghtadernejad, ... 19
Çizelge 2. 2. Bina kabuğu tipleri ve özellikleri (Moghtadernejad, 2018; Moghtadernejad,..... 21
Çizelge 2. 3. Enerji tüketimine göre binaların sınıflandırılması (emo.org.tr; Özbalta,... 26
Çizelge 2. 4. Biyokütlenin çevrilme yöntemleri ve açığa çıkardıkları ürünler 32
Çizelge 2. 5. Biyokütle kaynaklarının klasik ve modern olarak sınıflandırılması 34
Çizelge 2. 6. Biyokütle kaynaklarının karasal, suda yaşayan ve atıklar olarak 34
Çizelge 2. 7. Biyokütle enerjisi kullanımının avantaj (Bay, 2006; Gezer, 2013), ... 35
Çizelge 2. 8. Alglerin yetişmesini etkileyen ölçütler (Pekmezci, 2019 kaynağından..... 42
Çizelge 2. 9. Kentsel tasarım örneği: Arteoli. 46
Çizelge 2. 10. Kentsel tasarım örneği: Kentsel Çeşme. 47
Çizelge 2. 11. Kentsel tasarım örneği: Park Kanopisi. 47
Çizelge 2. 12. Kentsel tasarım örneği: Yapay Ağaçlar. 48
Çizelge 2. 13. Kentsel tasarım örneği: Liquid 3..... 48
Çizelge 2. 14. Kentsel tasarım örneği: Algaevator. 49
Çizelge 2. 15. Kentsel tasarım örneği: Chlorella Oksijen Pavilyonu..... 50
Çizelge 2. 16. Kentsel tasarım örneği: Alg Kubbesi. 51
Çizelge 2. 17. Kentsel tasarım örneği: Algonamad..... 51
Çizelge 2. 18. Kentsel tasarım örneği: Urban Algae Canopy. 52
Çizelge 2. 19. Kentsel tasarım örneği: Urban Algae Folly. 52
Çizelge 2. 20. Biyokromik Pencere çalışması. 53
Çizelge 2. 21. Alg Perdesi özellikleri..... 54
Çizelge 2. 22. Biyodijital kentsel perde özellikleri. 55
Çizelge 2. 23. Tree ONE enstalasyonu özellikleri. 56

Çizelge 2. 24. Process Zero: Retrofit Resolution /GSA Binası.....56
Çizelge 2. 25. Yaşayan Laboratuar (Living Lab) çalışması.....57
Çizelge 2. 26. Frenchdreamtowers projesi.....58
Çizelge 2. 27. Yosun Pilleri (Moss Voltaics) özellikleri. 59
Çizelge 2. 28. Biyo-Fotovoltaik panel sistemi özellikleri.....60
Çizelge 2. 29. Alg Evi projesi. 61
Çizelge 3. 1.BIQ Binası özellikleri (google.com/maps; archello.com; Roedel & 63
Çizelge 3. 2. BIQ Binası'nın günlük ve yıllık enerji tüketim miktarları (Kükdamar & .74
Çizelge 3. 3. DesignBuilder programında binanın modellenme süreci basamakları. 75
Çizelge 3. 4. BIQ Binası'nın programa tanımlanan yapı elemanları (çatı, duvarlar,.....84
Çizelge 3. 5. BIQ Binası'nın programa tanımlanan BIQ Bina yapı elemanları (döşemeler).....85
Çizelge 3. 6. Fonksiyon ve bina özelliklerine uygun modele girilen değerler.....86
Çizelge 3. 7. BIQ Binası'nın bulunduğu Hamburg kentinin iklimsel verileri. 86
Çizelge 3. 8. İzmir kentinin iklimsel verileri. 88
Çizelge 3. 9. İstanbul kentinin iklimsel verileri. 89
Çizelge 3. 10. Ankara kentinin iklimsel verileri. 89
Çizelge 3. 11. Duvarlarda değişen ısı yalıtım kalınlıklarına göre U değerleri.....95
Çizelge 3. 12. Çatıda değişen ısı yalıtım kalınlıklarına göre U değerleri. 95
Çizelge 3. 13. Zeminde değişen ısı yalıtım kalınlıklarına göre U değerleri. 96
Çizelge 3. 14. İzmir'de yapı elemanlarında ısı yalıtım kalınlıklarının değişiminin ısıtma 97
Çizelge 3. 15. İstanbul'da yapı elemanlarında ısı yalıtım kalınlıklarının değişiminin ...98
Çizelge 3. 16. Ankara'da yapı elemanlarında ısı yalıtım kalınlıklarının değişiminin 99
Çizelge 3. 17. BIQ Binası'nda güneydoğu cephesinde saydam ve opak yüzeylerin 100
Çizelge 3. 18. BIQ Binası'nda güneybatı cephesinde saydam ve opak yüzeylerin 101
Çizelge 3. 19. BIQ Binası'nda kuzeybatı ve kuzeydoğu cephelerinde saydam ve opak 102

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yaşamın devamlılığı için oldukça önemli olan enerji, her alanda bir gereksinimdir. Enerjiye olan ihtiyaç; nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojinin gelişimi ile birlikte birçok alanda artmıştır (Alodalı, Mustafa & Usta, 2020). Bu ihtiyaç; rezervinin fazla olması, ucuz, kolay ve hızlı enerji üretimi sağlaması gibi nedenlerle çoğunlukla fosil yakıtlarla giderilmeye çalışılmaktadır (Çukurçayır & Sağır, 2008). Enerji ihtiyacının birincil enerji kaynağı olan fosil yakıtlarla karşılanması, fosil yakıtların önemini artırmaktadır. Fosil yakıt rezervlerinin belli ülkelerde fazla olması ise diğer ülkelerin ekonomik açıdan dışa bağımlı olmasına sebep olmuştur. Fosil yakıtların kullanımı çevreye zararlı atıklar açığa çıkararak iklim ile ekosistem dengesinin zaman içinde bozulmasına neden olmaktadır.

Enerjiye olan talep devam etmekle birlikte bunu karşılamak için kullanılan fosil kaynakların miktarı zamanla azalmaya başlamıştır. Enerji ihtiyacının artış göstermesi ve fosil yakıtların kullanımı sonucu iklim değişikliğine sebep olacak düzeyde olan kirlilik, doğada geri dönüşümü olmayan zararlara neden olmuştur. Bu durumlar; toplumları alternatif enerji kaynakları aramaya yöneltmiştir. Böylece güneş, rüzgar, dalga, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına eğilim artmıştır. Yenilenebilir enerji; doğa dostu, temiz ve yeşil enerji olması nedeniyle önemlidir (Koç & Şenel, 2013). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması, zaman içinde doğanın kendini yenilemesi için bir fırsat yaratırken, canlılığın devam etmesi için gerekli enerjinin sürekliliğinin sağlanması açısından da önemlidir.

Yenilenebilir enerji kaynakları; kullanımı ve dönüştürülmesinde çevreye zarar vermemektedir. Ayrıca; küresel ısınmaya neden olan sera gazları miktarını düşürüp, canlıların sağlığının bozulmasına neden olan hava kirliliğini engellemektedir. Ülkelerin ihtiyaç duyduğu ve bu kapsamda ithal etmek zorunda kaldığı enerji miktarını da azaltarak

ekonomik büyümeyi ve devamında ülkeler arası rekabet gücünü artırması gibi açılardan da avantajlı olduğu görülmektedir (Önder & Ocak, 2018).

Sürdürülebilir kalkınma politikaları ile birlikte yenilenebilir enerji kullanımının artırılmasına yönelik çalışmalar tüm dünyada devam etmektedir. Küresel anlamda, iklim değişikliğinin önlenebilmesi için sera gazı emisyonlarını azaltmayı öngören Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin (BMİDÇS) 1992 yılında kabul edilmesiyle başlayan süreç; Kyoto Protokolü, Paris Anlaşması, Viyana Sözleşmesi, Montreal Protokolü gibi anlaşmalarla desteklenmiştir. Amaç, sanayisi gelişmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarını belli düzeyde tutarak, küresel ısınmanın etkisini azaltmak ve iklim değişikliğinin önüne geçilmesini sağlamaktır. Bu kapsamdaki anlaşmaların belli yaptırımlarının olmaması ve tüm ülkelerin bu sözleşmelerde taraf olmaması gibi durumlar, anlaşmaların gerekliliklerinin tam sağlanamamasına neden olmaktadır. Sanayileşme hareketi 20. yy'da başlamış olan Türkiye'nin, iklim değişikliği hareketinde sera gazı ve karbon ayakizi açısından sorumluluğu bulunmaktadır. İklim değişikliğiyle mücadele konusunda etkin rol almayan Türkiye, BMİDÇS'ne 2004 yılında katılırken 2009 yılında da Kyoto Protokolü'nü imzalamıştır. Ayrıca 2016 yılında imzalanmış olan Paris Anlaşması'nın uygunluğuna dair olan kanun da 7 Ekim 2021 tarihinde Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Bununla birlikte Türkiye 2053 yılı için net sıfır emisyon hedefi açıklanmış ve bu konu hakkında çeşitli çalışmalara başlanmıştır (iklim.gov.tr).

Türkiye, enerji açısından dışa bağımlı bir ülkedir. Bu durum, enerji üretiminde fosil yakıtların kullanılması ile birlikte fosil kaynak rezervlerinin az olmasına (Ölçüm, 2006) ve yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirememesine bağlanabilir. Bu kapsamda, Türkiye enerji ihtiyacının üçte ikisinden fazlasını diğer ülkelerden ithal etmekte olup ithal edilen enerjinin çoğunu petrol, doğalgaz, kömür gibi birincil enerji kaynakları oluşturmaktadır. Enerji ihtiyacının büyük bir kısmının bu şekilde fosil yakıtlardan karşılanması Türkiye için bir sorun teşkil etmektedir. Kirliliğin engellenmesi, dışa bağımlılığın ve dışa bağımlılıktan oluşan cari açığın azaltılması gibi nedenlerden yenilenebilir enerji kullanımı Türkiye'nin gündemindedir (Kalkınma Bakanlığı, 2018).

Türkiye, coğrafi durum ve iklim şartları açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için elverişli bir konumdadır. Ancak gerek ekonomik etkenler gerek ise öneminin geç anlaşılmasından dolayı yenilenebilir kaynaklarını tamamen

değerlendirememektedir. Türkiye bu konuda hem dünyada uygulanan hem de kendi oluşturduğu sürdürülebilir enerji politikaları kapsamında yenilenebilir enerjilerin kullanımını artırmaya çalışmaktadır. Hatta Türkiye'nin bazı yenilenebilir enerjiler kapsamında dünya ile yarışır konuma geldiği söylenilebilir. 2023'e kadar dış kaynaklara bağlı olma durumunu azaltmak amacıyla belirlenen resmi enerji politikası gereği; ülkenin elektrik ihtiyacının % 40 (Kavaz, 2019)'nın yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi hedeflenmiştir (Yılmaz & Öziç, 2018). Paris Anlaşması'nın uygulanmasına dair yayınlanan kanun ile birlikte G20 Roma zirvesinde Türkiye' nin 2053 karbon nötr politikasını diğer ülkelerle paylaşması ile birlikte (bbc.com) 2030 ve 2053 hedefleri gündeme gelmiştir. Bu kapsamda fosil yakıtların kullanımının git gide azaltılarak yenilenebilir enerjiye geçiş sağlanması gerektiği vurgulanmış olup "Yeşil Kalkınma" sürecine girildiği belirtilmektedir (csb.gov.tr). Fosil yakıtlardan kömür kullanımının azaltılmasıyla başlayacak süreç, sera gazı emisyonunda 16. sırada olan Türkiye'nin karbon salımını düşürmesini ve "Ulusal Katkı Beyanı" sözleşmesinin de gereğini yerine getirmesini sağlayacaktır (wwf.org.tr). Ayrıca bu kapsamda; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ismi, öngörülen hedefler için "Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı" olarak değiştirilmiştir (csb.gov.tr).

Türkiye'de ayrıca Resmi Gazete'de yayınlanmış 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu (EVK) bulunmakta ve Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliğince binaların Enerji Kimlik Belgesi'ne (EKB) sahip olması gerekmektedir. Bu mevzuatlar gereği Binalarda Enerji Performansı Uygulaması (BEP-TR), Binalarda Enerji Performansı Bakanlık Uç Yazılımı (BEP-BUY) ve Binalarda Enerji Performansı Sunucu Uygulamalarıyla (BEP-İS) gerekli hesaplamalar yapılmaktadır (beptr.csb.gov.tr). Aynı şekilde enerji verimliliğini ön plana çıkararak yenilenebilir enerjinin kullanımının teşvik edilmesinin sağlandığı, yapılacağı yer ile uyumlu binaların sahip olabildiği yerli Ulusal Yeşil Sertifika Sistemi (YeS-TR) bulunmaktadır (csb.gov.tr).

Enerji verimliliği binalarda; yeni binalar için net sıfır enerjili, yaklaşık sıfır enerjili binalar, pasif evler gibi tanımlamaları beraberinde getirirken mevcut binalar için de retrofit, renovasyon kavramlarını ortaya çıkarmıştır. Yenilenebilir enerjiler, dünyada tüketilen enerjinin büyük bir kısmını kapsaması açısından zamanla binalarla da bütünleştirilmiştir. Bu durum, binaların teknik hacimlerinde daha sonrasında da bina kabuğunda ve cephelerinde çözülmeye çalışılmıştır. Türkiye'de yenilenebilir enerjilerin

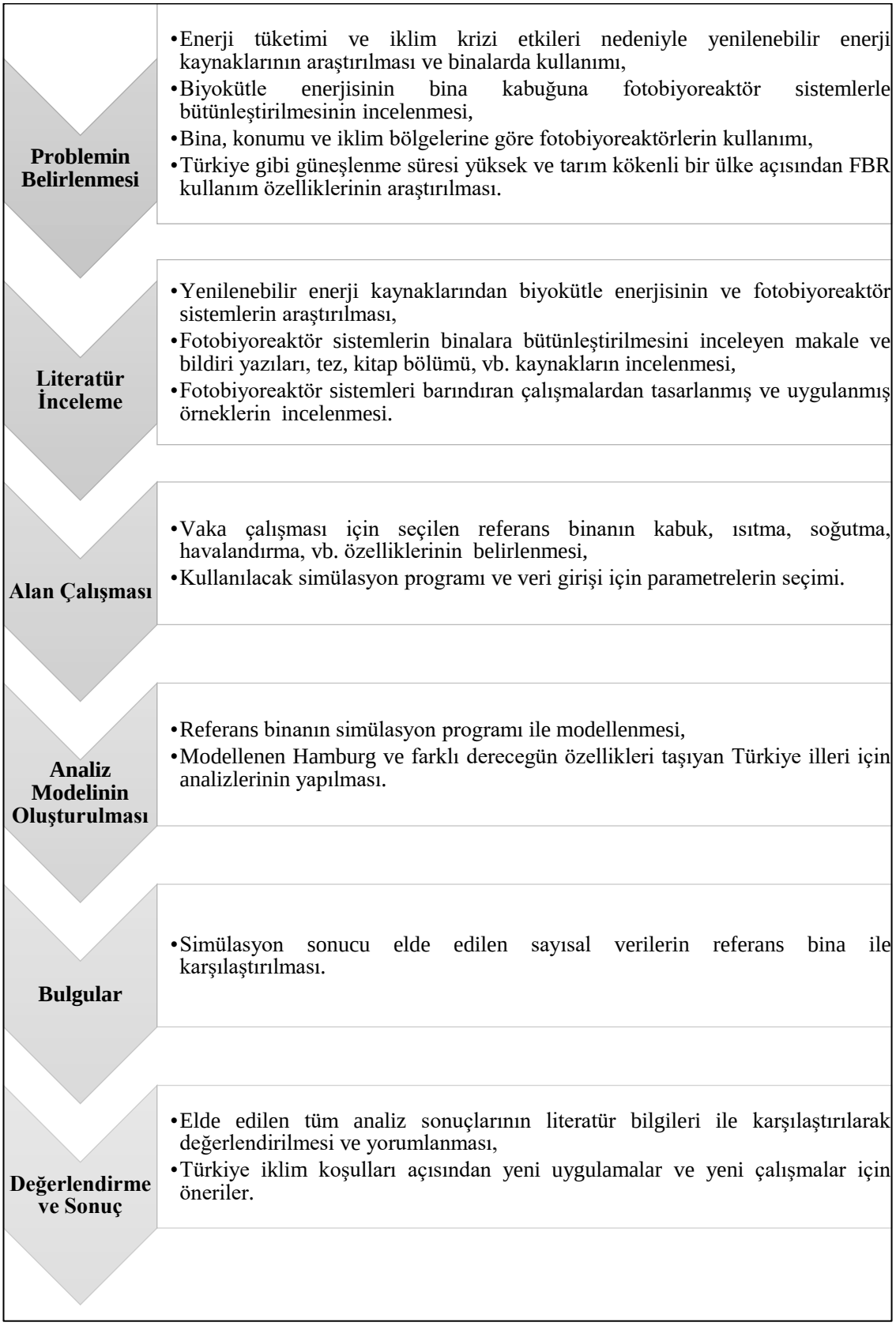
binalarda kullanımı “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği”nde yapılan değişiklikler ile 1 Ocak 2023 tarihinden itibaren zorunlu hale getirilmiştir (csb.gov.tr).

Yenilenebilir enerji kaynakları denildiğinde ilk akla gelen enerji kaynakları güneş, rüzgar gibi kaynaklar olsa da biyokütle enerjisi: geniş kullanım potansiyeli, her yerde üretilebilmesi, ekonomik oluşu ve özellikle kırsal alanlarda çeşitli sosyal ve çevresel faydaları sebebiyle geleceğin yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almaktadır (Ölçüm, 2006). Sadece doğada bulunan öğelerle oluşmaması, yeni teknikler kullanılarak yeni kaynaklar yaratabilmesi ve mevcut potansiyeli artırması açısından da diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından ayrılmaktadır (Gezer, 2013).

Biyokütle enerjisi bina kabuğuna bütünleştirilmesi için kullanılan yöntemlerden biri de alg temelli fotobiyoreaktörlerdir. Fotobiyoreaktörler (FBR), yaşamın varoluşundan beri olan; alg ve yosun gibi canlıların karbondioksit kullanarak ve ortama oksijen vererek güneş enerjisini biyoenerjiye çevirmesi mantığıyla işleyen sistemlerdir. Fotosentez temellidirler. Alglerin üretimi, açık ve kapalı sistemlerde gerçekleşebilmektedir. Kapalı sistemler, kontaminasyon riskinin az olduğu, fotobiyoreaktör olarak da adlandırılmakta düz panel, tübüler, dikey kolon gibi farklı formlardan oluşabilmektedir (Kükdamar, 2017). Modüllerden oluşan duvar öğeleri gibi farklı fotobiyoreaktör sistemler de binalara bütünleştirilmeye çalışılmaktadır.

Tez kapsamında; fotobiyoreaktör sistemlerin bina kabuğuna uygulandığı ilk biyoreaktif cepheye sahip Hamburg’da yer alan pilot bina niteliği taşıyan Bio Intelligent Quotient Binası (BIQ) (pocacito.eu) incelenmiştir. Referans binanın kabuk özellikleri araştırılarak; kat planları, kesit ve detay çizimlerine mümkün olduğunca ulaşılmaya çalışılarak modellemesi yapılmıştır. Türkiye iklim özelliklerini ve farklı derecegün bölgelerini temsil edecek iller seçilmiştir. Bu iller 1. Derecegün Bölgesi için İzmir, 2. Derecegün Bölgesi için İstanbul, 3. Derecegün Bölgesi için Ankara’dır. Hamburg ve Türkiye illeri, EnergyPlus arayüzüne sahip DesignBuilder programında simüle edilerek sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarla birlikte binanın enerji ihtiyacı ve FBR sisteminin katkısı incelenmiştir. Tez çalışmasında aşağıdaki aşamalar takip edilmiştir (Çizelge 1.1).

Çizelge 1. 1. Tezin yöntemi ve tez süreci aşamaları.



1.1. Araştırma Problemi

Enerji binanın inşa edilmesinden yıkımına kadarki tüm süreçlerinde bina için önemli bir yere sahiptir. Enerjinin binada en çok kullanım / işletme aşamasında tüketildiği bilinmektedir (Tıkansak, 2013).

Günümüzde fosil yakıtların kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerjilere yönelimin artması hedeflenmektedir. Binaların karbon nötr ve yaklaşık sıfır enerji tüketimine sahip olması istenmektedir. Bu durum, yeni binalar kadar eski binalar açısından da geçerlidir. Bu kapsamda yenilenebilir enerjilerin binalar için kullanımı önem taşımaktadır.

Binaların enerji ihtiyacının sağlanmasında güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmakta iken biyokütle de bu kaynaklardan birini oluşturmaktadır. Biyokütle; ısınma, yemek pişirme gibi nedenlerle eskiden beri tercih edilen, mevcut kaynaklar ve kendi ürettiği kaynakları kullanabilen bitkisel ve hayvansal kaynaklı sistemlerle katkıda bulunmaktadır. Biyokütle enerjisinin günümüzde bu sistemler dışında bina kabuğuna bütünleştirilerek, enerji üretimine katkı sağlayabileceği çalışma ve araştırmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bir kısmı fotobiyoreaktör adı verilen sistemlere dayanmaktadır. Enerji üretiminde fotosenteze dayalı bu sistemler; karbondioksit emisyonunu azaltması ve bunu görsel etki ile gerçekleştirmesi nedenleriyle iklim değişikliğinin fazlasıyla hissedildiği günümüzde çevre açısından önemli bulunmaktadır. Sistem güneş enerjisini kullandığı için binanın bulunduğu yerin güneşlenme süresi, nemi, iklim özellikleri gibi parametrelerden oldukça etkilenmekte olup bu özellikleri maliyet açısından da belirleyici olmaktadır.

Bu çalışmada, fotobiyoreaktör sisteminin kullanımının araştırılması hedeflenmektedir. Konu ayrıca, güneşlenme süresi ve tarımsal kökenli bir ülke olarak yüksek potansiyele sahip Türkiye açısından biyoenerjiye dayalı sistemin burada nasıl kullanılabileceği açısından önemlidir. Bu amaçla öncelikle farklı iklim bölgelerinde uygulanabilecek örnek bina kabuğu üzerinden enerji analizi yapılmaktadır.

1.2. Tezin Amacı ve Önemi

Binalarda biyokütle eskiden beri ısı üretimi için kullanılmakla birlikte günümüzde elektrik üretimi için de tercih edilmektedir. Biyokütlenin binalarda, bina içerisinde ve

bina kabuğunda kullanımı mevcuttur. Bina kabuğunda kullanımı için fotobiyoreaktörlere dayalı sistemler geliştirilmektedir. Bu konuyla ilgili deneye dayalı çalışmaların yanında uygulanmış bir bina örneği de bulunmaktadır. Kullanılan materyaller bina içinde görsel bir unsur oluşturmakta aynı zamanda hava kirliliğini de azaltmaktadır. Bu nedenlerle üzerinde daha çok çalışma yapılması ve araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

Öncelikle biyokütle enerjisinin binalarda kullanımının mevcut durumu araştırılmıştır. Bina kabuğunda biyokütle enerjisinin kullanımına yönelik fotobiyoreaktörlere dayalı geliştirilen çalışmalar ve sistemler incelenerek Türkiye iklim şartları için kullanımının irdelenmesi hedeflenmiştir.

1.3. Tezin Kapsamı ve Yöntemi

Artan enerji ihtiyacı, azalan enerji kaynakları ve nüfus artışına paralel olarak ortaya çıkan bina ihtiyacına sürdürülebilir bir kaynak olarak fotobiyoreaktörlerin kullanımı mevcut ve yeni yapılacak binalar açısından incelenmektedir.

Türkiye genel olarak ılıman iklim kuşağı üzerinde bulunmaktadır ve ılıman iklim bölgesi içerisinde farklı iklim özelliklerini taşımaktadır. Bu farklılaşma bina özelliklerini de etkilemektedir. Türkiye iklim bölgeleri dikkate alınarak sistemin özellikleri incelenecektir. Bu amaçla, EnergyPlus tabanlı DesignBuilder simülasyon programından faydalanılarak örnek bina ve farklı iklim özellikleri için oluşturulacak konfigürasyonlar üzerinden ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı hesaplamaları yapılmaktadır.

Tez dört bölümden oluşmakta olup tez kapsamında; ilk bölümde araştırma probleminin tespit edilme süreci, çalışmanın amacı, yöntemi ve içeriği ile birlikte literatür incelemesine yer verilmektedir. İkinci bölüm; bina kabuğu, gelişim süreci ve bina kabuğunun enerji tüketimindeki öneminden oluşmaktadır. Biyokütle enerjisinin tanımı, dünyada ve Türkiye'deki kullanımı, biyokütle enerjisinin binalara ve özellikle bina kabuğuna bütünleşme süreci örnekler üzerinden incelenmektedir. Üçüncü bölümde; çalışma kapsamında referans bina olarak seçilen vaka çalışması BIQ Binası'nın özellikleri ve binanın simülasyon programında modellenme aşamaları açıklanmaktadır. Sonrasında programa veri girişinin nasıl yapıldığı, bu modelin simülasyon programında güncel verisi olan Türkiye illeri üzerinden sonuçları ve elde edilen bulgulara yer

verilmektedir. Dördüncü bölümde ise; tez çalışmasında elde edilen sonuç ve daha sonrasında yapılabilecek çalışmalara dair öneriler yer almaktadır.

1.4. Literatür İncelemesi

Algler, fotosentez ile karbondioksit-oksijen dengesinde önemli rol oynamakta olup enerji üretimini de sağlamaktadır. Bu nedenle alglerin fotobiyoreaktör sistemlerle enerji tüketiminde rolü fazla olan binalara bütünleştirilmesi ile kentsel alanlarda kullanılma durumları ile ilgili literatürde birçok araştırma bulunmaktadır.

Chew, Khoo, Foo ve Chia (2021) çalışmalarında; kentlerin iyileştirilebilmesi ve nötr enerji kullanımına erişebilmesi için gerekli olan gücün alglerin kullanımında olduğunu savunmaktadır. Algleri kullanırken yaşanacak zorlukların tespit edilerek kentlerin ve insanların yaşam kalitesini artırabilmek için tüm ülkelerce alg türleri ve teknolojisinin araştırılarak kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

Kim (2013), çalışmasında alg türlerinin, iklim özelliklerinin ve cephe yönelimlerinin değişiminin fotobiyoreaktör sistemlerin karbondioksit, oksijen ve yenilebilir enerji üretimlerini nasıl etkilediğini deney ve simülasyonlar yardımıyla incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma sonucunda sistemin farklı parametrelere uyarlanabilir ve özelleştirilebilir olduğuna erişilmiştir.

Haghir, Tashakori, Rezazadeh ve Ahmadi (2020) çalışmalarında; kentlerde sokaklar boyunca uzanan duvarların mikroalg biyoreaktör sistemler ile donatılmasının hem görsel açıdan hem de kentlerdeki hava kirliliğinin azaltılması açısından çözüm olabileceğini savunmaktadır. Bu çalışma kapsamında İran'daki Enghelab Caddesi'ndeki duvarlara bu sistemin uygulanması önerilmekte ve ölçüm yapılabilmesi için o cadde üzerinde bir duvara mikroalg biyoreaktör prototipi yerleştirilmektedir. Çalışma sonucunda yerleştirilen biyoreaktörün 6 günde ortalama günlük % 22,55 karbondioksit emilimi yaptığı gözlemlenmiş, bu da kentlerdeki hava kirliliğini azaltabilmek için iyi bir oran olarak gösterilmiştir.

Scherera, Stiefelmaierb, Striethb, Wahla ve Ulberb (2020) çalışmalarında; polikarbonat çok katmanlı bir sistemde biyofilm olarak aerosol bazlı karasal siyanobakteri barındıran yeni bir fotobiyoreaktör üretmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada

önerilen sistemin yeni uygulamalar için iyi sonuçlar sunduğu, gelecekteki cephe uygulamaları için bu sistemin avantajlı olabileceği belirtilmiştir.

Pagliolico, Verso, Bosco ve Mollea (2016) çalışmalarında; plastik torbaların içerisine koydukları alg kültürleri ile farklı şekil, boyut ve yüzeye sahip fotobiyoreaktörler bir odaya konularak optik performanslarını incelenmektedir. Sistem İtalya'daki iki farklı şehir ve üç farklı yön için geleneksel bir jaluzi ile karşılaştırılmıştır.

Pruvost, Le Gouic, Lepine, Legrand ve Le Borgne (2016) çalışmalarında; Chlorella vulgaris alg türü için Fransa'nın Nantes kentinde oluşturdukları sistemi yatay ve güneş ışınımı için ideal eğimli bir şekilde konumlandırarak bunu geleneksel sistemlerin sonuçları ile karşılaştırmaktadır. Yapılan çalışmada dikey açının Fransa için ideal durum olduğu fakat belli bir süre sonra üretimin azaldığı, bunun nedeninin sistemdeki ısınma kaynaklı olduğu belirtilmiştir.

Martokusumo, Koerniawan, Poerbo, Ardıani ve Krisanti, (2017) çalışmalarında; enerji tüketiminde büyük bir paya sahip binalarda alglerin kullanımı ile sera gazı emisyonunu düşürmeyi, enerji tüketimi ve güneşten kaynaklı parlamayı azaltmayı hedeflemektedir. Bu kapsamda ITB İnovasyon Parkı'nın (IIP) yeni projesinde cephe kısmında düzenlemeler yapılarak modelleme ve kapsamlı literatür taraması yardımıyla, binanın enerji tüketimi ve sistemin çevresel etkileri incelenmektedir. Üç tip bina cephesinde yaptıkları karşılaştırmada fotobiyoraktör sistemin soğutma yükünü azaltmadığı, binanın iç hava kalitesinin oksijen üretimi ile olumlu etkilendiği gözlemlenmiştir.

Araji ve Shahid (2018) çalışmalarında; alg türü, panel tipi ve ölçüleri, yapı kat yüksekliği gibi birçok parametreyi incelemektedir. Çalışmalarında alg tiplerinin hangi kat yüksekliğinde hangi sıcaklıkta daha verimli olduklarını optimize etmişlerdir.

Kükdamar ve Özbalta (2019) çalışmalarında; cephe sistemlerinde yalıtım ve gölgeleme açısından pasif bir koruyuculuk sağlayan yeşil cephe sistemleri ile son dönemde gündeme gelmekte olan ve üzerine çalışılan güneş enerjisini aktif olarak kullanan, gaz akışının ve alg hareketlerinin dışarıdan izlenebildiği Fotobiyoraktör/Photobioreactor (FBR/PBR) sistemlerin karşılaştırmasını yapmaktadır. Her iki sistem kendi içinde uygulanmasında ve uygulandıktan sonraki süreçte farklı faydalar barındırsa da karşılaştırma sonucunda iki sistem de pasif ve aktif güneş enerjisini

kullanarak binaların enerji etkin tasarımına olanak sağlayan çevreci bir bakış açısı Intelligent Quotient (BIQ) yapısı dışında uygulanmış bir örneği olmayan bina kabuğuna bütünleştirilmiş mikroalg kültürlerde sisteme zarar veren sebepleri literatür taraması ve uzman görüşleri alarak saptamayı hedeflemektedir. Çalışma sonucunda, sistemin uygulanması ve uygulandıktan sonraki sürecin daha iyi yönetilebilmesi adına hasarları iç ve dış nedenler olarak ikiye ayırmaktadır. İç nedenler biyo / kimyasal ve yapısal faktörleri içerirken, dış nedenler ise iklimsel ve operasyonel / yapısal faktörler olarak belirtilmiştir.

Elrayies (2018) çalışmasında, fotobiyoreaktörlerle (FBR) ilgili daha fazla bilgi edinilebilmesi adına bazı başlıklar belirlemiş olup bunların aydınlatılması üzerine çalışmasını ilerletmiştir. Bu başlıklar, binalarda kullanılacak FBR sistemlerinin türleri, teknik alt yapıları, enerjiye katkı durumları, uygulanmasındaki zorluklar ve sistemden beklenenler olarak sıralanabilmektedir. Yazar bu başlıkları literatür taraması ile seçmiş olduğu binaya ve kentsel alana bütünleşmiş üçer örnek üzerinden karşılaştırmaktadır. Bu uygulamaların sürdürülebilirliğe yenilikçi bir yaklaşım getirdiği belirtilmiştir.

Vo, Ngo, Guo, Nguyen, Liu, Liu, Nguyen ve Chang (2019) çalışmalarında; kirleticilerin azaltılması için fotobiyoreaktörler sistemlerin tasarım ve uygulamalarını eleştirel bir gözle tartışmayı amaçlamışlardır.

Negev, Yezioro, Polikovsky, Kribus, Cory, Shashua-Bar, Golberg, (2019); çalışmalarında Chlamydomonas reinhardtii ve Chlorella vulgaris adında iki mikroalg türü üzerinden alg pencerelerinin U (Thermal Transmittance / Isıl-Geçirgenlik), VT (Visible Transmittance / Görünür Geçirgenlik), SHGC (Solar Heat Gain Cofficient / Güneş Isısı Kazanım Katsayısı) değerlerini hesaplayarak alg pencerelerinin binadaki enerji tüketimindeki etkisini ölçebilmek için İsrail'deki Tel-Aviv Üniversitesi'nin LEED (Leadership in Energy and Environmental Design / Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik) onaylı Porter Binası'ndaki bir ofis alanını seçerek bunu simüle etmişlerdir. Bu çalışma ile alg pencerelerinin Akdeniz iklimindeki binalarda enerji tüketiminin azaltılmasındaki olumlu etkisini gözlemlemişlerdir. Ayrıca çalışma kapsamında alg pencerelerinin tek ve çift camlı olma durumu da kıyaslanmıştır. Bu kıyas, iki mikroalg türü için bina kabuğu yönü ve pencere ebatlarındaki değişime göre yapılmıştır.

Talaei, Mahdavinejad ve Azari, (2020) çalışmalarında; termal ve enerji performansı açısından fotobiyoreaktör cepheleri araştırmışlardır. Ayrıca biyocephelerin

çalışma verimliliklerini araştırarak fotobiyoreaktör cephelerin yeşil ve çift cidarlı cephelerle olan durumunu da incelemişlerdir. Çalışma sonucunda sistem verimli bulunmaktadır. Ancak binalarda aktif uygulanmadığı için sistemin gelişimi açısından yavaş ilerleme kaydedildiği ve bu konuda daha çok araştırma yapılması gerektiği vurgulanmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğunun sistemin biyokütle ve biyoyakıt üretimine odaklandığı, ısı üretimine dair çok az araştırma bulunduğu, sistemin ikinci bir katman olarak doğal havalandırmaya etkisi ve hava akışına etkisi gibi konularda da tam analiz sağlanamadığı belirtilmiştir. Uygulamada ve uygulandığındaki yapısal sorunlar ile konfor koşullarını ne kadar sağladığına dair durumların da göz önüne alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Biloria ve Thakkar (2020) çalışmalarında; alg üretim sistemlerinin binaya bütünleştirilmesini, güneş paneli sistemleri ile Avustralya'da Sydney Teknoloji Üniversitesi kampüsündeki çok katlı bir bina örneğinde, maliyet ve fayda açısından karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda kısa vadede bakıldığında tamamen parasal açıdan 16 yılda kendi maliyetini karşılayan güneş panelinin 24 yılda karşılayan FBR / PBR sistemine göre avantajlı olduğu görülmektedir. Uzun vadede bakıldığında ise; FBR / PBR'nin yıllık getiri açısından güneş paneli sistemine göre daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Finansal durum dışında kapalı borulu FBR / PBR karbon tutma, atık su arıtma ve oksijen üretimi gibi çevreye sunduğu yararlar ile güneş paneli sisteminden daha öne çıkmakta ve yosun teknolojisinin yapılı çevreye bütünleştirilmesinin sürdürülebilir çevreyi geliştirmek açısından umut vadedici olduğu belirtilmiştir. Yosunların sadece biyoyakıt üretimi için değil; gıda, kozmetik ve sağlık sektörü için de hammadde üretme potansiyelinde olduğu da göz önüne alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Wilkinson, Stoller, Ralph, Hamdorf, Catana, Laila, Kuzava ve Gabriela (2017) çalışmalarında; NSW (New South Wales / Yeni Güney Galler)'de alg sistemlerin kullanım uygunluğunu sorgulamaktadır. Sistemin uygulanmış olan tek örneğinin olmasının çalışma açısından negatif bir durum olduğu belirtilirken bu iklim bölgesi için ayrı bir prototip oluşturulmasının gerekliliğine varılmıştır.

Wilkinson, Stoller, Ralph ve Hamdorf (2016) çalışmalarında; alg cephelerin Avusturalya'da uygulanmasındaki beklenti ve zorlukları belirlemek, bu konumda uygulanacak FBR / PBR özelliklerini tespit edebilmek için bir grup insana konular

bazında sınıflandırdığı soruları yöneltmiştir. Sonucunda maliyetli ve yeni bir süreç barındıran sistemin Avusturya için yeni bir adım atılması açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Bundan sonraki süreçte birçok disiplinin bir arada olduğu bir prototip çalışma ile ilerlenmesinin gerekliliği belirtilmiştir.

Masojidek, Papacek, Sergejevova, Jirka, Cerveny, Kunc, Joseph, Korecko, Verbovikova, Kopecky, Stys ve Torzillo (2003) çalışmalarında; algleri kullanan iklim serası diye adlandırdıkları sistemi Çek Cumhuriyeti'nde Nove Hrady'deki laboratuvarın çatı kısmına yerleştirerek kontrollü yetiştirme ortamında ılıman iklim bölgesindeki değişimi analiz etmek istemişlerdir. Çalışma neticesinde; sisteme gerekli zamanlarda gerekli müdahaleler yapıldığında, sistemin işlevsel olduğu saptanmış farklı alg kültürleri için farklı biyokütle üretimlerinin olduğu gözlemlenmiştir.

Kim ve Han, (2014); çalışmalarında alg cephelerin kullanıldığı ofis binalarıyla kullanılmadığı ofis binalarını karşılaştırmaktadır. Çalışma ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers / Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği) standartlarını kullanan "Project Vasari" programı ile gerçekleştirilmiştir. Alg cephelerle ilgili değerler ve karşılaştırma tabloları elde edilen çalışmada alg cephenin yalıtım açısından olumlu olduğu, ısıtma ve soğutma açısından kısmi bir azalma sağladığı gözlenmiştir.

Hanafi (2021), çalışmasında yoğun nüfuslu kentlerde yaşam kalitesini arttırmak için doğadan ilham alan yöntemler kullanmıştır. Bu doğrultuda nüfus yoğunluğu fazla bir kent olan Mısır'ın Giza kentinde yer alan çok katlı ticari bir bina olan Cario Mall seçilerek cephesi tekrar düzenlenmiştir. Cephenin FBR panellerle kaplanması halinde binaya ve çevreye nasıl bir etki oluşturacağı analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, iki durum tablolar halinde karşılaştırılmıştır. Sayısal analizi BIQ binası üzerinden yapılarak bu sistemin, binanın enerjisinde % 50 gibi bir azaltma oranı sağladığı, özellikle yoğun nüfuslu kentler için verimli olacağı belirtilmiştir. FBR kabuğun, BIQ Binası'ndan alınan sonuçlara göre yılda 6 ton CO_2 emisyonunu azalttığı görülmekte olup iklim değişikliğine sebep olan sera gazlarının oranının düşürülebilmesi açısından ve çevre kirliliğini % 50 azaltması açısından önemi belirtilmiştir.

Hasnan ve Zaharin (2020) çalışmalarında; Malezya'da inşaat için tüketilen enerjinin çok fazla olması sebebiyle tropik iklim bölgelerinde fotobiyoreaktör cephelerin

enerji verimliliği açısından durumunu incelemek için örnek projeler ile bu iklim koşulları üzerinden 10 tasarım parametresi belirlemiş ve bu doğrultuda 4 bina modülünü bu parametreleri göz önünde bulundurarak analiz etmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen D modülünün 10 parametre açısından da uygun olup enerji verimliliği gerekliliklerini sağlayarak tropikal iklim koşulları açısından yol gösterici olabileceği sonucuna varılmıştır.

Kerner, Gebken, Sundarrao, Hindersin ve Sauss (2019) çalışmalarında; BIQ binası için fotobiyoreaktör sistemlerin biyokütle enerjisi üretirken bir yandan da güneş ışınımı sonucu ısı enerjisi üretmesiyle kültür ortamının bozulmasını engelleyen bir sistem geliştirmişler ve uygulamışlardır. Bu durum, fotobiyoreaktörlerin binalara bütünleştirilmesinin uygunluğu açısından önemli görülmektedir.

Umdu, Kahraman, Yıldırım ve Bilir, (2018) çalışmalarında; deneysel bir yöntem kullanarak fotobiyoreaktör sistemlerde duvar, hava tabakası ve duvar kalınlıklarındaki değişimin U değerine etkisini ölçmeyi hedeflemişlerdir. Sonucunda bu parametreler, arasında önemli bir değişim olduğunu saptamışlardır. Hava tabakası ve duvar kalınlıkları U değeri ile ters orantılı iken hava tabakası kalınlığının modeldeki U değeri üzerinde hem doğrusal hem de ikinci dereceden etkiye sahip olduğu araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Çalışmada duvar ve hava tabakası kalınlıkları arasında iki yönlü bir etkileşim bulunduğu vurgulanmıştır.

Chang, Castro-Laucouture, Dutt ve Pei-Ju (2017), çalışmalarında alg panelini BIM (Building Information Modeling) sistemine adapte ederek alg cephelerin tasarımda ilk aşamadan itibaren çalışmalara katılmasının etkisini araştırmıştır. BIM sistemine dahil edilen alg cephesinin bilgileri şu anki sistemde SDM (System Dynamic Model)'ye manuel girilirken ilerleyen süreçte API (Application Programming Interface) komutları ile yarı otomatik girilebilmesi hedeflenmiştir.

Kim (2013), çalışmasında alg cephelerinin yapısal ve termal performanslarının gelişimini sağlamayı hedeflemekte olup bunu prototiplemiş olduğu bir alg cephe paneli ve FEA (Finite Element Analysis / Sonlu Elemanlar Analizi) yazılımı üzerinden sağlamaktadır. Sonucunda geleneksel cephe sistemleri ile kıyaslığında alg cephe sistemleri olumlu bulunmuştur.

Öncel, Köse ve Öncel (2016) çalışmalarında; alglerin genel tanımlarından başlayarak fotobiyoreaktör sistemler ve fotobiyoreaktör sistemleri etkileyen parametreleri incelemiştir. Bu sistemlerin binalara bütünleştirilmesinin kentsel ve yapı ölçeğindeki birçok örnek yardımıyla desteklenmiştir.

Umdu ve Univ (2020), çalışmalarında fotobiyoreaktör sistemlerin çeşitleri, avantaj ve dezavantajları karşılaştırılmıştır. Ayrıca sistemin uygulanmasındaki zorluk ve sınırlılıklar sorgulanmıştır.

Köktürk, Ünal ve Tokuç (2018), çalışmalarında binalara bütünleştirilen alg sistemlerin hangi parametrelerden etkilendiklerini incelemişler ve bu parametrelerin sistemde kontrolünü sağlayan bir kontrol mekanizması üretmişlerdir. Sistemin pH, sıcaklık ve sıvı seviyesi olmak üzere üç ana kontrol parametresinden oluştuğu maliyetli bir süreç içerdiği belirtilmiştir.

Öncel, Köse ve Öncel (2020), çalışmalarında FBR'de karbondioksitin sistemde tutulmasının öneminden, bunun için yapılması gerekenler, literatürde yer alan çalışmalarla desteklenerek aktarmıştır.

Pekmezci (2019), çalışmasında mikroalglerin kullanıldığı fotobiyoreaktörlerin binalara bütünleştirilmesi sırasında yaşanılan ve yaşanılabilecek sorunları incelemiştir.

Özbey (2019), çalışmasında; literatürde iç hava kalitesinin deneysel yöntemle ölçülmesini içeren bir çalışma olmadığını belirterek alglerin iç hava kalitesini, Yaşar Üniversitesi içerisinde yer alan bir ofiste, iki farklı alg türünden oluşan deney düzenekleri ile 5 ay boyunca takip etmiştir. Ortamın doluluk durumu, kullanım saatleri gibi parametreleri de göz önünde bulundurduğu çalışmasında aylık alınan veriler sonucunda ortamda karbondioksit miktarının kabul edilebilir düzeyde olduğu fakat doğal havalandırma eksikliğinden dolayı kullanıcılarda yorgunluk ve baş ağrısı gözlemlendiği belirtilmiştir.

Kükdamar (2016) çalışmasında, alglerin önemini vurgulamış ve fotobiyoreaktörlerin binalara bütünleştirilemesini örnekler üzerinden inceleyerek adaptif bir cephe önerisi sunmuştur.

Uğuz (2022) çalışmasında, Uludağ Üniversitesi'nde kurmuş olduğu 1/2 ölçekli iki bina düzeneğinden bir tanesine FBR sistemi eklemiştir. Diğerini ise kontrol ölçümleri için

kullanmıştır. Oluşturduğu sistemlerde, gölgeleme etkisini diğer açılardan binalara bütünleştirilmesini sorgulamıştır.

Yaman (2022) çalışmasında, Akdeniz ikliminde yer alan bir ofis binasının güney cephesine önermiş olduğu 4 farklı FBR yerleştirerek sistemlerin enerji, termal, ışık miktarı gibi parametreler açısından ölçümlerini gerçekleştirmiştir. Çalışmasının sonucunda FBR sistemlerin geleneksel pencerelere bir alternatif olabileceğini belirtmiştir.

Sedighi, Qhazvini ve Amidpour (2023) çalışmalarında, FBR sistemine genel bir bakış oluşturarak literatürde yer alan kaynakların yıllara göre dağılımına, hangi ülkelerdeki araştırmacılar tarafından yapıldığına, sistemin avantaj ve dezavantajlarına yer vermiştir.

Duarte ve Oliveira (2023) çalışmalarında, nemli subtropikal iklime sahip Brezilya için ticari bir binaya yerleştirdikleri FBR sistemi ile sıcak su eldesini bir simülasyon çalışması üzerinden irdelemişlerdir. Seçilen örnek bina üzerinde bir enerji dengesini tanımlamak ve hesaplamak için EES yazılımını kullanılmışlardır. EnergyPlus, fotobiyoreaktörün cam tabakası üzerindeki güneş ışığının ölçümü yanı sıra bu yüzeyin geçirgenlikleri ve konvektif katsayısı ile ilgili verileri elde etmek için kullanılmıştır. Hesaplama Euler ve Crank-Nicolson yöntemlerine dayandırmaktadırlar.

Algifari, Daniel ve Nofdianto (2023), çalışmalarında fotobiyoreaktör (FBR) bazlı alg cephesinin oda mikro iklimi ve oluşan küf (Aspergillus niger) 'in büyümesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Deney için uzunluğu, genişliği ve yüksekliği 40 cm olan "U" harfine benzeyen, cam simülasyon odası kullanılmıştır. Yirmi küf (Aspergillus niger) örneği 11 gün boyunca dört simülasyon odasında test edilmiştir. Bu dört odanın ikisine FBR kurulurken diğer ikisine kontrol amaçlı kullanım için FBR kurulmamıştır. FBR'li oda, kontrol odasına kıyasla 4,3 °C ve %5,5 bağıl nem farkıyla tepe fazında nispeten daha düşük bir sıcaklık ve neme sahiptir. Ayrıca, FBR odasındaki on küften üçünün yaklaşık 0,94 cm^2/gün büyüme hızında ve spor üretiminde olduğu belirtilmiştir. Sonuçta, alg cephesinin odanın mikro iklimini iyileştirebildiği ve binalarda Aspergillus niger küfünün büyüme oranını baskılayabildiği vurgulanmıştır.

Altunacar, Ezan, Yaman, Tokuç, Budakoğlu, Köktürk ve Deniz (2023) çalışmalarında, iç mekanın bir cephesinde büyüyen alglerin etkileri ile enerji tüketimi ve

CO_2 emisyonu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. İç mekana bütünleşik su duvarının matematiksel bir modeli geliştirip seçtikleri referans çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. İzmir iklimi için hem şartlandırmasız hem de şartlandırılmış kapalı ortam dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Enerji ihtiyacının karşılanmasında biyoenerjinin kullanımı ile ilgili literatürde pek çok çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışmalar: farklı coğrafyalarda kentsel (makro) ölçekten bina ölçeğine (mikro) kullanımının araştırılması yönündedir. Özellikle fotobiyoreaktörler olarak bina kabuğuna bütünleşebilen araştırmaların yapıldığı görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, Türkiye iklim özellikleri açısından fotobiyoreaktör sistemlerin Hamburg'da uygulanmış olan BIQ Binası üzerinden vaka çalışması olarak incelenmesi yapılmaktadır.

BÖLÜM 2

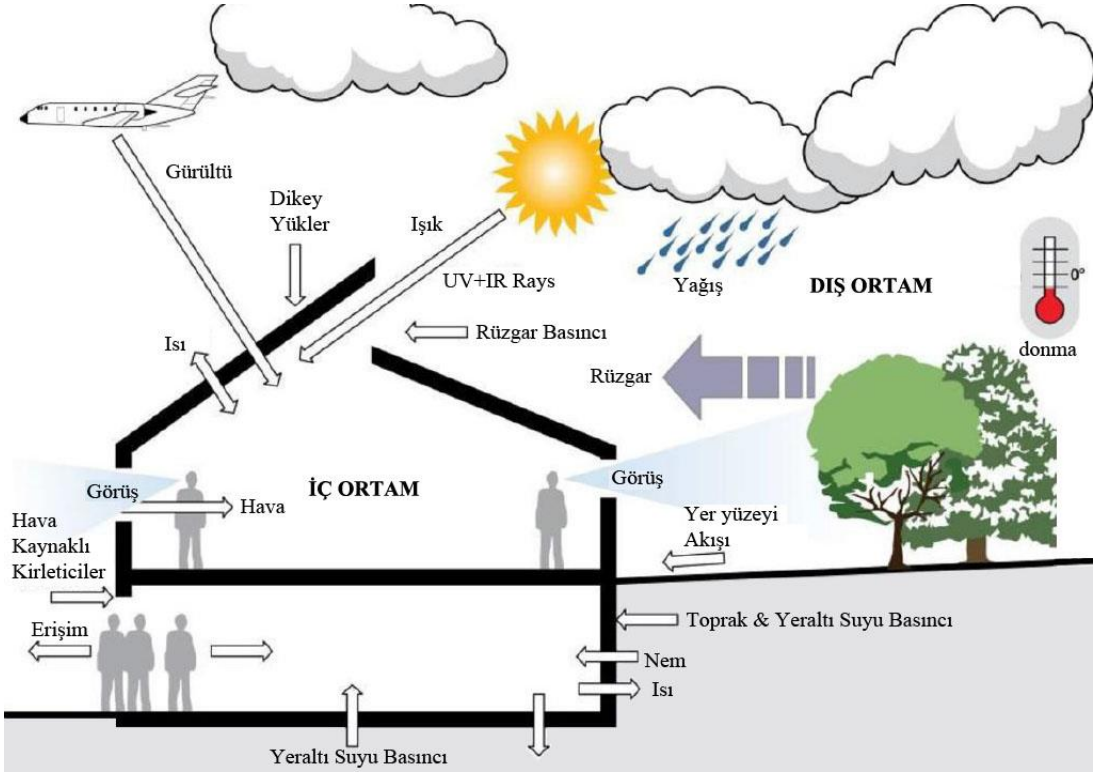
BİNA KABUĞU VE ENERJİ TÜKETİMİNDEKİ ROLÜ, FOTOBİYOREAKTÖR SİSTEMLERİN GELİŞİMİ

Enerji kaynaklarının azalması ve ihtiyacın giderek artması sonucu enerjinin etkin kullanımına yönelik araştırmalar devam etmektedir. Tüketimdeki oranı fazla olan binalar da bu durumdan etkilenmiştir ve "enerji etkin bina" kavramı ortaya çıkmıştır. Enerji etkin bina tasarımında önemli ölçütlerden biri de bina kabuğudur (Kılıç Demircan & Burcu, 2017).

İlk insanların dış ortamın etkilerinden korunmak için sığındıkları mağaraların başlangıcını oluşturan (wbdg.org) bina kabuğu kavramı, termal, işitsel, görsel ve iklimsel olarak iç ortamı dış ortamdan ayırmakla birlikte binanın estetik açıdan formunu oluşturmaktadır. Kullanıcı konforunun sağlanması, devamlılığının getirilebilmesi ile enerji verimliliğini sağlaması açısından da binalarda etkin rol oynamaktadır (Orhon, 2013).

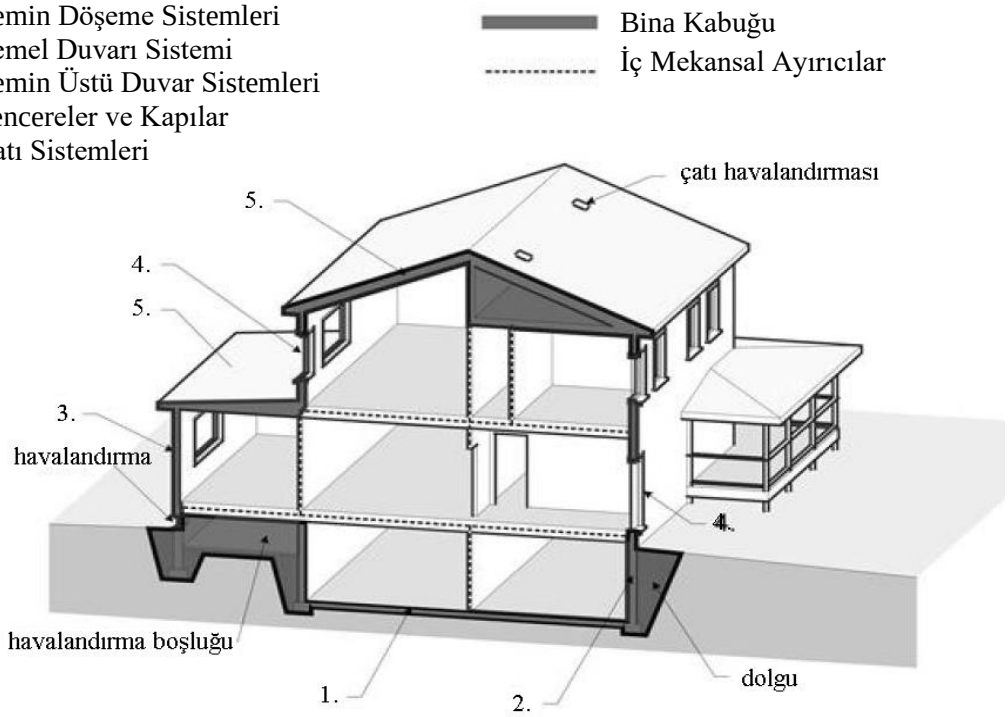
Bina kabuğu, binayı birçok etmene karşı korumakta ve binanın bu etmenler ile arasında bir ayırıcı görevi üstlenmektedir (Şekil 2.1).

Temel, duvar, pencere, çatı gibi yapı elemanlarını (Şekil 2.2) bünyesinde barındıran bina kabuğunun gelişimi malzemelere ve konfor koşulları açısından istenen durumlara göre ilerlemekte olup mimarlığın gelişim sürecindeki bakış açısına göre de şekil alabilmektedir.



Şekil 2. 1. Bina kabuğuna etki eden faktörler (Moghtadernejad, 2018).

Bina Kabuğu Elemanları:
1. Zemin Döşeme Sistemleri
2. Temel Duvarı Sistemi
3. Zemin Üstü Duvar Sistemleri
4. Pencereler ve Kapılar
5. Çatı Sistemleri



Şekil 2. 2. Bina kabuğu elemanları (buildingscience.com).

Bina kabuğunu performansı açısından değerlendirmek gerekirse başlıca güvenlik, insan konforu, sürdürülebilirlik, dayanıklılık ve maliyet verimliliği maddeleri altında incelemek (Çizelge 2.1) mümkündür (Moghtadernejad, 2018).

Çizelge 2. 1. Bina kabuğu performansı değerlendirme parametreleri (Moghtadernejad, 2018).

Güvenlik	-Taşıyıcı elemanları çevresel, doğal ve yapısal koruma, mekanik yüklere karşı dayanıklılığı -Bina içerisindekilerin can ve mal emniyetini sağlaması
İnsan Konforu	-Görsel konfor (fiziksel ve zihinsel) -Estetik -Isıtma ve soğutma ihtiyaçları -Hava akışının kontrolü -Nem akışının kontrolü -Doğal havalandırma ve iç hava kalitesi -Gün ışığı kontrolü -Parlama kontrolü -Akustik -İnşa kolaylığı
Sürdürülebilirlik	-Enerji verimliliği -Yenilenebilir kaynakların kullanımı -Çevresel ayak izi
Dayanıklılık	-Hizmet ömrünün uzaması ve bozulmaya neden olan etmenlerin engellemesi ve alınan önlemler -Onarım için gerekli koşulları sağlama kolaylığı
Maliyet verimliliği	-Tasarım ve inşaat maliyetleri (ilk maliyetler) -İşletme maliyetleri -Onarım ve bakım çalışmalarının maliyetleri -Sökme ve yıkım maliyetleri

2.1. Bina Kabuğunun Gelişimi ve Enerji Tüketimi

Bina kabuğunun gelişimi; insanların barınma ihtiyacını daha iyi karşılayabilme istemiyle ilerlemiştir. Bu amaçla; iklim koşullarına uygun malzemelerin seçilmesi farklı malzemelerin ortaya çıkışını ve iklime uygun yapım yöntemlerinin kullanılmasını,

geliştirilmesini sağlamıştır. Bina kabuğu formları ise gerek ihtiyaca yönelik gerek mimari bakış açısının formlara etkisiyle şekillenmiştir.

En eski bina kabukları, iklim şartları nedeniyle mevcutta bulunan yerel malzemeler olan kil, taş, ahşap, tuğla ile yapılmıştır. Bu malzemelerin doğal ısı depolama özellikleri sayesinde termal açıdan uygun koruma sağlanmıştır. (buildingscience.com).

İlk olarak 4000 yılında Doğu Akdeniz'de keşfedilen cam malzemesi, M.Ö. 1500'lerde Mısır'da sonrasında Venedik ve Avusturya'da kullanılmış ve mimariye yeni bir anlayış getirmiştir (iglo.com.tr). Endüstri Devrimi ile birlikte çelik, beton/betonarme gibi yeni malzemelerin keşfi, geleneksel yapılardaki bina kabuğunun taşıyıcı olma durumunu karkas (iskelet) taşıyıcı sisteme bırakmıştır. Karkas sistemin getirdiği boşlukların binada istenen sayıda ve ebatta açılabilme durumu mimaride "şeffaflık" kavramını gündeme getirmiştir. 1.yy'da ilk defa Roma mimarisinde beton kullanılmıştır (buildingscience.com). 1851'de Londra'da yapılan "Crystal Palace" dökme demir ve camın bir arada olduğu yapılara örnek olarak verilebilirken 1820'de yapılan Philadelphia'daki iki katlı bir banka binasının cephesi ilk asma giydirme cephe örneğini oluşturmuştur. İlk çelik konstrüksiyonlu giydirme cepheli gökdelen ise 1883 yılında Chicago'da yapılan "Home Insurance" binasıdır. İkinci Dünya Savaşı sonrası alüminyumun üretiminin artması cephelerde alüminyumun kullanımını gündeme getirmiştir (Benian, 2010).

Önce tek katmanlı masif elemanlardan oluşan bina kabuğu daha sonra içerisinde farklı katmanları da barındıran çok katmanlı bir hal almıştır. Çizelge 2.2'de yaygın olarak kullanılan ve değişen malzeme tiplerine göre oluşan bina kabuklarına yer verilmektedir.

Bina kabuğu; dış ortama göre daha durgun olan iç ortamla, mevsimsel farklılıkları barındıran uzun dönem aralıklarındaki sıcaklık, ışık, rüzgar gibi hava durumu farklılıklarını içeren dış ortam arasında dengeyi sağlayabilmek için sürekli bir gelişim içerisindedir. Dış ortamdaki bu değişken duruma cevap verebilmek için "akıllı kabuk" olarak adlandırılan sıcaklık, ışık, ses gibi dış ortam etkilerine göre değişkenlik gösteren bina kabukları geliştirilmeye başlanmıştır. Geleneksel bina kabukları açılır kanat, perde, jaluzi gibi yardımcı elemanlarla bu değişken parametrelere cevap vermeye çalışsa da yetersiz kalmaktadır (Orhon, 2013).

Çizelge 2. 2. Bina kabuğu tipleri ve özellikleri (Moghtadernejad, 2018; Moghtadernejad, Mirza & Chouinard, 2019).

Bina Kabuğu Tipi	Özellikleri
Duvar ve tuğla bina kabuğu	-Az katlı konut ve ticari binalarda kullanılır. -Kolayca kalıplanır, ucuz ve minimum onarım maliyetine sahiptir.
Ahşap bina kabuğu	-Az katlı konut binalarında kullanılır. -Yaşlanmaya duyarlıdır ve çürümeyi önlemek için önlem alınmalı, koruma yöntemlerine başvurulmalıdır.
Taş bina kabuğu	-Prestijli yapılarda kullanılır. -Benzersiz dokular ve renklere sahiptir. -Dayanıklıdır ve yüksek basınç dayanımına sahiptir. -Uygulamada esnek bir inşa sağlamaz.
Beton bina kabuğu	-Çeşitli şekiller, renkler, dokular ve yüzeylerin oluşumuna olanak verir. -Genellikle prefabrik üretim uygulanır. -Uygun yangın direnci, enerji verimliliği, akustik ve titreşim kontrolü sağlar. -Uygulamada esnek bir inşa sağlar. -Daha yüksek ağırlık ve dayanıklılık sorunları var
Metal bina kabuğu	-Yapım esnekliği sağlar, çeşitli form ve tasarımlara olanak sağlar. -Genellikle kompozit metallerden veya paslanmaz çelikten yapılır. -Yüksek mukavemet ve korozyon direncine sahiptir. -Uzun süre parlak ve lekesiz kalır. -Başlangıç maliyetleri yüksek olmasına rağmen bakım maliyetleri düşüktür.
Cam bina kabuğu	-Genellikle modern, yüksek katlı binalarda tercih edilir. -Doğal ışık ve ısının girmesine izin verir. -Katlanmış cam bina kabuğu şeklinde de formu bulunmaktadır. -Minimum enerji tüketimi ile yüksek performanslı cam ürünleri bulunmaktadır.
Fotovoltaik bütünleşik bina kabuğu	-Ek bir elektrik gücü kaynağı olarak kullanılabilir -Hibrit bir tasarım kullanılarak hem ısı hem de elektrik enerjisi üreten iyileştirilmiş bina enerji performansı sağlayabilmektedir.

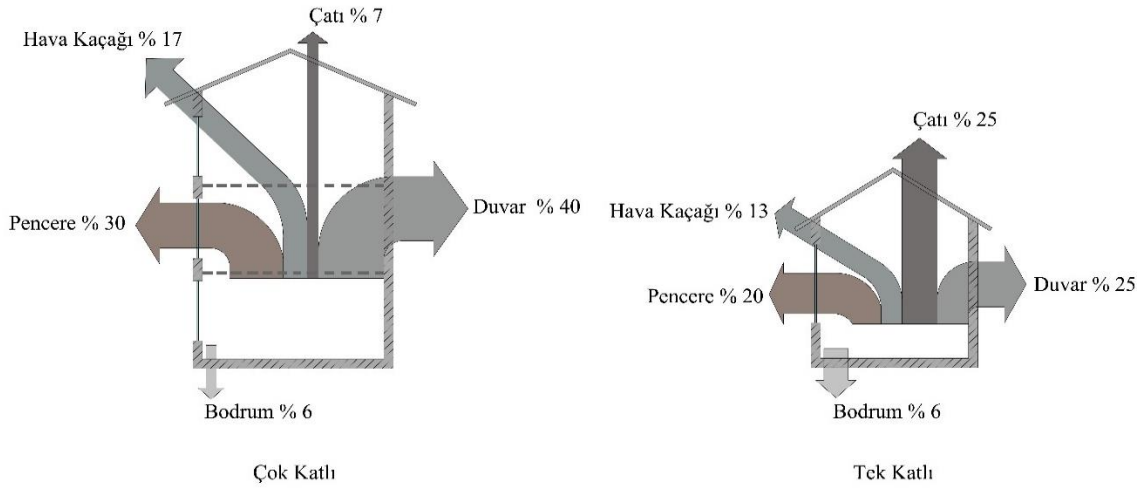
Çizelge 2.2. Devamı

Çift cidarlı bina kabuğu	-Ortasında havanın aktığı bir boşluk bulunan iki katmandan oluşmaktadır. -Tek veya çift camdan oluşabilmektedir. -Doğal havalandırma sağlar ya da fan destekli veya mekanik havalandırma bulundurabilir. -Bina enerji performansını artırmak için kullanılmaktadır. -Daha yüksek maliyetler ve daha düşük kullanılabilir alan sağlar.
Vinil bina kabuğu	-Alüminyum dış cephe kaplamasının yerini almak üzere üretildi. -Kuzey Amerika'daki konut binaları için en yaygın olarak uygulanan dış cephe kaplamasıdır. -Çeşitli renklerde gelir ve güneş ışığına maruz kalma nedeniyle rengi zamanla solmaktadır. -Çok soğuk havalarda sert bir cisim çarptığında çatlama eğilimi mevcuttur. -Yanarken zehirli dumanlar çıkarabilir.
Dış cephe sıvası kaplı bina kabuğu	-Renkleri ve çeşitleri ile ilgi çekicidir. -Hava koşullarına dayanıklıdır. -Kırılgandır, bu nedenle; destek sağlamak, çatlamayı kontrol etmek ve çekme mukavemetini artırmak için metal bir çıta eklenir.
Fiber kompozit bina kabuğu	-Daha yüksek sertliğe, dayanıklılığa, daha düşük yoğunluğa ve ağırlığa sahiptir. -Korozyon direncine sahiptir ve üretim esnekliği sağlar. -Uygun maliyetlidirler. -Yüksek sıcaklıklara, ultraviyole (UV) radyasyona, ışığa maruz kalamazlar ve nemden olumsuz etkilenirler. -Zayıf yangın direncine sahiptir, fenol bazlı kompozitler kullanılarak iyileştirilebilir ancak maliyetlidir.
Sandviç panel bina kabuğu	-İki ince katmandan ve düşük yoğunluklu bir çekirdekten oluşur. -Uygun maliyetli ve prefabriktir. -Minimum ağırlıkla yüksek sertlik sağlar. -Endüstriyel ve ticari binalarda, spor tesislerinde, depolarda kullanılabilir.

İlerleyen zamanlarda malzemelerin ve sistemlerin gelişimiyle birlikte bina kabuğunda şeffaflıkla birlikte değişkenlik, adaptiflik, kinetiklik, etkileşimlilik, enerji etkinliği (tasarrufu ve kazanımı), sürdürülebilirlik gibi kavramlar sorgulanırken bina kabuğu arayüz (medya) olma durumunda kalacaktır (Orhon, 2013).

Bina kabuğu optik özellikler açısından opak ve saydam elemanlardan (duvar, döşeme, çatı, pencere, kapı vb.) oluşmaktadır. Bu elemanlar binanın enerji tüketimi üzerinde termofiziksel özellikleri açısından önemli rol oynamaktadır.

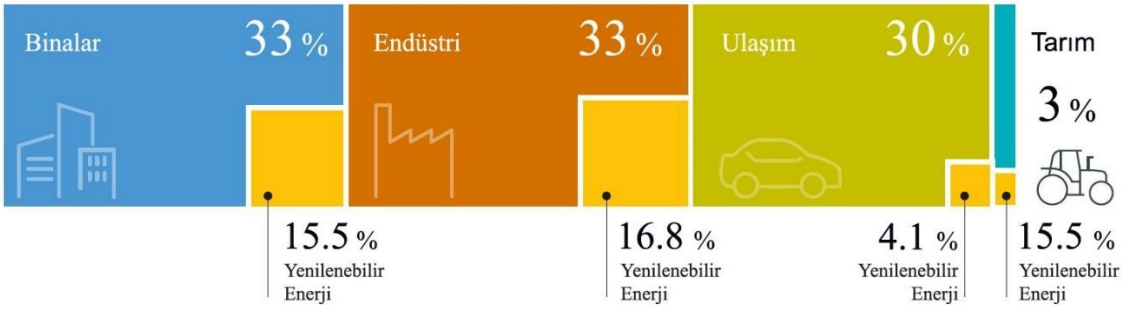
Yapım sistemi özelliklerine göre de değişen, tek katlı binalarda; genel olarak bina kabuğundan olan enerji kayıpları; duvardan % 25, pencerelerden % 20, çatılardan % 25, bodrumdan % 6 ve hava kaçağı ile % 13 iken çok katlı binalarda ise; duvardan % 40, pencerelerden % 30, çatılardan % 7, bodrumdan % 6 ve hava kaçağı ile % 17 olduğu görülmektedir (Şekil 2.3). Bu oranlar bina kabuğundaki pencere/duvar oranından ve cam özelliklerinden de etkilenmekte (kaplamalı cam/low-e, çift cam, tek cam) olup pencere/duvar oranının artışının ısı kaybını arttırdığı görülmektedir (Koyun & Koç, 2017).



Şekil 2. 3. Çok katlı ve tek katlı binalarda bina kabuğundan ısı kayıp yüzdeler (Koyun & Koç, 2017).

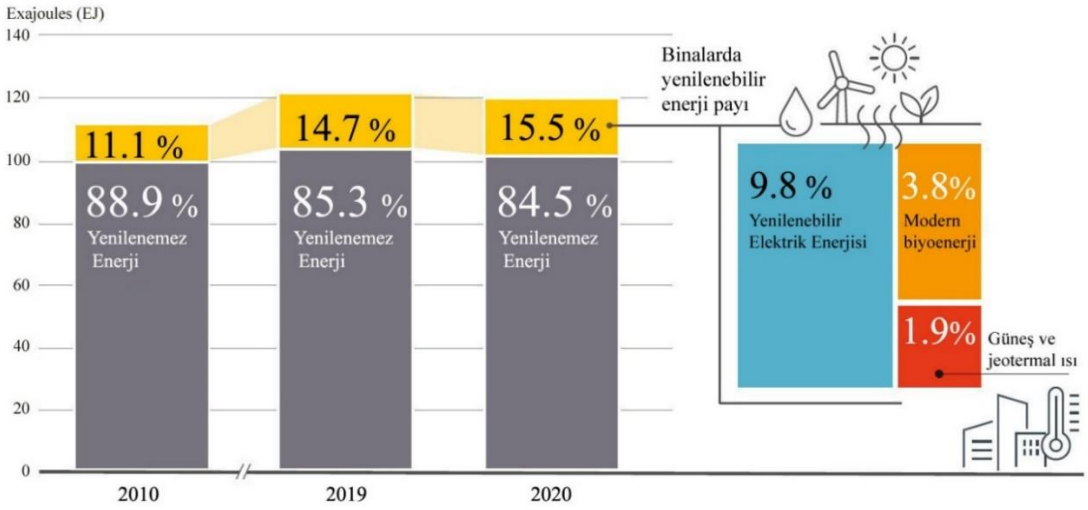
Bina sektörü toplam enerji tüketiminde önemli bir yere sahiptir. Toplam enerji tüketiminin yaklaşık üçte biri (Şekil 2.4), elektrik tüketiminin ise % 71'i bu sektörde harcanmaktadır. Aynı zamanda üretilen CO_2'in % 40'ı, atıkların % 65'i ile su tüketiminin

% 12'si de bina sektöründe kullanılmaktadır (Köksoy, 2021). Bu nedenle mevcut ve yeni binalar açısından farklı çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle farklı ülkelerde ve topluluklarda çeşitli hedefler belirlenerek bunların hayata geçirilmesi konusunda yaptırımlar uygulanmaktadır. AB'nin koyduğu hedefler doğrultusunda 2030 yılında; enerji verimliliği sağlanarak yenilenebilir enerji kaynak kullanımının % 32 oranında artırılması, 2050 yılında ise karbon nötr olma hedefi bulunmaktadır (energy.ec.europa.eu).



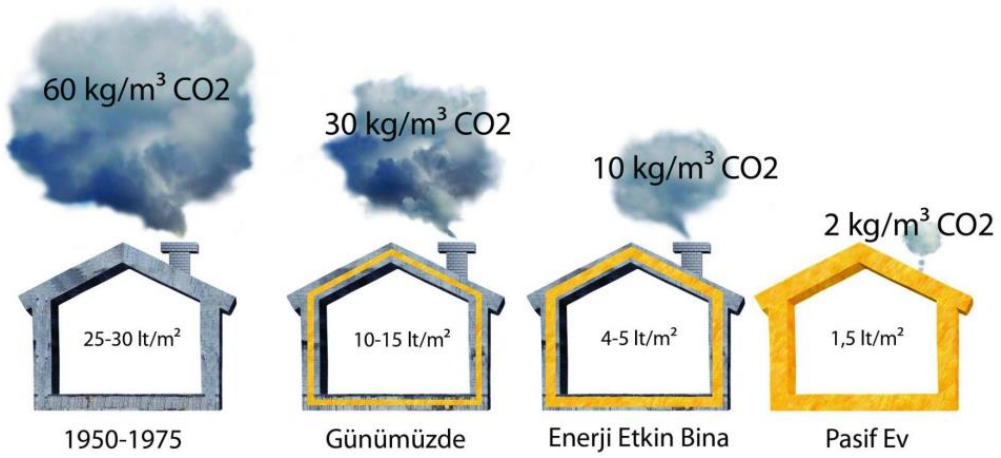
Şekil 2. 4. Sektörlere göre toplam nihai enerji tüketimi ve sektörlerin yenilenebilir enerji tüketimi, 2020 (REN21).

Yenilenebilir enerji kullanımı, enerji etkin binalar açısından büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerjilerin binalara bütünleştirilemesi ile ilgili çalışmalar giderek artmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2. 5. Binalarda toplam nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerji payı; 2010, 2019 ve 2020 (REN21).

Bu doğrultuda; enerji tüketiminin azaltılması amacıyla özellikle bina kabuğunun iyileştirilmekte ve enerji korunumlu hale getirilmektedir. Enerji tüketim miktarlarına bağlı olarak enerji etkin binalar (Çizelge 2.3) olan: Düşük Enerji (Low Energy), Yaklaşık Sıfır Enerjili, Net Sıfır Enerjili, Sıfır Enerjili (Zero Energy) binalar, Pasif Ev, Artı Enerji Evi (Plus Energy) gibi bina kavramları ortaya çıkmaktadır (Özbalta, 2011). Bu binalar arasındaki fark, enerji tüketimlerindeki kısıtlamalar ve yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı ile CO_2 emisyonunun azaltılması üzerinden sağlanmaktadır. CO_2 emisyonu açısından yalıtılmamış bir bina yılda 68 kg CO_2 açığa çıkarırken pasif bina yaklaşık 17 kat daha az olacak şekilde yıllık 4 kg CO_2 açığa çıkarmaktadır (mechanic.com.tr). Şekil 2.6'da görüldüğü gibi yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 15 kWh/m² altında olan pasif binalar, bu anlamda dikkat çeken enerji etkin binalardır. Enerji tüketiminin sıfır olduğu binalar elde edilmesi prensibine sahip pasif binalar/evler enerji kullanımını en aza indirmeyi (Şekil 2.6) hedeflemektedir (imsad.org).



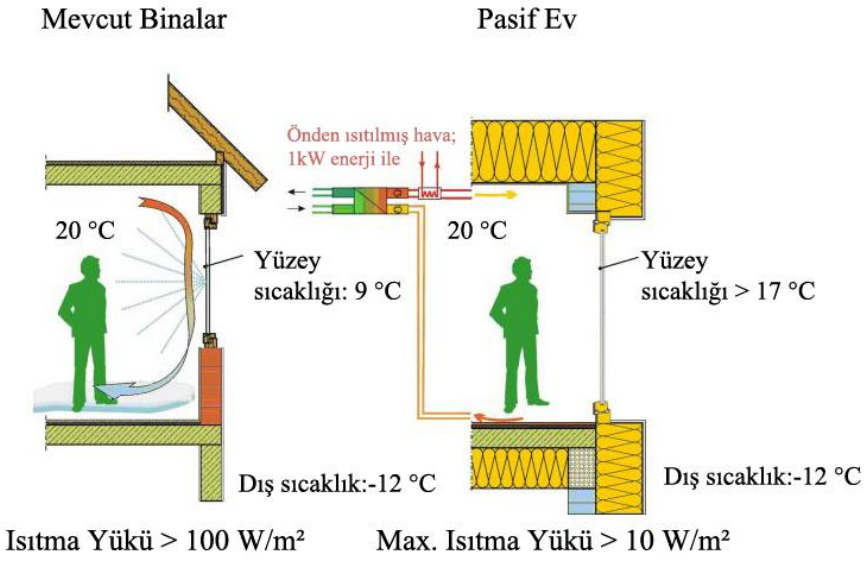
Şekil 2. 6. Karbondioksit emisyonlarının binalarda enerji tüketimiyle doğru orantılı olarak azalması (imsad.org).

Çizelge 2. 3. Enerji tüketimine göre binaların sınıflandırılması (emo.org.tr; Özbalta, 2011).

Artı Enerjili (Plus Energy) Binalar	-Üretim > Tüketim -İhtiyacından fazla enerjiyi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde eden binalardır. -Fazla enerjiyi şehir şebekesine aktarır.
Sıfır Enerjili Binalar (ZEB)-Sıfır Karbon Binalar	-Üretim = Tüketim -Yıllık en fazla 15 kWh/ m² (Avrupa Pasif Ev Standartına yakın bir değerdedir.) -Yıllık ortalamada sıfır net enerji tüketen ve sıfır karbon salınımı yapan binalardır. -Özerk, kendi kendine yetebilen binalardır. -Çift yönlü enerji akışı yoktur, şehir şebekesinden bağımsızdır. -Enerji üretimini yerinde yapar.
Pasif Bina	Tüketim (ısıtma ve soğutma) <15 kWh/ m² -Yıllık 15 kWh/ m² altında
Net Sıfır Enerjili Binalar (NZEB)	Üretim > Tüketim -Üretilen enerjisinin fazlasını genel sisteme vererek yıllık enerji tüketimini sıfır yapan binalardır. -Genel sisteme bağlı yapılardır.
Yaklaşık Sıfır Enerjili Binalar (nZEB)	Üretim ~ Tüketim -Yüksek oranda yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak yüksek enerji verimine sahip olan binalardır.
Düşük enerjili (Low Energy) Binalar	Bazı Avrupa Ülkelerinde 40-70 kWh/m² -Daha az enerji harcayarak konfor koşullarını sağlayabilen binalardır.

Enerji etkin bina türlerinden biri olan pasif binalar / evler; binada enerji kayıplarını engelleyerek binanın ısıtma, soğutma, havalandırma için tüketmiş olduğu enerji miktarını azaltmayı hedeflemektedir. Bunu sağlamak için duvar, pencere, kapı, döşeme ve çatı gibi bina elemanlarında ısı yalıtımı diğer mevcut binalara göre daha yüksektir. Pasif binaların kabuk özellikleri ve buna bağlı olarak enerji tüketim miktarları mevcut binalara oranla

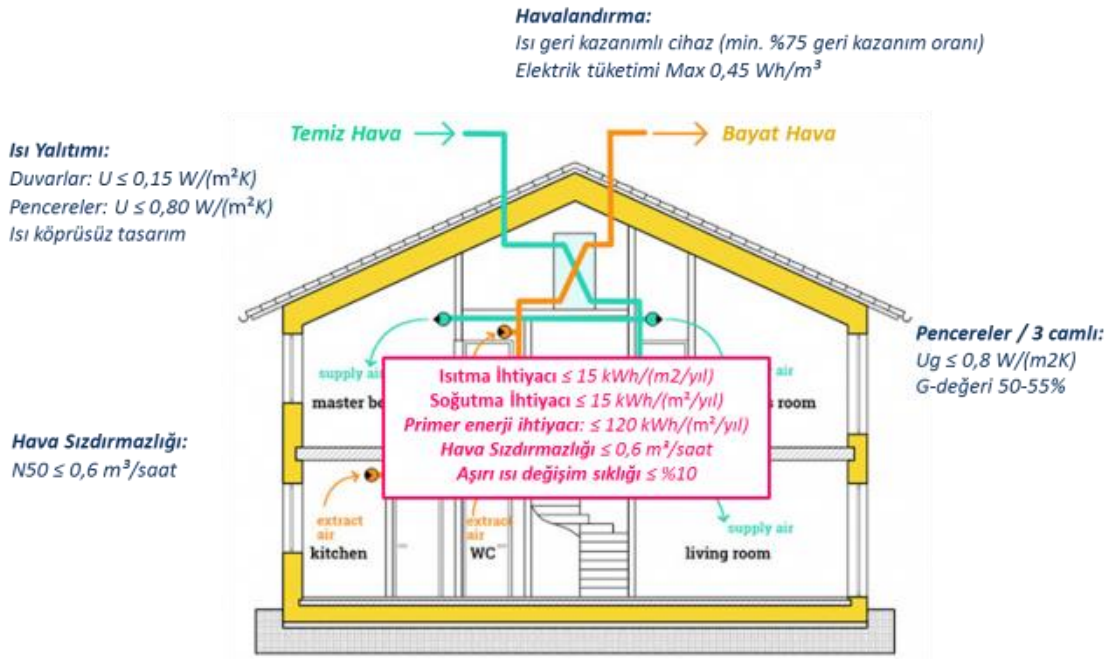
farklılık göstermektedir. Pasif binalarda; enerji korunumlu, yüksek ısı yalıtımlı kabuk özellikleri sayesinde ısıtma ve soğutma yükleri azalmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2. 7. Mevcut ve pasif binaların bina kabuğu özellikleri ve ısıtma yükü değerleri (imsad.org; sektorumdergisi.com).

Pasif binaları diğer yapılardan ayıran bina kabuğu ve elemanların özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Şekil 2.8).

- Duvarlarda ısıl geçirgenlik değeri $U_d < 0.15$ W/(m²K),
- Pencerelerde ısıl geçirgenlik değeri $U_p < 0.80$ W/(m²K) ve
  G değeri %50-55 arasında olması gerekmekte iken
- Isı köprüsü yaratmayan bir detay tasarımı yapılmalıdır.
- Hava sızdırmazlığı değeri 50 Pa basınç altında 0.6/h olmalıdır.
- Birincil enerji ihtiyacı < 120 kWh/(m²a) olmalı iken
  -Isıtma ihtiyacı < 15 kWh/(m²a)
  -Soğutma ihtiyacı < 15 kWh/(m²a) olmalıdır.
- Havalandırmanın elektrik tüketimi maksimum 0,45 Wh/m^3 olan ve % 75 oranında geri kazanım sağlayan bir cihaz ile yapılması gerekmektedir.
- Isı değişim sıklığı ise <10 W/m² olmalıdır.



Şekil 2. 8. Pasif bina yapı elemanlarının taşıması gereken özellikler (meskencelik.com).

Pasif bina standartları sadece yeni binalar için değil mevcut binalar için de bulunmaktadır. Mevcut binalar için kullanılan ve 'EnerPHit' olarak adlandırılan pasif ev standartına göre binanın yapılan iyileştirme sonucu aşağıdaki özellikleri sağlaması beklenmektedir (sepev.org).

- Birincil enerji ihtiyacı < 120 kWh/(m²a) + ((QH -- 15 kWh/(m²a)) . 1.2) ve
  -Isıtma ihtiyacı < 25 kWh/(m²a) olmalıdır
- Hava sızdırmazlığı değeri ise 50 Pa basınç altında 1/h olmalıdır.

Bu çalışmada örnek olarak incelenen BIQ Binası pasif bina özellikleri taşımaktadır. Pasif binaların genel özellikleri hakkında bilgi verilerek örnek bina kabuğunun oluşturulması ve analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde bu temel bilgilerden faydalanılmıştır.

2.2. Fotobiyoreaktör Sistemlerin Gelişimi

Fosil kaynaklar dünyada birincil enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ancak çevresel etkiler ve kaynakların azalması gibi nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasına çalışılmaktadır. Yenilenebilir enerjinin

kullanımını teşvik eden bu çalışmalar güneş, rüzgâr, biyokütle enerjisi gibi birçok enerji çeşidini kapsamaktadır.

Biyokütle enerjisi, geleneksel ve modern kaynaklarıyla çok eski yıllardan beri kullanılmaktadır. Algler de biyokütle kaynaklarından biridir.

Algler; ilk olarak tek hücreli (prokaryotik) mikro canlılar olarak başlayan yaşam süreçlerine çok hücreli (ökaryotik), makro türleri de yüzyıllar içinde gelişmiş olan canlılardır. Bu canlılar kapalı ve açık sistemler içerisinde yetişebilmektedir (Öncel, Köse, & Öncel, 2016). Alglerin yetiştikleri kapalı sistemlere fotobiyoreaktör sistemler denilmektedir.

2.2.1. Biyokütle Enerjisi ve Kullanımı

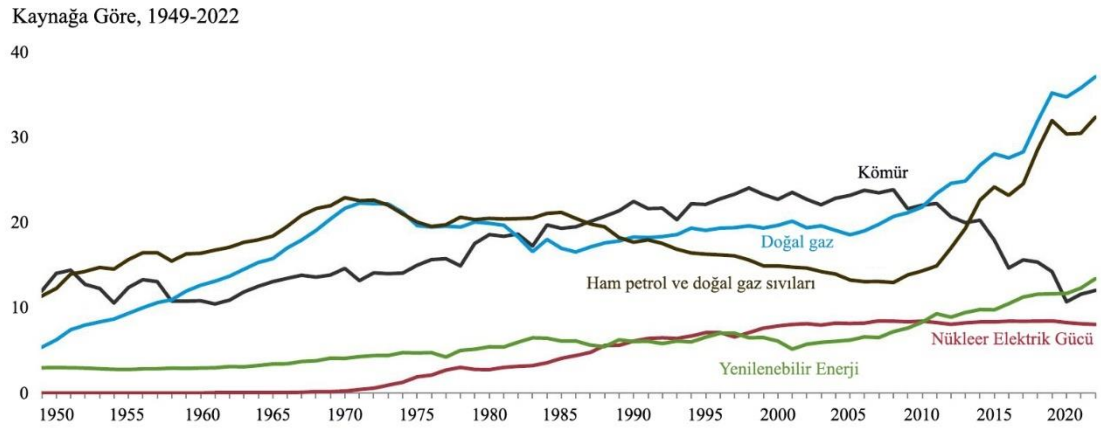
Enerji yaşamın her alanında ihtiyaç duyulan; nüfus artışı, teknolojinin gelişimi, sanayileşme ve beraberinde yaşanan maddi krizlerle daha da önemli hale gelen, ülkelerin sosyal ve ekonomik kalkınma düzeyi hakkında bilgi veren, iş yapabilme gücüdür. Enerjinin mekanik (potansiyel ve kinetik), termal, kimyasal, güneş, jeotermal, rüzgar, hidrolik, dalga, nükleer, elektrik gibi birçok türü bulunmakta, bu enerjiler belli mekanizma ve yöntemlerle birbirine dönüşebilmektedir (Koç & Şenel, 2013).

Enerji üretiminde kullanılan kaynaklar temel olarak dönüştürülmelerine ve tükenebilirliklerine (kullanışlarına) göre iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Dönüştürülmelerine göre sınıflandırma, birincil (primer) ve ikincil (sekonder) enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmakla birlikte; birincil enerji kaynakları doğadan alındıktan sonra doğrudan enerji üretilebilen kaynaklar iken ikincil enerji kaynakları ise birincil enerji kaynaklarının santrallerde işlenerek dönüştürülmesi ile farklı özellikler kazanması sonucu enerji üretiminde kullanılan kaynaklardır. Günümüzde sürdürülebilirlik (tükenebilirlik) durumuna göre sınıflandırılma daha ön planda olup tükenebilirliklerine göre enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır (Eskin, 2018).

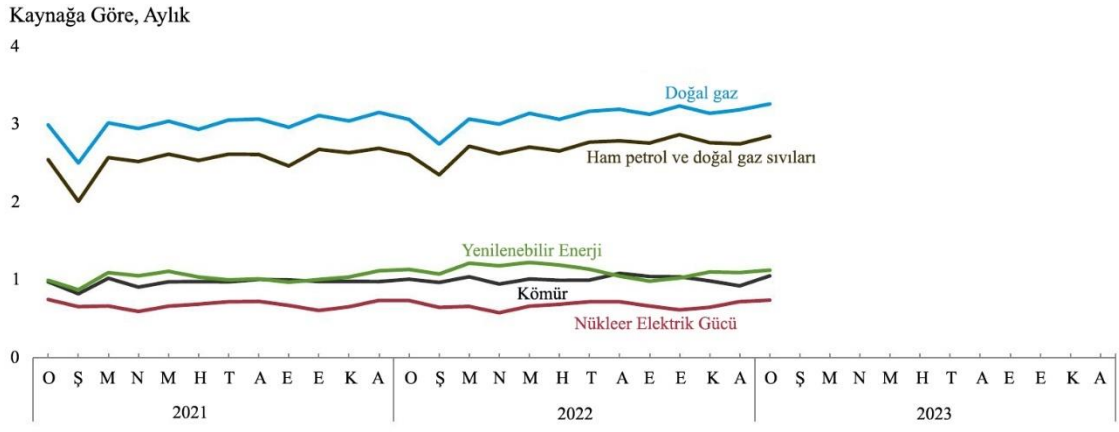
Uzun yıllar depolanan fosil yakıtlar ham maddesini oluşturduğu için doğaya ve canlılara zararlı olabilecek atık üretebilen, tüketimleri sonucu daha fazla enerji verebilen, kolay işlenebilen, tek kullanımlık, geri dönüşümü mümkün olmayan kaynaklar yenilenemez enerji kaynakları olarak nitelendirilmektedir. Kendini sürekli döngü halinde

tekrarlayarak, kullanılan miktarını yerine koyabilen ve işlenmesi sırasında doğaya, canlılara atık oluşturmayan kaynaklara ise yenilenebilir enerji kaynakları denilmektedir (Gezer, 2013).

Günümüzde doğal enerji kaynaklarının hızla tükenmeye başlaması ve iklim değişikliklerine sebep olacak düzeyde olan kirlilikle beraber insanoğlu yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye başlamıştır (Şekil 2.9, Şekil 2.10). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması zaman içinde doğanın kendini yenilemesi için bir fırsat olarak görülürken enerjinin sürekliliğinin sağlanması açısından da önemlidir.



Şekil 2. 9. Kaynağa göre 1949-2022 enerji tüketimleri (EIA).



Şekil 2. 10. Kaynağa göre 2021-2022-2023 aylık enerji tüketimleri (EIA).

Geniş kullanım potansiyeli, her yerde üretilebilmesinden dolayı ekonomik oluşu ve özellikle kırsal alanlarda çeşitli sosyal ve çevresel faydaları sebebiyle geleceğin yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan biyokütle (Ölçüm, 2006), sadece doğada bulunan öğelerle oluşmaması, yeni teknikler kullanarak yeni kaynaklar yaratabilmesi ile mevcut potansiyeli artırması açısından da diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından ayrılmaktadır (Gezer, 2013).

Biyokütle, fosil olmayan biyolojik maddeleri barındıran her şey olarak ifade edilebilmektedir. (Erdoğan, 2014). 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda ise "Organik atıkların yanı sıra bitkisel yağ atıkları, tarımsal hasat artıkları dâhil olmak üzere, tarım ve orman ürünlerinden ve bu ürünlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynaklar" olarak da tanımlanmaktadır. Ayrıca; fotosentez sonucu güneşi doğada depolamasından dolayı biyokütle "organik karbon" olarak da adlandırılabilmektedir (enerji.gov.tr).

Fotosentez olayı biyokütlenin temelini oluşturmaktadır. Güneş enerjisinin kimyasal enerjiye çevrilmesini sağlayarak organik besinlerin yapısında enerjinin depolanmasını sağlamaktadır. Bu işlem sonucunda aşağıdaki 2.1 denkleminde görüldüğü gibi enerjinin besinde depolanması sağlanırken canlıların yaşamını devam ettirebilmeleri için gerekli olan oksijen gazı da atmosfere salınmaktadır (Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı, 2012).

$$CO_2+H_2O+\text{güneş ışığı}+\text{klorofil} \rightarrow CH_2O+O_2 \qquad (2.1)$$

Biyokütle; temel olarak ısı enerjisi, yakıt ve elektrik enerjisi elde edebilmek için kullanılmaktadır (enerji.gov.tr). Biyokütlenin enerji üretiminde işlenmesi esnasında açığa çıkan yan ürünler de farklı amaçlar için işlenerek değerlendirilmektedir (pwc.com.tr, 2021). Biyokütle kaynakları; mısır, ayçiçeği, buğday gibi bitkisel maddeler, enerji üretimi için özel yetiştirilen bitkiler, otlar, havvan dışkıları, tezek gibi hayvansal maddeler, algler, yosunlar, gübre ve sanayi atıkları, evsel organik atıklar (meyve, sebze artıkları) gibi doğadaki birçok şeyi kapsamaktadır (yegm.gov.tr). Ana bileşenleri karbonhidrat olan bu kaynakların kullanılması ile oluşan enerji biyokütle enerjisi olarak adlandırılmaktadır.

Biyokütle enerjisi kullanılarak elde edilen katı, sıvı ve gaz yakıtlar biyoyakıt; ısı ve elektrik enerjisi üreten sistemlerle üretilen enerji biyoenerji olarak adlandırılmaktadır (enerjiportali).

Biyokütle enerjisinden biyoyakıt ve biyoenerji üretilirken farklı yöntemler kullanılmaktadır. Biyoenerjiden ısı enerjisi eskiden beri sağlanmaktayken artık elektrik enerjisi de üretilebilmektedir. Biyokütleden doğrudan yakım, termokimyasal (piroliz ve gazlaştırma) ve havasız çürüme yöntemleri ile biyoenerji sağlanmaktadır. Biyokütleden biyomotorin, biyoetanol, biyogaz vb. biyoyakıt elde edilmesinde ise mayalanma ve fizikokimyasal (esterikasyon) yöntemleri kullanılmaktadır (Ölçüm, 2006).

Biyokütlenin enerji ve yakıtlara çevrilmesinde birçok yöntem kullanılmakla birlikte bu yöntemleri Çizelge 2.4' deki gibi sınıflandırmak mümkündür.

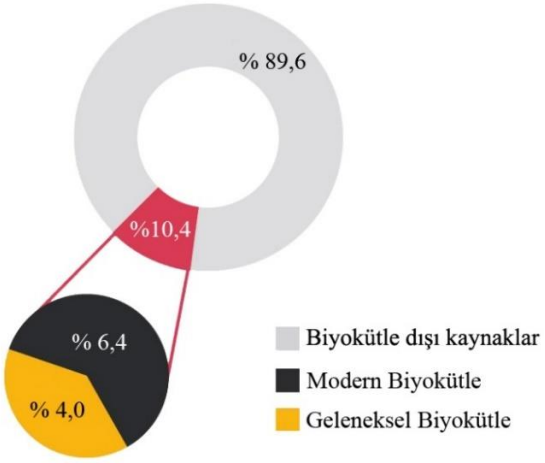
Çizelge 2. 4. Biyokütlenin çevrilme yöntemleri ve açığa çıkardıkları ürünler (enerjiportali; pwc.com.tr, 2021).

Biyokütle Çevrimleri		
Termokimyasal Çevrim	**Biyokimyasal Çevrim**	**Fiziksel Çevrim-Transesterifikasyon**
Doğrudan Yakma **Baca gazı (CO_2, H_2)**	**Havasız (Anaerobik) Çürütme** Biyogaz (CH_4, CO_2)	**Esterleştirme** Biyodizel
Piroliz **Sentetik Gaz (CO, H_2)**	**Fermantasyon** Biyoetanol	
Gazlaştırma **Sentetik Gaz (CO, H_2)**		

Doğrudan yakma işlemi, en yaygın yöntemdir. Yüksek ısı ve basınçta buhar üreten ve bu buharla elektrik enerjisi üreten bir sisteme sahiptir. Elektrik ve ısı üretiminin sağlandığı kojenerasyon sistemi ile de çalışabilme seçeneğine sahiptir (enerjiportali). Piroliz; katı biyokütle kaynaklarının oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklarda yakılarak katı, sıvı, gaz ürünlerin çıkışını sağlamaktadır. Havasız (aerobik) çürüme ise mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen çürütme yöntemidir. Fermantasyon, organik biyokütle kaynağının içerisinde bulunan nişastanın ısıyla şekere dönüştürülmesi ve oluşan şekerin mayalanması ile etanol oluşması döngüsüyle enerji üretimini sağlamaktadır. Esterleşme ise bitkisel ya da hayvansal yağların yakıt amaçlı kullanılmak

üzere biyodizel ve gliserine dönüştürülmesine dayanmaktadır. Gazlaştırma yönteminde biyokütleninin az oksijenli ortamda çok yüksek sıcaklık ile işlenmesi sonucu yanabilir gaz oluşmakta ve bu gaz çeşitli işlemlere sokularak doğalgaz olarak da kullanılabilmektedir (pwc.com.tr, 2021). Bu yöntemde enerjinin % 85'i gaza dönüşmektedir. Birkaç aşama sürebilen yakma süreci sonucu kalan atık gazlar temizlenerek atmosfere salınmaktadır. Ayrıca biyokütle kaynakları ile fosil yakıtların birlikte işleme sokulduğu iki farklı maddeyi aynı anda yakma esasına dayanan (co-firing) bir yöntem de mevcuttur (enerjiportali).

Biyokütle enerjisinin kullanımı, oldukça eskilere dayanmaktadır. En eski hammaddeleri olan odun, odun kömürü, hayvan gübresi (tezek) gibi kaynakların klasik yakma işlemi ile ısınma amaçlı kullanıldığı bilinmektedir (Gezer, 2013). Daha sonra bu enerjinin kullanımının ve elde edilen enerjinin artırılması adına farklı kaynaklar (enerji tarımı ürünleri, tarımsal endüstri atıkları gibi) oluşturulmaktadır. Bu nedenle biyokütlenin kullanımı ve kaynaklarını geleneksel ve modern olarak ikiye ayırmak mümkündür. Modern biyokütle kaynaklarının kullanımının geleneksel biyokütle kaynaklarından daha fazla olduğu Şekil 2.11'de görülmektedir.



Şekil 2. 11. 2019 yılı enerji talebinin yakıta göre dağılımı (pwc.com.tr, 2021).

Biyokütle kaynakları; klasik (tarımsal) ve modern (kentsel) olarak iki grupta incelenmektedir (Erdoğan, 2014), (Çizelge 2.5). Bunları; karasal, suda yaşayan ve atıklar olmak üzere üç grupta sınıflandırmak da mümkündür (Sözen, Gündüz, Aydemir, & Güngör, 2017), (Çizelge 2.6). Kullanım yeri ve hedefi doğrultusunda klasik ve modern

olarak ayrılan biyokütle enerjisinde (Çizelge 2.5) klasik olan çok eski çağlarda ateşin bulunmasından bu yana ısınma ve pişirme gibi küçük ölçekte işlevlerde ilerleyen zamanla da gelişmekte olan ülkelerde yaygınlaşmıştır (Avcıoğlu, 2017). Kaynakların; yaşadıkları yere, oluştukları duruma göre sınıflandırılmasında ise; karasal alanların yaklaşık üçte birini kaplayan ormanların içerisinde gelişmekte olan ülkelerin en büyük biyokütle kaynağı olan ağaçlar, çimenler ve diğer ekinler, bitkiler, bitki artıkları ve enerji üretmek için yetiştirilen enerji bitkileri **'karasal'** kategorisinde yer almaktadır. Mavi yeşil alg, siyano bakteriler gibi su yosunları, su bitkileri **'suda yaşayan'** kısmında ve kent, sanayi yerleşiminin getirdiği atıklar ile hayvansal atıklar **'atıklar'** kategorisinin altında yer almaktadır (Özyurtkan, 2006).

Çizelge 2. 5. Biyokütle kaynaklarının klasik ve modern olarak sınıflandırılması (enerjiportali).

Biyokütle Kaynakları	
Tarımsal / Klasik Biyokütle	**Kentsel / Modern Biyokütle**
-Orman artıkları ve odun atıkları	-Kentsel odun atıkları (tahta kutular, paletler)
-Tarımsal atıklar (mısır, buğday, vb.)	-Atık su
-Tarla ürünleri (yeşillik, çimen, ağaçlar)	-Çöp gazı
-Çiftlik hayvanları atıkları	-Belediye katı atıklar
	-Gıda işleme atıkları
	-Organik atık ile karışık sanayi atıkları

Çizelge 2. 6. Biyokütle kaynaklarının karasal, suda yaşayan ve atıklar olarak sınıflandırılması (Sözen, Gündüz, Aydemir, & Güngör, 2017; Bay, 2006).

Biyokütle Kaynakları		
Karasal	**Suda Yaşayan**	**Atıklar**
-Orman bitkileri	-Su bitkileri	-Endüstriyel Atıklar
-Çimenler	-Su yosunları	-Şehir Atıkları (Kanalizyon Atığı,Katı Şehir Atıkları)
-Enerji Bitkileri	-Algler	-Hayvansal Atıklar
-Doğal Bitki Artıkları		Bitki artıkları (Doğrudan Yakılan, Islak, Tahıl Çöpleri)

Biyokütle enerjisini avantajları ve dezavantajları açısından ele almak gerekirse avantajlarının dezavantajlarına göre daha çok olduğu söylenebilir. Avantajları,

dezavantajları ve riskleri Çizelge 2.7'deki gibi sıralamak mümkündür (Bay, 2006 ; Gezer, 2013).

Çizelge 2. 7. Biyokütle enerjisi kullanımının avantaj (Bay, 2006; Gezer, 2013), dezavantaj ve riskleri (Ölçüm, 2006).

Avantajlar	-Kesintiye uğramaz ve kolay depolanabilir.
	-Yerli bir kaynaktır. Yerel olarak üretilip işlenmekte olup istihdamı arttırarak dışa göçü engeller, ithalatı azaltır.
	-Kaynakları her yerde bol miktarda bulunabilmektedir. Kaynak olan atıklar sürekli üretildiği için döngüseldir. Atıkların kullanılması çöp miktarını ve depolanması için gerekli yer miktarını da azaltmaktadır. Potansiyeli yüksek yenilenebilir enerji kaynağıdır.
	-Fotosentez yapan canlılar doğal döngünün devam ettirilmesi açısından olumlu etki yaratmaktadır. Biyokütle depolanan bileşiğin enerji eldesinde yakılmasıyla atmosfere salınan CO_2 miktarı, fotosentezle üretilirken kullanılan CO_2 miktarı kadar olduğu için atmosferdeki karbondioksit miktarını arttırmaz.
	-Farklı biyokütle kaynaklarının farklı işlem yöntemleri sonucu işlenmesiyle çok yönlü enerji çıktıları oluşabilmektedir.
	-Biyoyakıtları ihmal edilecek düzeyde kükürt içerir, fakat bu yakıtlar yakıldıklarında asit yağmurları oluşturacak kadar SO_2 üretemezler. Biyokütlenin işlenmesi sonucu oluşan biodizel, bakteriler tarafından kolayca ayrıştırılıp doğaya katılabilmektedir.
	-Biyokütlenin yakılmasıyla oluşan kül kömürün yakılmasıyla oluşan külden az olmasıyla birlikte biyokütleden oluşan kül tarımsal amaçlı topraklar için katkı maddesi olarak da kullanılabilmektedir.
Dezavantajlar-Riskler	-Kaynak olan her atık direk kullanılamadığı için ayrıştırılması gerekebilmektedir.
	-Teşvik yerli malı kullanımına yönelik bir çalışma var iken çevresel konular konusunda da çalışmalara yer verilmelidir. Biyokütle santrallerini kontrol edecek yöneticilerin ve personellerin gerekli bilgi ve deneyime sahip olması gereklidir, bu konuda gerekli çalışmaların da yapılması önemlidir.
	-Su ihtiyacı çok fazladır, içerisindeki su oranı fazladır. Bazı atıklarının işlenmesi sonucu çevreye zararlı olan metan gazı salınımına neden olmaktadır.
	Ekilmesi, işlenmesi ve kullanılması uzun süreler almaktadır.
	-Tarım alanları için alternatif oluşturması açısından olumlu bulunurken tarım alanları ile rekabet etmesi olumsuz bir etki yaratmaktadır.
	-Düşük çevrim verimine sahiptir yani verimleri çok yüksek değildir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında organik kaynakları kullanması, kaynaklarını kendi üretebilmesi ve kaynaklarının geri dönüşüm döngüsünde bir yerinin olması ile kullanıldığında çevreye verdiği zararın az olması gibi durumlardan dolayı biyokütle olumlu bulunmaktadır. Yakıldığında açığa çıkan enerjinin az olması, kaynaklarının üretilmesinin belli bir zaman alması gibi durumlardan ötürü dezavantajları olsa da enerji miktarının arttırılması adına ara ürünler oluşturularak işleme sokulması açısından olumlu görülmektedirler. Fosil yakıt kaynaklarının giderek azalmasına bağlı olarak bu konudaki çalışmalar artarak devam etmektedir.

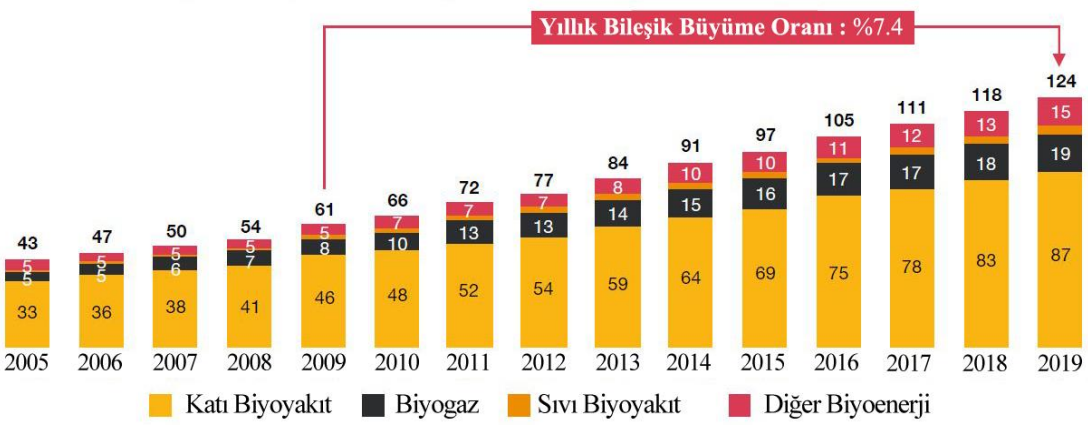
Enerji talebi tüm dünyada hızla artmasına rağmen enerji kaynaklarının tüm bölgelerde eşit olarak dağılmaması sorun oluşturmaktadır. Bu durum ülkeler arasında krize sebebiyet vermektedir (Mıhlayanlar, Avcı & Mechmet, 2021). 1973 petrol krizi de enerjinin ithal, ihraç edilmesi açısından ülkeler arasında enerji politikalarının oluşmasını sağlamıştır (Şimşek, Pençe, Tuncer, & Güngör, 2019).

Enerji açısından dışa bağımlı olma durumu ülkeler için ekonomik olarak olumsuz bir etki yaratmaktadır. Bu durum ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönlendirmiştir. 1990'lı yıllarda tüm dünyada birincil enerji kaynağı olan fosil yakıtların çevre ve sağlık açılarından olumsuz etkilerinin olduğunun anlaşılması ve fosil kaynakların yoğun kullanıma bağlı rezervlerinin azalması gibi nedenler yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimin nedenlerindendir (Saraçoğlu, 2017).

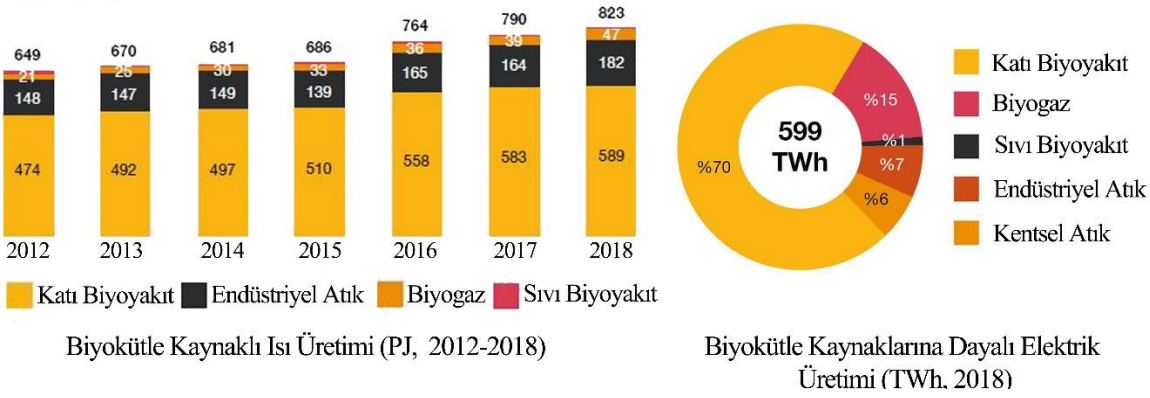
İklim değişikliği ve sera gazlarının dünya üzerindeki etkisinin belirlenmesi ile çeşitli raporların yayımlandığı görülmektedir. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) girişimi ile 103 bilim insanının 6000'i aşan çalışmasının derlenmesiyle bir rapor yayımlanmıştır. Dünya hükümetleri tarafından Güney Kore'de 8 Ağustos 2019'da onaylanan raporun bu konudaki en kapsamlı ve güncel çalışma olduğu kabul edilmektedir. Bu rapora göre sanayileşme öncesi döneme göre atmosferin 1,5 °C ısınmasının geri dönüşü olmayan sonuçlara yol açacağı öngörülmektedir. Mevcut durumda sanayileşme öncesi duruma göre atmosferin 1 °C ısınmış olduğu bilinmektedir. Sera gazı salımının mevcut şekilde devam etmesi durumunda 2030-2052 yılları arasında 1,5 °C sınırının aşılacağı düşünülmekteyken bu durumun düzeltilebilmesi için bu kapsamda 2030 yılına kadar 2010 yılına göre sera gazı salımının % 45 azaltılması ve 2050 yılında ise sıfır salımın olması gerekmektedir. Rapora göre; şu anki mevcut durumda

insanların yetersiz beslendiği düşünülse de iklim krizi sürecinde varolan arazilerin verimli kullanılması sonucu insanlar için gerekli besin sağlanabilecektir. Biyokütle enerjisi üretimini sağlaması açısından bunun yeterli olacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda biyokütle enerjisine özellikle önem verilmesi gerektiği sonucu ile karşılaşılmaktadır (İlleez, 2020).

Eskiden beri kullanılan fakat yeni klasik kaynaklardan modern kaynaklara geçiş yapmaya çalışılan biyokütlenin kullanımı giderek artmaktadır (Şekil 2.12). Sadece ısı enerjisi değil elektrik enerjisi üretimi için de kullanılmaya çalışılmaktadır (Şekil 2.13). Bu kapsamda, üçüncü petrol krizinden önce de ticari anlamda yaygın olan biyokütle; hayvan, bitki artıkları, şehir çöpleri ile elektrik enerjisi için değerlendirilmeye çalışılmış, birçok yerde yeni biyokütle kaynakları elde edebilmek için yeni bitki türleri üzerine çalışmalar yapılmıştır (Ersoy, 1997).

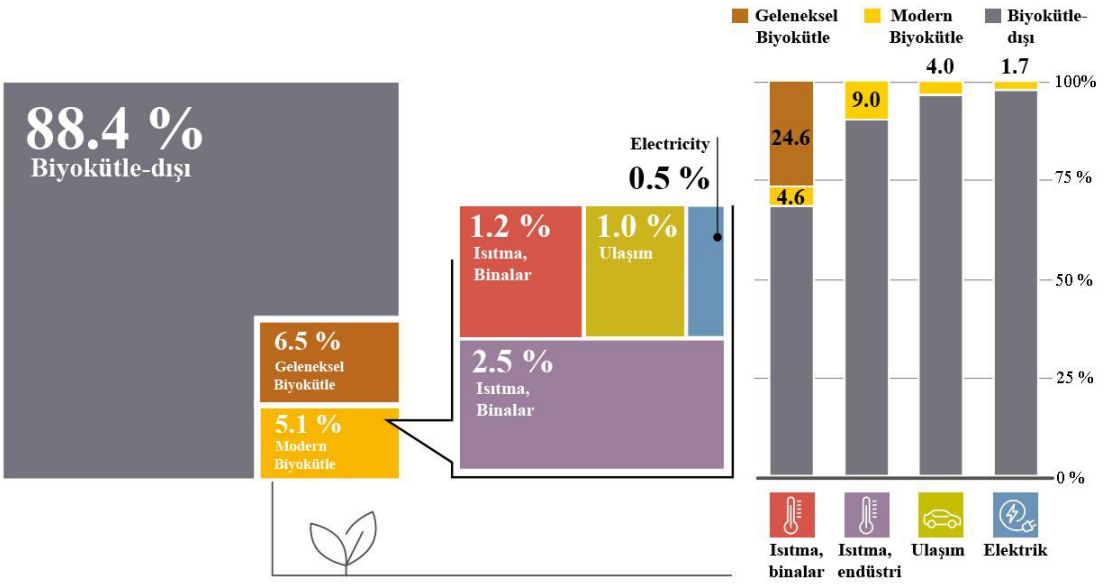


Şekil 2. 12. Yıllara göre biyokütle kurulu gücü, GW, 2005-2019 (pwc.com.tr, 2021).



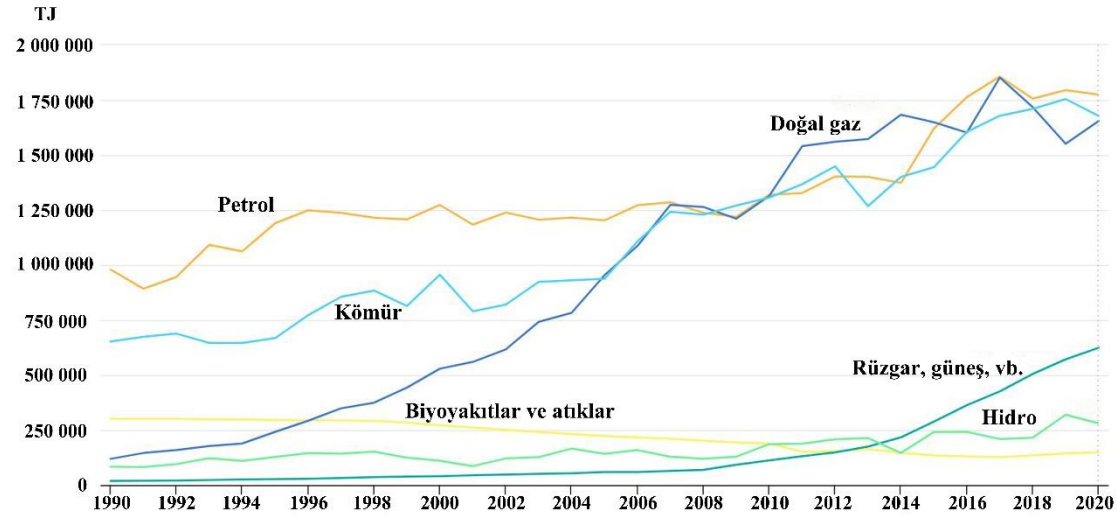
Şekil 2. 13. Biyokütle kaynaklı ısı ve elektrik üretimi (pwc.com.tr, 2021).

Geleneksel ve modern biyokütle kaynakları kullanılarak üretilen biyokütle enerjisi dünyada ulaşım, konut, endüstri gibi birçok sektörde ısı ve elektrik üretimi için harcanmaktadır (Şekil 2.14).



Şekil 2. 14. Biyoenerjinin toplam nihai enerji tüketimindeki yeri ve son kullanım sektörüne göre tahmini payları, 2019 (REN21).

Geçmişte Türkiye'de bitki, hayvan atıkları, tezek ve odun gibi klasik biyokütle kaynakları konutlarda ısınma, yemek pişirme gibi amaçlarla çokça kullanılmıştır. Ancak bu durum belli bir zaman sonrasında kontrolsüz ağaç kesimlerine ve ormanların tahribatlarına neden olmuştur. Çözüm olarak sadece bu amaçla kullanılmak üzere enerji ormanlarının oluşturulmasına karar verilmiştir (Ersoy, 1997). Hayvancılığın ve ormanların azalmasıyla doğalgaz, kömür gibi ithal kaynakların tüketimi artmıştır. Ülke ekonomisinin iyileştirilmesi ve çevrenin korunması adına daha sonrasında 1993 yılından sonra modern biyokütle kaynaklarına geçilmeye başlanmıştır (Ölçüm, 2006). Isınma amaçlı kullanılan biyokütlenin elektrik enerjisi üretimi konusunda tekrar sorgulanması 1980'lerde biyogazdan enerji üretiminin bir alternatif olarak düşünülmesine rağmen ekonomik görülmemesi nedeniyle kullanılmamıştır. Çöp depolama alanlarındaki patlamalar gibi durumlar biyokütle enerjisinin kamu ve üniversite kurumlarınca yeniden sorgulanmasına neden olmuştur (Ersoy, 1997). Türkiye'de 1990-2020 yılları arasında kaynağa göre enerji arzı Şekil 2.15'te gösterilmektedir. Fosil kaynakların kullanımında artış görülürken biyoyakıtlar ve atıkların kullanımda azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 2. 15. 1990-2020 yılları arasında Türkiye'de kaynağa göre toplam enerji arzı (IEA).

2.2.2. Biyokütle Enerjisinin Binalara Bütünleştirilmesi

Biyokütle enerjisi, kullanım açısından genel olarak güneş ve rüzgârdan sonra gelen üçüncü enerji kaynağıdır. Biyokütle eskiden beri Türkiye'de ve dünyada aktif olarak klasik biyokütle kaynakları ile kullanılmaktadır. Biyokütle kullanımı için çeşitli sistemler geliştirilmeye, farklı sektörlerde kullanımının artmasına yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Geçmişten günümüze yapı sektöründe de klasik biyokütle kaynakları halen kullanılmaktadır. Bina sayısının artması, işlevlerinin genişlemesi ve kamusal binaların oluşturulmasıyla birlikte biyokütle kazanı, kojenerasyon gibi yeni sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Ortaya çıkan biyokütlenin dönüştürülmesi ile oluşan biyogaz, biyoyakıt gibi yakıldığında enerjisi fazla olan ara ürünlerle ve enerji bitkileri, kentsel artıklar gibi modern kaynaklarla birlikte kullanılmaktadır.

Biyokütle enerjisi konutlarda elektrik üretimi, ısınma ve su ısıtma gibi amaçlarla farklı yöntemler ile birlikte doğrudan veya yardımcı kaynaktır. Binalarda biyokütle kaynağından: havasız çürütme yöntemi ile elde edilen biyogaz elektrik üretiminde, piroliz yöntemi ile açığa çıkan etanol ısınma amaçlı, doğrudan yakma yöntemi ile oluşan hidrojen ise su ısıtma amaçlı kullanılmaktadır (Sohrabi, 2015).

Biyokütlenin kullanımı, birçok araştırma projesinde enerjinin verimli kullanılması, kendi içinde dönüştürülebilmesi, atıkların değerlendirilebilmesi açılarından önemli bulunmaktadır.

2.2.3. Bina Kabuğunda Algler ve Fotobiyoreaktörlerin Kullanımı

Algler dünyanın ilk varoluşundan beri fotosentez yaparak atmosferin oksijen ve karbondioksit dengesini sağlamaktadır (Şekil 2.16). Yaklaşık 3,5 milyar yıl önce atmosferi oluşturmaya başlayan tek hücreli canlılar (prokaryotik) alglerle başlayan süreç yaklaşık 1,5 milyar yıl önce prokaryotik canlıların çok hücreli (ökaryotik) canlıları oluşturma sürecini kapsayan endosimbiyoz teorisiyle devam etmiştir. Ökaryotik canlıların fotosentez evrimi ile evren oksijenli atmosfer içinde çok hücreli ve organizmaların oluşumu için uygun bir yer haline gelmiştir. Bu açıdan algler şimdiki farklı canlı türlerinin oluşumunda başlangıç kabul edilebilir (Öncel, Köse, & Öncel, 2016).

Algler; mikroalg ve makroalgler olarak sınıflandırılmaktadır. Makroalgler deniz yosunu olarak bilinmektedir. Mikroalgler ise hızlı büyümeleri ve zengin lipit içeriğine sahip olmaları nedeniyle enerji üretiminde daha aktif rol oynarlar. Mikroalgler; yaprak, kök gibi kısımları barındırmayan mikroskobik, ilkel bitkiler olarak tanımlanmaktadır. Diğer biyokütle kaynaklarına göre yakıt üretiminde daha verimli olan mikroalgler, farklı renklere sahiptir. Yeşil mikroalglerin enerji üretimine katkısının daha fazla olduğu bilinmektedir (Öncel, Köse, & Öncel, 2020).

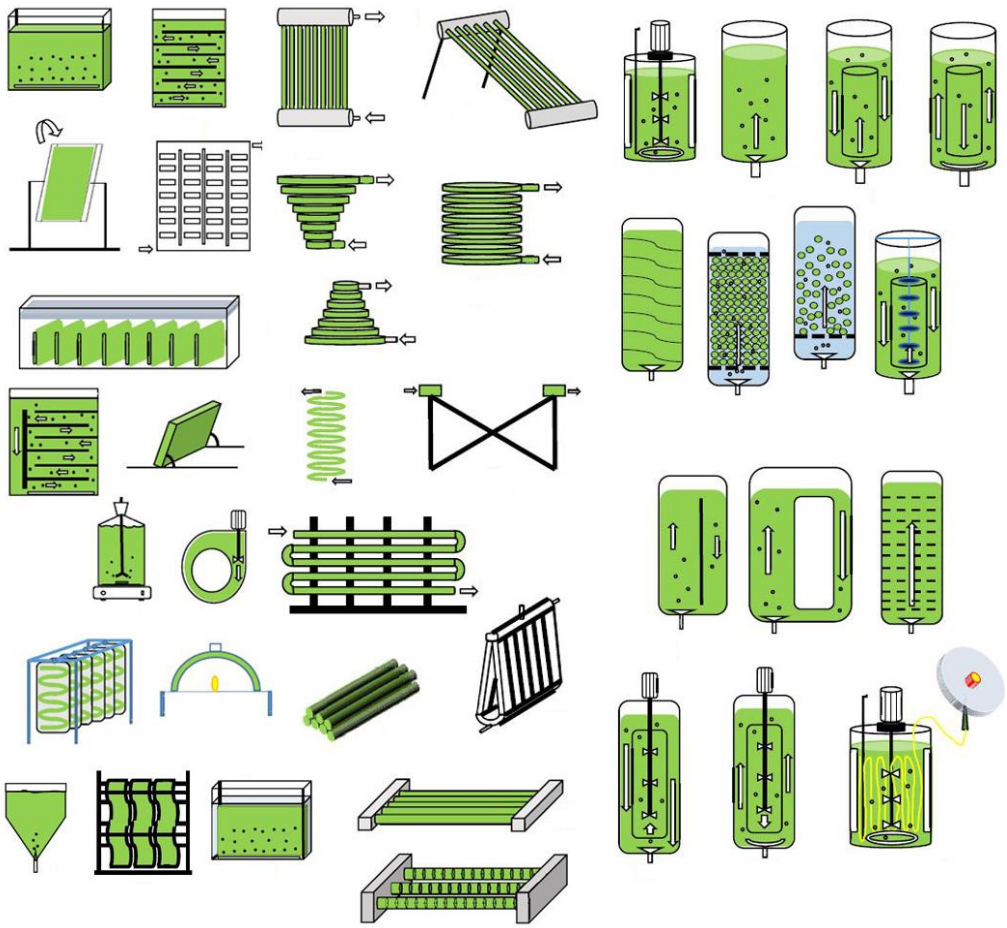


Şekil 2. 16. Algler, yosunlar (Kükdamar, 2017).

Algler; açık ve kapalı sistemlerde üretilebilmektedir (Şekil 2.17). Kullanımı 1950'lere dayanan açık sistemler, en basit ve kolay yöntemdir. Genellikle ticari ve endüstriyel amaçlı kullanılır. En yaygın kullanılan türleri; büyük yarış pisti havuzlar (RWP) ve dairesel havuzlardır. Kapalı sistemler ise; açık sistemlerin dezavantajlarını gidermek için alternatif bir yöntem olarak oluşturulmuştur. Geometrilerine göre adlandırılan kapalı sistemler; düz panel, tübüler ve dikey kolon gibi farklı biçimlerde kullanılabilmektedir (Şekil 2.18).



Şekil 2. 17. Kapalı ve açık alg üretim sistemleri (Kükdamar, 2017).



Şekil 2. 18. Farklı fotobiyoreaktör sistemler (Öncel, Köse, & Öncel, 2016).

Açık ve kapalı alg üretim sistemlerinin avantaj ve dezavantajlarını Çizelge 2.8'deki gibi sıralamak mümkündür.

Çizelge 2. 8. Alglerin yetişmesini etkileyen ölçütler (Pekmezci, 2019 kaynağından düzenlenmiştir).

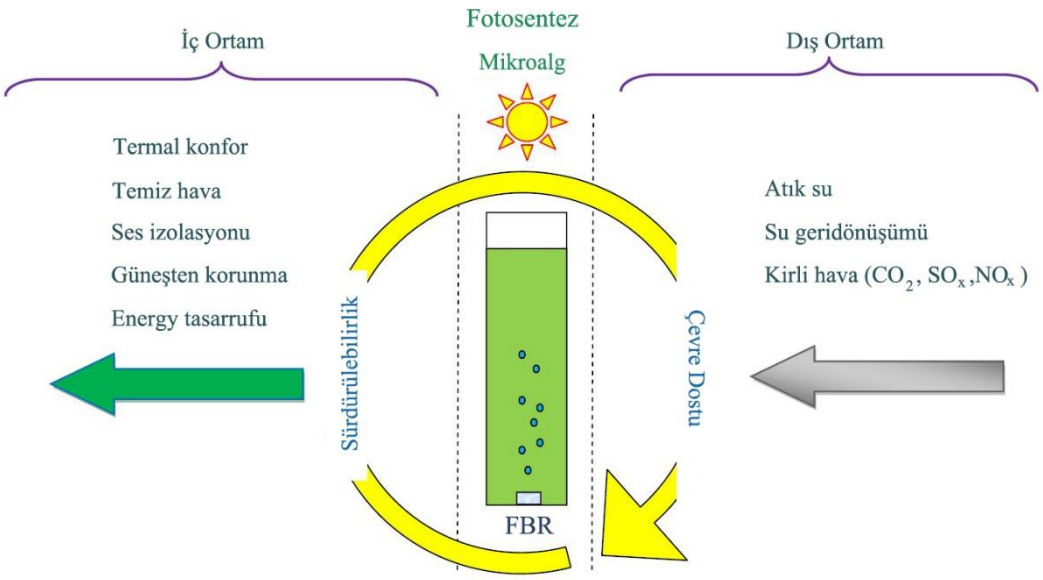
Parametre	Etkisi
Işık	-Mikroalglerin fotosentezinin temelidir. -Maruz kalınan ışık miktarı, ışığın dalga boyu, hücre yoğunluğu; ışıktan etkilenen FBR'nin geometrisi (kalınlığı, ışık iletimi, malzemenin yansıtıcılığı), dar ışık döngüsü de alglerin büyüme sürecinde etkilidir.
Sıcaklık	-Mikroalglerin büyümesinde etkin bir ölçüt olup alglerin büyümesi genellikle doğru orantılı bir ilişki içerisindedir. -Her mikroralg türünün kendine ait bir optimum sıcaklık aralığı bulunmakta olup bu sıcaklık aralığında verimliliği en fazladır.
CO_2 kullanımı	-Algler fotosentez sayesinde CO_2'i kullanarak atmosferdeki sera gazı etkisini azaltmaktadır. Ortamdaki CO_2 miktarı sistem için belirleyici bir faktördür. -CO_2'in sudaki çözünürlüğü azdır. Bu nedenle sisteme belli aralıkla verilerek algler tarafından kullanımı sağlandıktan sonra devamı getirilmelidir. Bunun nedeni, fazla CO_2'in su ile tepkimesi sonucu kültür ortamında pH'ın düşebilme ihtimalidir.
O_2 Giderimi	-O_2 alglerin fotosentezi sonucu çıkan sonuç ürünüdür. -Ortamdaki O_2 belli aralıklarla ortamdan uzaklaştırılmalıdır, fazlası sistem için büyümeyi engelleyen bir unsur halini alır.
Su ve Tuzluluk	-Mikroalgler türlerine göre; tatlı, tuzlu, acı ve hatta atık sularda da yaşayabilmektedir. Tatlı ve tuzlu sular genel olarak daha iyi yetiştikleri ortamlardır. -Mikroalgler için tuzluluk oranı biyokütle üretimine etkisi açısından önemlidir. Bu oran her alg türü için farklı bir optimum değer aralığındadır. -Atık suların kullanılması, alglerin besinlerini sudan maliyeti artırmayacak şekilde karşılamasını sağlar. Ayrıca atık su da arıtılmış olur. Ancak atık sular, algler için istenmeyen yosun türlerinin ortamda büyümesine yol açabilmektedir.
Karıştırma	-Isı, ışık ve (O_2 ve CO_2) gazların homojen dağılmasını sağlar. -Mekanik karıştırıcılar, pompalar, gaz enjeksiyonları bu işlem için sistemde kullanılmaktadır.
Besin	-Mikroalglerin yetişme ortamı doğal veya yapay olabilmektedir. Doğal ortam olması maliyeti düşürürken alglerin büyümesini sağlayan azot ve fosforu hangi bileşikten aldığı önemlidir. Çünkü, bazı maddeler tepkimeye girdiğinde ortamın pH'ını düşürebilmektedir.
pH	-Mikroalglerde her türün yaşayabilmesi için optimum bir pH aralığı bulunmaktadır. Ortamdaki pH ise mikroalgin kullandığı besine bağlıdır.
Yer Seçimi ve Yönlenme	-Mikroalglerin yetiştirildiği FBR sistemlerinin malzemesi ve geometrisi sistemin verimliliği açısından önemlidir.
Temizlik	-FBR sisteminin malzemesine göre sistemin işleyişini aksatmayacak şekilde seçilmelidir.

Fotobiyoreaktörlerde (kapalı sistem), alglerin yetiştirilebilmesi için gerekli koşulları Çizelge 2.9'daki gibi özetleyebiliriz. Bu koşullar alg türlerine göre değişiklik gösterebilmektedir.

Çizelge 2. 9. Alglerin üretiminde kullanılan açık ve kapalı (fotobiyoreaktör) sistemlerin avantaj ve dezavantajları (Pekmezci, 2019 kaynağından düzenlenmiştir).

	Avantajları	**Dezavantajlar**
Açık Sistemler	-Kurulum ve kullanım maliyetleri daha uygundur.	-Çok fazla alana ihtiyaç duyar.
	-Alglerin kitlesel ekimine elverişlidir.	-Kirlenmeye ve enfeksiyona müsaittir.
	-Daha konsantre alg biyokütlesi üretimi sağlar.	-Sıcaklık ve türlerin kontrol edilmesi zordur.
		-Buharlaşmaya dayalı su kaybı yaşanabilir.
		-Kontrolsüz ışık kullanımı mevcuttur.
		-CO_2 kayıpları takip edilemez.
		-Koşullardan dolayı sadece belli alg türlerini yetiştirebilirler.
		-Hava koşullarından etkilendikleri için üretim kesintisiz yapılamamaktadır.
		-Verimlilikleri düşüktür.
		-Su geçirimsiz plastik, beton, PVC gibi malzemelerden yapılmaktadırlar.
Kapalı Sistemler (Fotobiyoreaktörler)	**Avantajları**	**Dezavantajlar**
	-Doğal ışık ve yapay ışık kullanabilmektedir.	-Her mikroalag için optimum bir sıcaklık aralığı mevcuttur bu da sistemin verimini etkiler.
	-Diğer sistemlere göre 5-10 kat daha verimlidir.	-Mikroalgler mevsimsel, günlük sıcaklık değişimlerinden de etkilenmektedir.
	-Güneş ışınlarını sınırlı bir yüzeye üzerine dağıtarak aldığı için enerji ve besin emilimi daha fazladır.	-Mikroalglerin sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi için gölgeleme elemanları ve soğutma sistemleri kullanmak gerekebilir.
	-Az miktarda su kullanır.	- Sistemin sürekli doğal ışık olan güneşe maruz kalması da sanılanın aksine üretimi düşüren bir durumdur.
	-Kontrol edilebilmesi daha kolay olduğu için büyüme ve enerji üretim hızı fazladır.	-Fotobiyoreaktör tasarımı verimlilik için önemlidir.
	-Farklı mikroalg türlerinin yetiştirilmesi için uygun ortam sağlanabilmektedir.	-Yüksek maliyetlidir.
	Alg yetiştiriciliğinde yüzey/ hacim oranı önemlidir. Yüzey/hacim oranının yüksek olması olumludur.	

Fotobiyoreaktör sistemler, mikroalg temelli fotosentez prensibine göre çalışmaktadır. Fotosentez döngüsünde iç ortam ve dış ortam açısından çeşitli katkıları bulunmaktadır (Şekil 2.19).



Şekil 2. 19. Fotobiyoreaktörün çalışma prensibi (Öncel, Köse & Öncel, 2020).

Fotobiyoreaktör sistemler, binalarda sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda bina kabuğunda enerji üretimini sağlamak ve üretilen biyoenerjinin elektrik ve ısı ihtiyacını da karşılaması açısından önemlidir.

Mikroalg ve yapılı çevre arasında simbiyotik bir ilişki mümkündür. Bu ilişkiyi etkileyen sınırlayıcı faktörler; mikroalg türleri, mikroalglerin kullanım amacı, yetiştirme ortamı ve yetiştirme sistemidir. Mikroalglerin büyümesi için su dolu ortamlara ihtiyaç duyulmaktadır. Binalara bütünleştirilmesi için de özel olarak planlanmış kapalı sistemlerin oluşturulması gerekmektedir (Köktürk, Ünal & Tokuç, 2018).

Fotobiyoreaktör (FBR/PBR) sistemlerin binaya bütünleştirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken pek çok faktör bulunmaktadır. Bunlar arasında; yapısal (binaya ek yükler, kurulum sistemi ve kurulum kolaylığı gibi), mimari (FBR tipine göre entegrasyon estetiği, tasarımın esnekliği, modülerlik, boyut koordinasyonu, çevresel koşullara uyum, seri üretim, seri özelleştirme ve etkileşim gibi), su filtreleme (musluk suyu veya sulama gibi), iklim değişikliğini azaltma (türlerin CO_2 tutma potansiyeli ve

FBR türü gibi) ve ekonomik (değer fayda analizi gibi) faktörler sayılabilir. Alglerin fotosentez sürecine de bağlı olarak termal ve görsel konfor, yenilenebilir enerji üretimi sonucu çıkan yan ürünler ve CO_2 tutma potansiyeli önemlidir. Dış mekân mikroalg üretimi için en yaygın dört tip FBR kullanılır. Bunlar düz panel, boru, kolon ve polikarbonat torbalardır. Fotobiyoreaktör tasarımındaki önemli noktalar aşağıda belirtmektedir (Köktürk, Ünal & Tokuç , 2018). Bunlar:

- Işık kaynağı ve aydınlatma stratejisi
- Havalandırma ve karıştırma
- Bina malzemeleri ve reaktör geometrisi
- Gaz değişimi ve gazdan arındırma
- Kontrol elementleridir.

FBR'lerin binalarda uygulanmasının avantaj ve dezavantajlarına bakılırsa (Pekmezci, 2019 ; Wilkinson, Stoller, Ralph ve Hamdorf, 2016);

-Sera gazlarının etkisini azaltmaları,
-Atmosferdeki oksijen miktarını artırmaları
-Bina kabuğunda görsel açıdan bir etki yaratmaları
-Gürültü miktarını azaltmaları gibi nedenlerden olumlu bulunmaktadır.
-Mevcut sisteme bütünleşmiş ikinci bir katman olarak çalıştığında taşıyıcı sisteme ekstra yük getirebilmektedir.
-Görsel bir etki oluşturmasının yanında konumlandığı yere alglerin sistemde yoğunluğunun artması ile kullanıcının görüşünü de engelleyebilmektedir.
-FBR gelişmekte olan bir sistem olduğu için sızıntı olasılığı ve sistemin temizlenebilmesi gibi nedenleriyle insan sağlığını etkileyebilir. Ayrıca bazı algler insanlar ve hayvanlar için potansiyel olarak zararlı olan toksinler üretebilmektedir.
-Uygulandığı yerde içerisindeki alglerin buradaki iklim özelliklerine ve güneş ışınımına uyum sağlayabilmesi gerekmektedir, bunun için iklim özelliklerine uygun alg seçimi yapılması önemlidir. Aksi halde potansiyel kirlenme ve alg ötrofikasyonu meydana gelebilir. Bu da kötü kokuya sebep olabilir.
-Maliyetli bir sistemdir. Sistemin kontrolü için güçlü mekanik altyapıya ve bunu sağlayacak hacme ihtiyaç duyulmaktadır. Elde edilen enerjinin depolanması veya şehir şebekesine verilebilmesi için de mekanik alt yapı gerekmektedir.

2.2.4. Örnek Projeler

Biyokütle enerjisinin elde edilmesinde kullanılan alglerin; kentsel ve bina ölçeğinde kullanımı mevcut olup bina kabuğuna bütünleştirilmesi konusunda birçok çalışma, yarışma ve araştırma projesi bulunmaktadır. Bu bölümde bunlar; kentsel tasarım örnekleri, yenileme projeleri ve yeni tasarım projeler olarak üç başlık altında incelenecektir.

2.2.4.1. Kentsel Tasarım Örnekleri

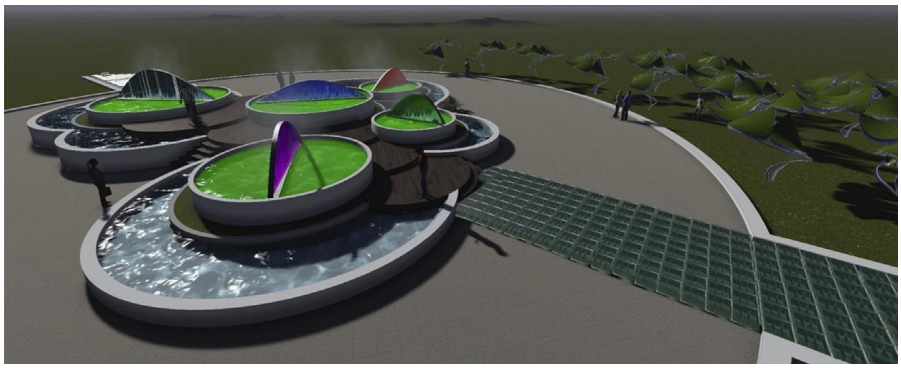
Biyokütle enerjisinin algler vasıtasıyla kentsel alanda kullanımına yönelik geliştirilen örnek çalışmalar Çizelge 2.9 – Çizelge 2.19 arasında verilmektedir.

Çizelge 2. 9. Kentsel tasarım örneği: Arteoli.

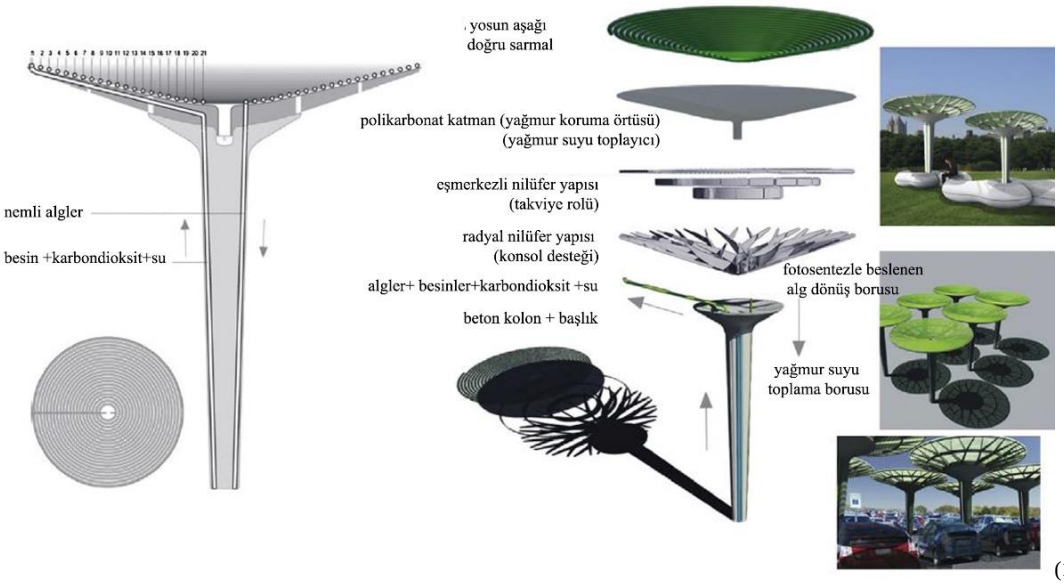
Adı: Arteoli **Tasarım Ekibi:** Cloud Colective	**Konum:** İsviçre, Cenere kenti yakınlarında bir otoyol kenarı
Otoyol üzerindeki geçitin kenarına uygulanmıştır. Cenevre'de düzenlenen bir bahçe festivalinin parçası olarak yapılmıştır. Arabaların neden olduğu kirliliği kentsel tarıma dönüştürerek otoyoldaki fazla karbondioksiti güneş ışığıyla birlikte kullanan bir yosun bahçesi üretmişlerdir.[1]  (2)	

[1] (futurism.com)
[2] (medium.com)

Çizelge 2. 10. Kentsel tasarım örneği: Kentsel Çeşme.

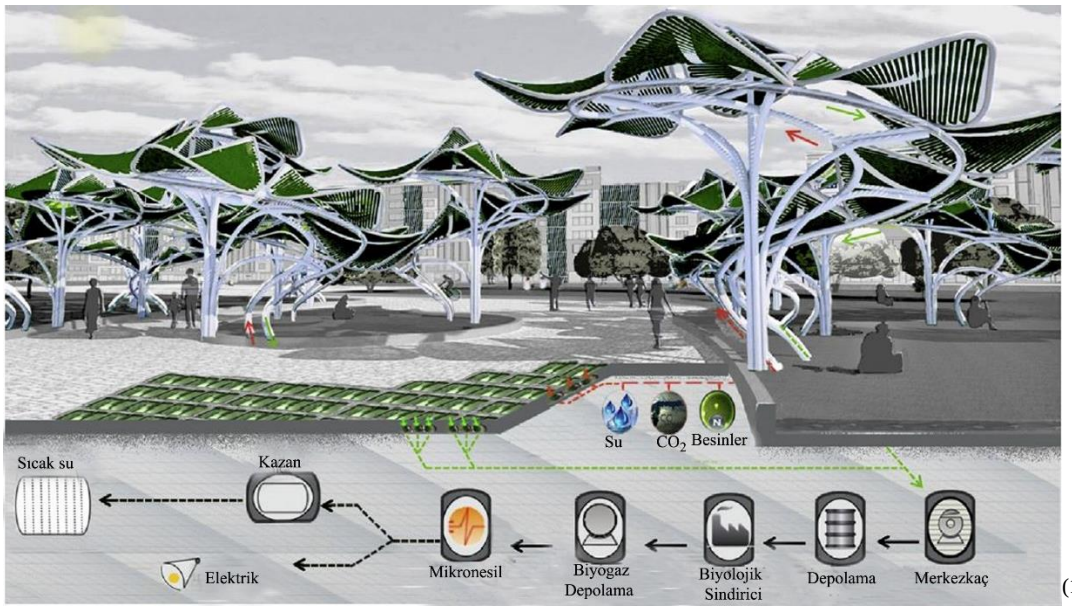
Adı: Kentsel Çeşme. **Tasarım Ekibi:** Courtesy of R. Crevera, Cervera and Pioz Architects.
Alglerin, açık sistemlerden yarış pisti havuzlar (RWP) içerisinde yetiştirilmesi ve kentsel alanda konumlandırılarak kent yaşamına katkı sağlaması öngörülen bir çalışmadır. [1]  (1)

Çizelge 2. 11. Kentsel tasarım örneği: Park Kanopisi.

Adı: Park Kanopisi **Tasarım Ekibi:** Courtesy of R. Crevera, Cervera and Pioz Architects.
Araçlar için gölgeleme elemanı olarak tasarlanan fotobiyoreaktör sistemin, üzerine gelen güneş ışığını kullanarak kentsel çevreye katkı sağlaması beklenmektedir[1]  (1)

[1] (Öncel, Köse, & Öncel, 2016)

Çizelge 2. 12. Kentsel tasarım örneği: Yapay Ağaçlar.

Adı: Yapay ağaçlar **Tasarım Ekibi:** Courtesy of R. Crevera, Cervera and Pioz Architects.
Besin, CO_2 ve su kentsel zeminden iletilecek şekilde ağaç formunda tasarlanan fotobiyoreaktör sistem, kentsel alan için elektrik, sıcak su üretimini hedeflemektedir.[1]  (1)

Çizelge 2. 13. Kentsel tasarım örneği: Liquid 3.

Adı: Liquid 3 **Tasarım Ekibi:** Belgrad Üniversitesi	**Konum:**Sırbistan
Belgrad Üniversitesi öğrencileri tarafından tasarlanmış kentsel oturma birimidir. İnsanlar arası etkileşimi sağlamakla birlikte; insanların telefon, bilgisayar gibi aletlerini sarj edebilecekleri bir girişe sahiptir.[2] (2)	 

[1] (Öncel, Köse, & Öncel, 2016)
[2] (liquid3.rs)

Çizelge 2. 14. Kentsel tasarım örneği: Algaevator.

Adı: Algaevator

Tasarım Ekibi: Jie Zhang ve Tyler Stevermer

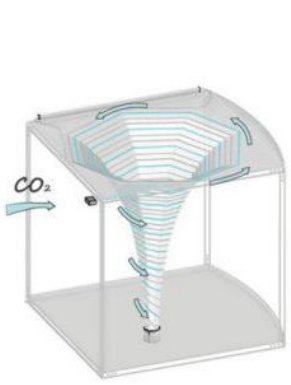
Burglars of Transnatural Transparency (BoTT) Lab pavilyonunun bir parçası olarak oluşturulmuştur. Yerçekimi tabanlı bir alg fotobiyoreaktör olan Algaevator; şeffaf, su geçirmez ve katmanlı bir zar arasında iç içe geçmiş üç ayrı spiral içerir. Spiral içerisindeki akışın yavaş olması istenmekte olup yavaş hareketin, karbondioksit ve güneş ışığına daha fazla erişim sağlayarak alg üretimini artıracağı düşünülmektedir. Algaevator'ın ilk spirali, çevreden gelen karbon dioksiti, alglerle dolu bir spirale doğru hareket eden spirale düşük enerjili bir pompa aracılığıyla veriyor. Kabarcıklar, fotosentez için karbondioksit ile birleştirilen algleri, alglerin çevreye oksijen gazı atabildiği sarmalın tepesine hafifçe iter. Ardından yeni döngü için sarmalın dibine geri iner. Ayrıca, Algeavator yağmur suyunu da toplayabilmektedir.[1]



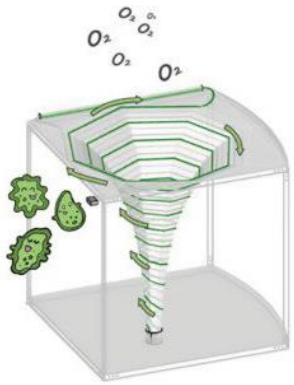
(1)



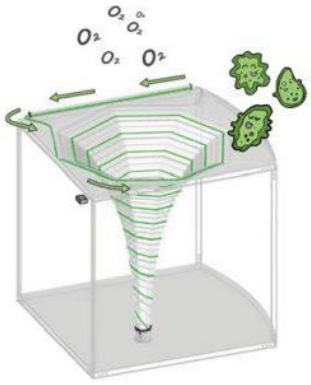
(1)



Sarmal 1: Karbondioksit



Sarmal 2: Alg yükselişi



Sarmal 3: Alg düşüşü

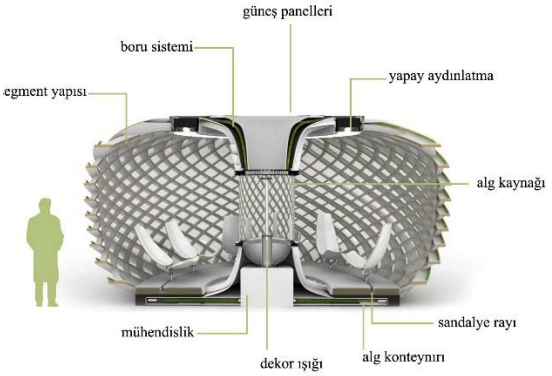
(1)

[1] (inhabitat.com)

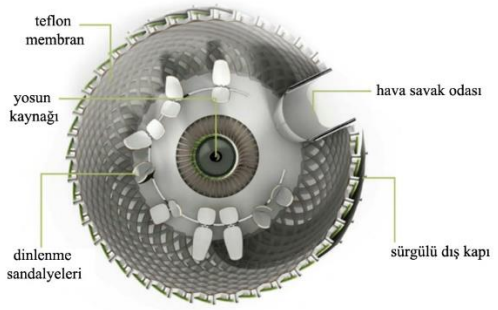
Çizelge 2. 15. Kentsel tasarım örneği: Chlorella Oksijen Pavilyonu.

Adı: Chlorella Oksijen Pavilyonu **Tasarım Ekibi:** Adam Miklosi	**Yıl:** 2012

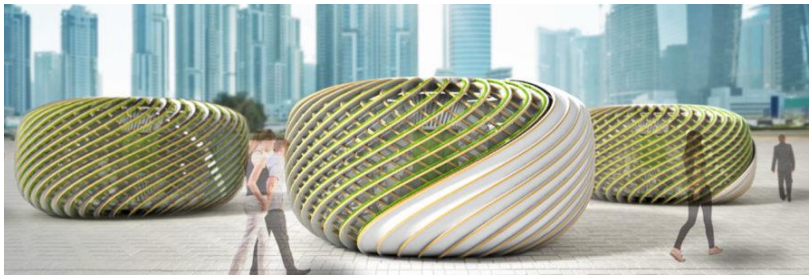
Simbiyotik yaşamı öngören Pavilyon, insanların temiz, sağlıklı havaya erişebilmesini sağlamak için şehir içinde hareket ettirilebilir, portatif olarak tasarlanmıştır. İçerisinde 5 m^3 su ve yosunla doldurulmuş bir fotobiyoreaktör sistem bulunmaktadır. Bu sistem, içi ve dışı boyunca çalışan, güneşten enerji emen ve merkezi bir fiskiye yoluyla sonucunda elde ettiği oksijeni boşluğa veren alglerle doludur. Sistem de fotosentezi destekleyen yapay aydınlatma için güç sağlayan güneş panelleri de bulunmaktadır. Dışarıdaki kirli havanın içerisiye girmeden doğrudan alglere iletilmesi sağlanmaktadır. Kayın ağacından ve yalıtıcı bir filmden oluşmaktadır.Gürültüyü ve görsel uyarımı azaltmak için de yarı şeffaf teflon membranlar kullanılmıştır.[1] İnsanların sıcak havanın tadını çıkardığı saunalara veya kullanıcıların güneş ışığının psikolojik faydasını hissettikleri aydınlık odalara benzer bir deneyim yaşaması hedeflenmektedir. Bu pavilyonda oksijenin iyileştirici etkiyi desteklediği ve kullanıcıları rahatlattığı düşünülmektedir.[2]

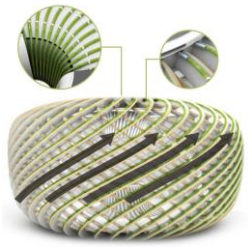


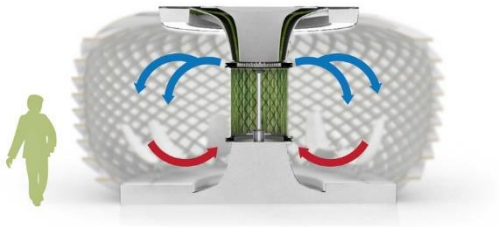
(2)



(1)









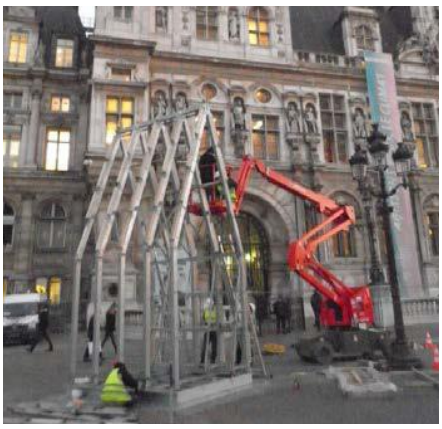
(1)

[1] (inhabitat.com)
[2] (adammiklosi.com)

Çizelge 2. 16. Kentsel tasarım örneği: Alg Kubbesi.

Adı: Alg Kubbesi (Algae Dome) **Tasarım Ekibi:** Aleksander Wadas Studio	**Konum:** Kopenhang, Danimarka. **Yıl:** 2017
CHART Sanat Fuarı için yapılmış olan kubbe, mikroalglerin geçtiği 320 m şeffaf tüpten oluşmaktadır. Mikroalg, delikli bir merkez aracılığıyla atmosferdeki CO_2'yi emer ve fotosentez yoluyla kütlesini çoğaltmaktadır. Zamanla rengini ve yoğunluğunu değiştirerek açık yeşilden koyuya dönüşmektedir. Çalışmanın alg üretim sürecinde eğitici ve bilgilendirici bir rol oynarken, sosyal etkileşim için bir alan oluşturması istenmiştir. Üç günlük etkinlik sürecinde sistem ile 450 kg mikroalg üretilmiştir.[1]   (1)	

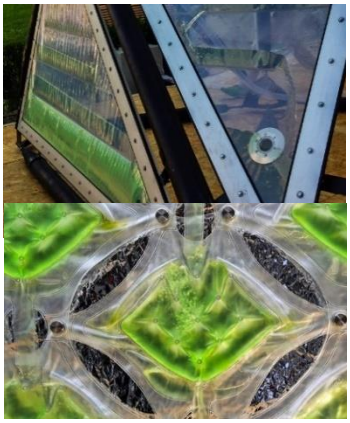
Çizelge 2. 17. Kentsel tasarım örneği: Algonamad.

Adı: Algonamad **Tasarım Ekibi:** XTU Architecture	**Konum:**Fransa
XTU tarafından tasarlanmış olan Algonomad, bina kabuklarında kullanılması hedeflenen biyopanellerin, insanlar tarafından nasıl tepki aldığını görebilmeyi ve insanları bu konuda bilgilendirmeyi hedeflemektedir.[2]    (2)	

[1] (architizer.com)
[2] (xtuarchitects.com)

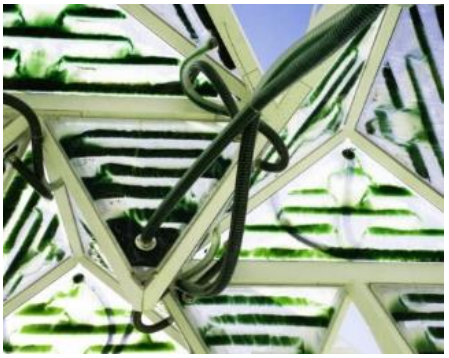
Çizelge 2. 18. Kentsel tasarım örneği: Urban Algae Canopy.

Adı: Urban Algae Canopy **Tasarım Ekibi:** ecoLogicStudio, Cesare Griffa	**Konum**: Milano **Yıl** :2015
Geleneksel ETFE sisteminin olanaklarının yeni bir yorumu olarak nitelendirilen çalışma, mikroalg kültürlerini ve gerçek zamanlı dijital yetiştirme protokollerini bütünleştiren dünyanın ilk biyo-dijital kanopisinin 1:1 ölçekli bir prototipidir. Güneş yoğun bir şekilde geldiğinde algler fotosentez yapar ve büyür, böylece kanopinin şeffaflığı azalır ve gölgeleme potansiyeli artar. Enerji, su ve CO_2 akışları; hava koşullarına ve ziyaretçilerin hareketlerine uyum sağlayacak şekilde düzenlenmiştir.[1]	



(1)

Çizelge 2. 19. Kentsel tasarım örneği: Urban Algae Folly.

Adı: Urban Algae Folly **Tasarım Ekibi:** ecoLogicStudio, Cesare Griffa	**Konum**: Milano **Yıl** :2015
EXPO Milano 2015 Future Food District'in kamusal meydanında sergilenen mikroalg esaslı etkileşimli bir pavilyondur. Urban Algae Folly'nin etkili yarı saydamlığı, rengi, yansıtıcılığı, sesi ve üretkenliği, mikroalgler, insanlar ve dijital kontrol sistemlerinin simbiyotik ilişkisinin sonucudur. Mikroalglerin hızla büyümesi yüzeydeki saydamlığı azaltarak mimari kabuğun gölgeleme potansiyelini artırmaktadır.[2]	

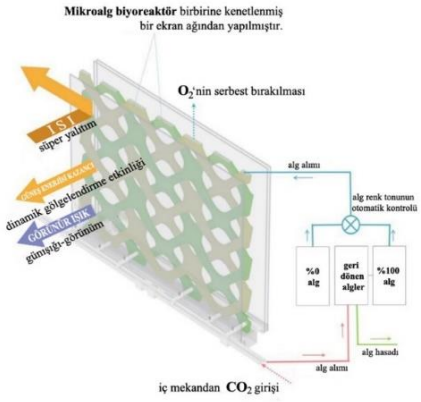


(2)

[1] (archinect.com)
[2] (ecologicstudio.com)

2.2.4.2. Yenileme Projeleri

Mevcut binaların enerji kullanımının azaltılmasına yönelik iyileştirme / yenileme çalışmaları bulunmaktadır. Bu kapsamda mevcut binalara uygulanması üzerine çalışılan fotobiyoreaktör esaslı çalışmalar aşağıda Çizelge 2.20 – Çizelge 2.25 arasında verilmektedir.

Çizelge 2. 20. Biyokromik Pencere çalışması.

Adı: Yüksek Performanslı Biyokromik Pencere-Karbon Nötre Doğru	**Tasarım Ekibi:** Kyoung-Hee ve ekibi **Çalışmanın Türü:** Araştırma Projesi **Uygulanması Öngörülen Bina Türü:** Ofis Binaları
İç mekan hava kalitesinin çalışanların verimliliğini etkilediği ofis yapılarında (Özdamar & Umaroğulları, 2017) 1980'den önce yapılan ofis binalarının pencerelerine çalışma kapsamında önerilen içleri mikroalg kültürü ile dolu ağa benzetilen sistemin eklenmesi hedeflenmektedir. Bu sayede iç hava kalitesinde iyileşme ve mikroalglerin sistemde olmasından dolayı gölgeleme, ısı yalıtımı ve CO_2 emisyonunda azalma olacağı öngörülmektedir.[1]   (1)	

[1] (coaa.charlotte.edu).

Çizelge 2. 21. Alg Perdesi özellikleri.

Adı: Alg Perdesi (Algae Curtain), Biyokütle üretmek için bir tekstil fotosentez yoluyla yaşayan algler **Tasarım Ekibi:** Loop.pH	**Konum:** Lille / Fransa **Yapım Yılı**: 2012

2012 Energy Futures projesi'nde yer alan çalışmalardan biridir. Sistem şeffaf borulardan oluşmaktadır. Şeffaf boruların birbirlerine geçişi ile oluşturulan perde mekânın iç kısmında doğramanın önünde yer almaktadır.



(1)

Mikroalgler, 6 saatte bir hacimlerini ikiye katlayan, hızlı büyüyen canlılardır.Alglerin hektar başına verimi ayçiçeği ve kolza tohumlarına göre oldukça yüksektir. Biyokütleden yağ üretmek için yosun kullanılırsa dönüm başına yılda 75000 litre biyodizel üretilebilmektedir. Yosun kullanılarak üretilen biyodizel kükürt içermez, toksik değildir ve yüksek oranda biyolojik olarak parçalanabilir. Alg biyoyakıtları, şehir şebekesine güç sağlamak için yenilenebilir elektrik üretmek için kullanılabilir [1]



(1)

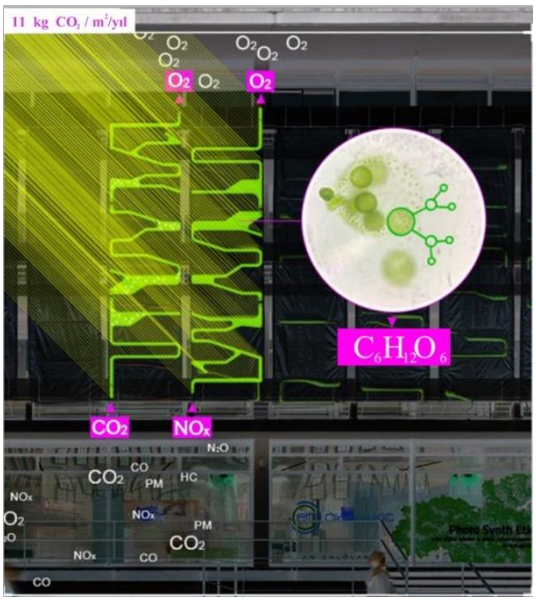
[1] (loop.ph).

Çizelge 2. 22. Biyodijital kentsel perde özellikleri.

Adı: Photo.Synth.Etica-Biyodijital Kentsel Perdeler **Tasarım Ekibi:** ecoLogicStudio	**Konum: -** İrlanda, Dublin'de "Dublin Castle" binasının ilk iki katının dış yüzeyi -Finlandiya, Helsinki'de House of Nobility sarayı dış yüzeyi

Biyodijital perdeler farklı formlarda, iki ülkede binaların yüzeylerine uygulanmıştır. 6 metre uzunluğundaki biyoplastik yüzeyden oluşmaktadır. İçerisinde farklı türlerde algler bulunmaktadır. Hava, yüzeyin alt kısımdan girerek içerisinde alglerin bulunduğu kanallara dolar. Algler içerisinde CO_2'in de bulunduğu kirli havayı temizler ve temizlenen havadaki O_2 miktarı artarak biyoplastik yüzeyin üst kısmından çıkış yapar. Sistem kanalları eğimli olup akış sağlanarak verimin arttırılması hedeflenmektedir.[1]

Dublin'deki bu uygulama ile günde neredeyse 20 büyük ağacın ürettiğine eşdeğer bir kilogram CO_2 toplanmıştır. Bu çalışma ile binaların yaşama katkı sağlayarak enerji üretip havayı kirleticilerden arındırıp şehrin biyosensörleri olarak görev alabilecekleri öngörülmektedir [2]







(1)

[1] (issuu.com)
[2] (dezeen.com).

Çizelge 2. 23. Tree ONE enstalasyonu özellikleri.

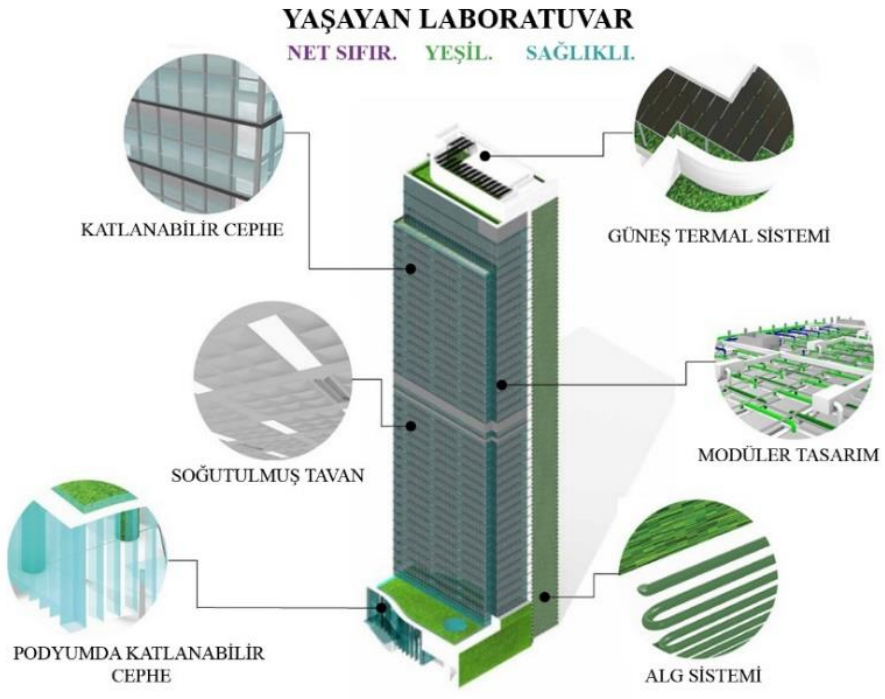
Adı: Tree ONE **Tasarım Ekibi:** EcoLogicStudio	**Konum:** Busan ve Seul **Yapım Yılı**: 2023
EcoLogicStudio tarafından Busan ve Seul olmak üzere iki yerde gerçekleştirilmiş olan ağaç formundaki enstalasyon, alg temelli iki unsur barındırmaktadır. İlki hasat edilen mikroalglerden elde edilen biyokütleden formüle edilen bir biyopolimerden üç boyutlu baskı alınarak üretilen ağacın gövdesidir. İkincisi ise enstalasyonun gövdesine ve zeminine yerleştirilmiş yaşayan siyanidyum mikroalg kültürleri barındıran fotobiyoreaktör sistemdir.[1]  (1)	

Çizelge 2. 24. Process Zero: Retrofit Resolution /GSA Binası.

Adı: Process Zero: Retrofit Resolution /GSA Binası **Konum:** Los Angeles **Bina Yapım Yılı:** 1960	**Tasarım Ekibi:** HOK ve Vanderweil Mim. ve Müh. **Çalışmanın Türü /Yılı:** Yarışma Projesi -2011 **Bina Türü:** Ofis Binası
Sera gazı emisyonlarının azaltılması ve sıfır enerji kullanımının benimsenmeye başlanmış olduğu dönemde açılmış bir yarışma kapsamında yapılmış bir projedir. Proje çalışmasına göre bina tükettiği enerjinin %16'sını yerinde üreterek binanın toplam kullandığı enerji miktarını % 84 azaltmaktadır (buildipedia.com). Bina, gün ışığını atriyum ve ışık kuyuları ile alırken doğal havalandırmayı ise tasarıma entegre edilmiş panjurlar sayesinde sağlamaktadır. Bina kabuğunda 2787,0912 m^2'si çatıda olmak üzere toplam 3251,6064 m^2 fotovoltaik film içeren güneş panelleri bulunmaktadır. Yenilenebilir enerjiden üretilen kaynağının % 9'unu binanın cephesinde yer alan 2322,576 m^2 olan tübüler biyoreaktör sistemden karşılamaktadır [2]  (1)	

[1] (ekoyapidergisi.org).
[2] (e-architect.com).

Çizelge 2. 25. Yaşayan Laboratuar (Living Lab) çalışması.

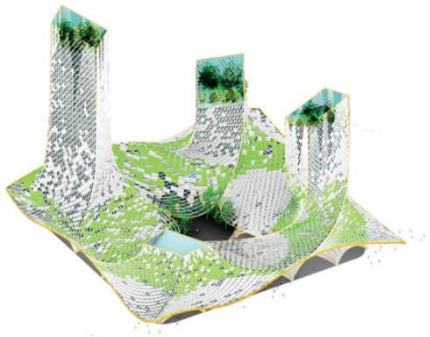
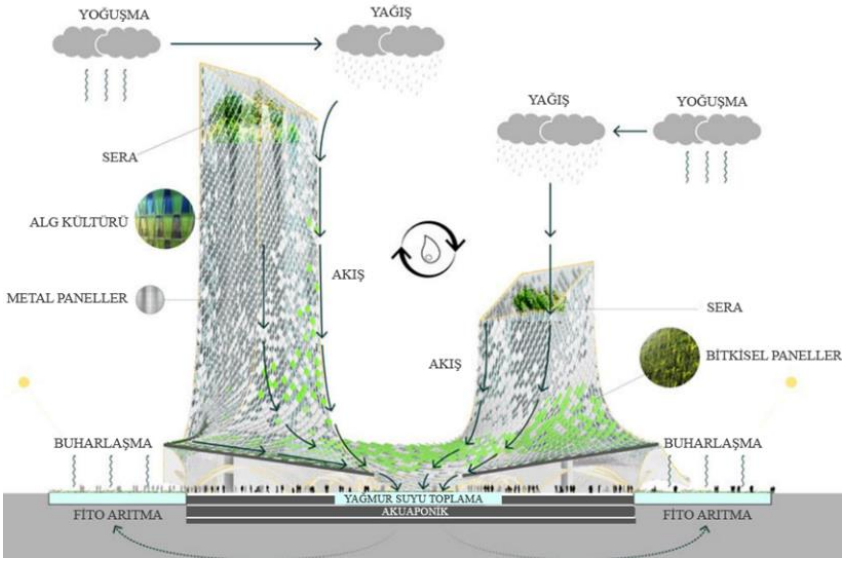
Adı: NetZero (AN) Fikir Yarışması/ Yaşayan Laboratuar (Living Lab)	**Tasarım Ekibi:** Arup **Çalışmanın Türü:** Yarışma Projesi **Uygulanması Öngörülen Bina Türü:** Ofis Binaları
2050 yılına kadar karbon nötr olmayı hedefleyen NetZero (AN) Fikir Yarışmasında Arup hem gelecekteki bina hem de mevcut bina kategorilerinde ödül almıştır. Taikoo Yeri ve Taikoo Place'deki Oxford Evi ofis yapılarının gerçek verilerinin paylaşıldığı yarışmada sıfır karbon ve ultra enerji verimliliği; somutlaştırılmış karbon; ve sağlık ve sürdürülebilirlik ana başlıklarında çalışmalar isimsiz değerlendilmiştir. Arup, mevcut bina kategorisinin galibi olduğu Yaşayan Laboratuar (Living Lab) projesinde yiyecek atıkları, siyah su ve algleri birleştirerek biyogaz, elektrik ve sıcak su eldesini hedeflemektedir [1]  (1)	

[1] (arup.com).

2.2.4.3. Yeni Tasarlanmış Projeler

Fotobiyoreaktör sistemlerin binanın konsept / tasarım aşamasında bina kabuğuyla birlikte planlandığı projelerdir. Bunlar, Çizelge 2.26 – Çizelge 2.29 arasında verilmektedir.

Çizelge 2. 26. Frenchdreamtowers projesi.

<table>
<tr><td>Adı: Frenchdreamtowers
Bina Türü-Programı: Yüksek Yapı- Teknoloji ve Sanat Merkezi- Gastronomi-Karşılama programları
Tasarım Ekibi: XTU Architecture</td><td>Çalışmanın Türü: Yarışma Projesi
Konum: Çin/Hangzhou</td></tr>
<tr><td colspan="2">Bina cephesinde mikro alglerin yetiştirilmesi, XTU'da yıllardır geliştirilmekte olan bir sistemdir. Mikroalg emdirilmiş panellerle kaplı cephelere sahip dört döner cam kule için konsept geliştirilmiştir. Kulelerin şekli ve hepsini tabanlarında birbirine bağlayan podyum, yağmur suyunun kenarlardan aşağı, merkezdeki açıklıktan aşağıya ve havuzlara akmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Biyocephede, alglerin büyüme sıcaklığı için termal malzemeler kullanılmıştır. Bu sayede termal konfora katkı sağlanmıştır [1]

(1)


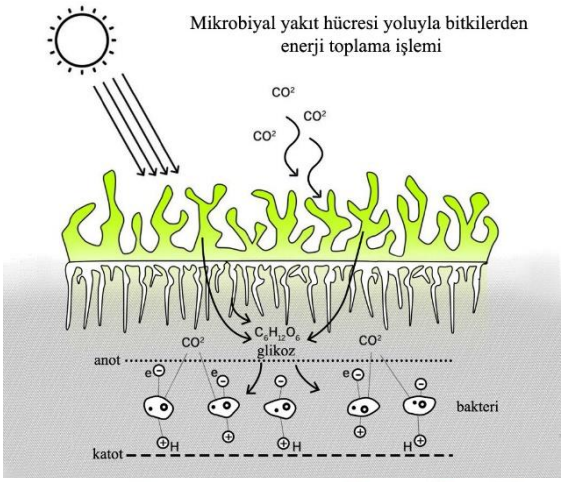
(1)</td></tr>
</table>

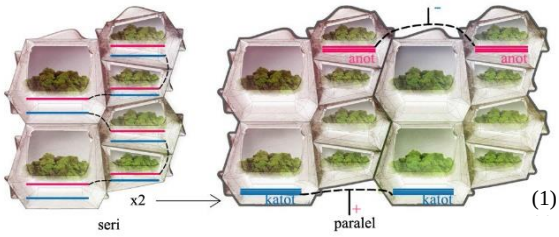
[1] (beautiful-houses.net).

Çizelge 2. 27. Yosun Pilleri (Moss Voltaics) özellikleri.

Adı: Yosun Pilleri (Moss Voltaics), Elektrik Üretebilen Yeşil Duvar Sistemi	**Tasarım Ekibi:** IAAC öğrencisi Elena Mitrofanova ve biyokimyacı Paolo Bombelli

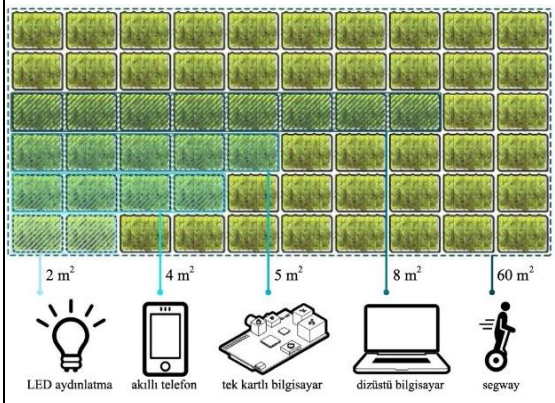
Sistemde; kuraklığa dayanıklılıkları, hafif oluşları, düşük bakım gereksinimleri nedeniyle şehirlerdeki şartlara direnç gösterebilecekleri için yosunlar tercih edilmiştir. Yosunlar; elektronları çeken, anot olarak hareket edebilen ve elektrik üretmek için elektronları toplayan hidrojel ve karbon fiberlerden oluşan bir "toprak" içine ekilmektedir. Sistem; yosunun fotosentez sonucu ürettiği organik bileşiklerin bir kısmını kökleriyle toprağa iletmesi, toprakta yaşayan simbiyotik bakterinin toprağa iletilen bu organik bileşikleri serbest elektronlara dönüştürerek farklı yan ürünlere bölmesi sonucu oluşan elektrik üretimine dayanmaktadır.





(1)

Yosunların içine yerleştirildiği 'tuğla' modüller, yosunu doğrudan güneş ışığından korumak ve büyümesini sağlamak için geniş olarak tasarlanmıştır. Tuğlalar, nemli kalmaları ve havayı tutabilmeleri açısından sırlanmamıştır. Tuğla modüller, tek bir elektrik devresine bağlanabilmek için herhangi bir ara malzeme gerekmeden birbirlerine kilitlenecek şekilde tasarlanmıştır.[1] 16 modüllük bir montajdan oluşan sistemle 3 Volt üretilmektedir. Geliştirilen sistemlerle verimliliği artan cihazların daha az enerji harcayacağı ve bu nedenle üretilen enerjinin gelecekte yeterli olabileceği düşünülmektedir [2]



(2)

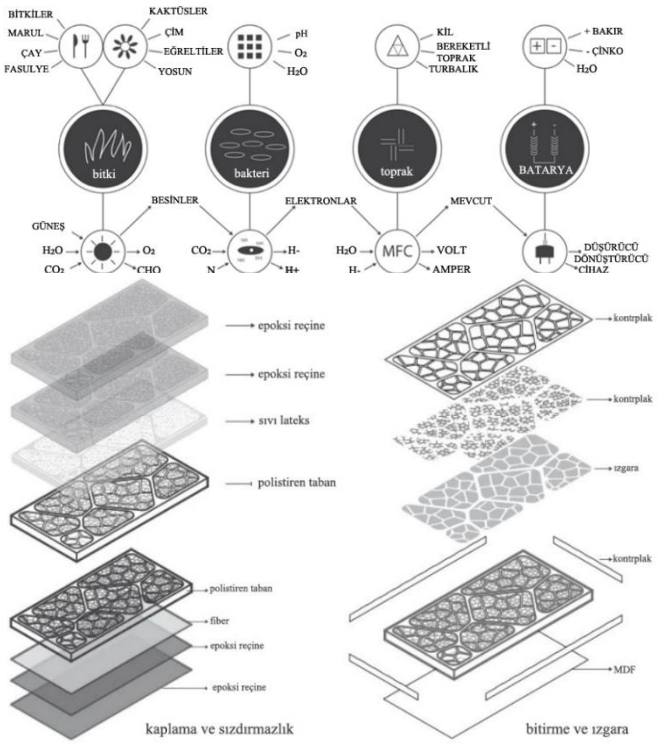


(2)

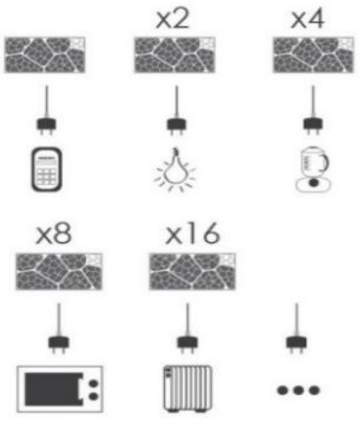
[1] (iaac.net)
[2] (inhabitat.com)

Çizelge 2. 28. Biyo-Fotovoltaik panel sistemi özellikleri.

Adı: Biyo-Fotovoltaik Panel Sistemi **Tasarım Ekibi:** IAAC öğrencileri (Apostolos Marios Mouzakopoulos Pablo Marcet, Aswini Mani, Akanksha Kargwal)	**Konum:** Katalonya İleri Mimari Enstitüsü'nün Valldaura kampüsü



Sistemde bitkilerin köklerini yayması, voltajın korunmasının sağlanması, hücrelerin pilleri içermesine ve üçgen oranının korumasına izin verebileceği düşünüldüğü için Voronoi mozaik formu uygulanmıştır. Bu sistemde bitkilerin fotosentez sonucu elde ettiklerini yan ürünlere dönüştüren bakteriler, toprağa serbest elektron vermektedir. Sistemdeki anot ve katot, serbest elektronların sisteme dahil edilip çıkarılması ile elektrik elde edilebilmektedir. Sistemde yetişen bitki türü, mikrobik büyümeyi sağlayan toprak özellikleri, toprak tipi gibi bileşenlerin her biri, çıktının süreçlerini ve verimliliğini kontrol etmek için değiştirilebilen belirli parametrelere sahiptir. Çünkü bu parametrelerin farklılığı elektron transferinin sağlanması, pilin malzemeleri ve bileşimi, elektronların toplanma ve aktarılma (1) şeklinin verimliliğini etkilemektedir. Bu durum da sulamayı kontrol eden bir otomasyon sistemi ve bitkinin büyümesini etkileyen değişkenleri izlemek için bir veri kaydedici ile kayıt altına alınmaktadır. İmalat prosedürü; kauçuk, epoksi reçine katlarının uygulanmasından oluşur. Kablo ve elektronik parçalar monte edilir. Toprak ile yosun yerleştirilir ve lazerle kesilip açıkta kalan yüzeylere yapıştırılır. Bu sensör sulama veri ve su pompasını kontrol etmektedir.[1]



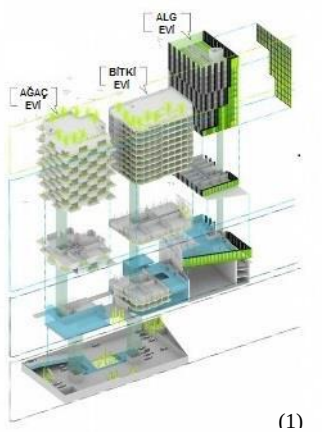


[1] (designboom.com)

Çizelge 2. 29. Alg Evi projesi.

Adı: Alg Evi **Tasarım Ekibi:** XTU Architecture	**Çalışmanın Türü /Yılı:** Yarışma Projesi **Konum:** Paris Rive Gauche M5A2 kentsel gelişim bölgesi

Bir yarışma projesi kapsamında üç yapı tasarlanmış olup bunlardan biri Alg Evi'dir. Cephesinde 900 m²'lik fotobiyoreaktör bulunan ev, sıcak su ve ısıtma ihtiyacını fotobiyoreaktörler tarafından toplanan ısı ile karşılamaktadır. Binanın cephesindeki fotobiyoraktör sistem içerisine yerleştirilecek olan alg türünün ise binanın çatısında yer alan laboratuvarlarda yetiştirilip tıbbi araştırmalarda kullanılmak üzere üretilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca binanın çatısında yağmur suyundan temiz su eldesini sağlayacak sistemler bulunacaktır. Fotobiyoreaktörler binada ikinci bir kabuk olarak çalıştırılacaktır. CO_2 ise binada depo edilerek alglerin fotosentezi için gerektiğinde bu kabuğa iletilecektir. Fotosentez ile gelişen biyokütle, 24 - 48 saat aralığında hasat edilecek ve biyokütleyi damıtmak için filtreleme yapılacaktır. Biyoenerjiye dönüştürülmesi için de biyorafineriye nakliye edilecektir.[1]



(1)



(1)

Biyoreaktörün bina cephesinde uygulanmış tek örneği olan Bio-Intelligent Quotient (BIQ) Binası'nın özellikleri, 3. Bölümde vaka çalışması kısmında detaylıca verilmektedir.

[1] (amc-archi.com)

BÖLÜM 3

VAKA ÇALIŞMASI: BIO-INTELLIGENT QUOTIENT (BIQ) BİNASI

Bu bölümde tez çalışmasının ana referansı: biyoenerji sistemi ve alg cephesi ile dünyada uygulanmış ilk örnek bina olan Bio-Intelligent Quotient (BIQ) Binası vaka çalışması olarak ele alınmıştır. BIQ Binası, uluslararası bir tasarım yarışmasının ardından 2013 yılında Hamburg'daki International Building Exhibition (IBA) için gerçekleştirilen dünyanın ilk biyoenerji ile çalışan cephesine sahip bina olma özelliği taşımaktadır. Bina, yüksek enerji verimliliği standartlarına göre tasarlanan bir "pasif ev"dir. Taşıdığı bu özellikleri ile tez çalışmasında referans olarak seçilmiş, çalışma kapsamında binanın Türkiye'de farklı iklim bölgelerinde uygulanması durumundaki verimliliği incelenmiştir. FBR'nin iklim bölgelerine göre binaya bütünleştirilmesi açısından hangi düzenlemelerin yapılması gerektiği ve sistemin verimliliği bu bölümde sorgulanmıştır.

3.1. BIQ Binası Özellikleri

Almanya'nın, Hamburg (Am Inselpark 17) şehrinde yer alan, konut işlevinde tasarlanan bina, 4 normal kat ve çatı katından oluşmaktadır. Binanın brüt alanı 1600 m^2 ve arsa alanı 839 m^2'dir. Kübik bir planı olan bina, 14 normal daire ve bir dubleks daireye sahiptir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3. 1.BIQ Binası özellikleri (google.com/maps; archello.com; Roedel & Petersen, 2013).

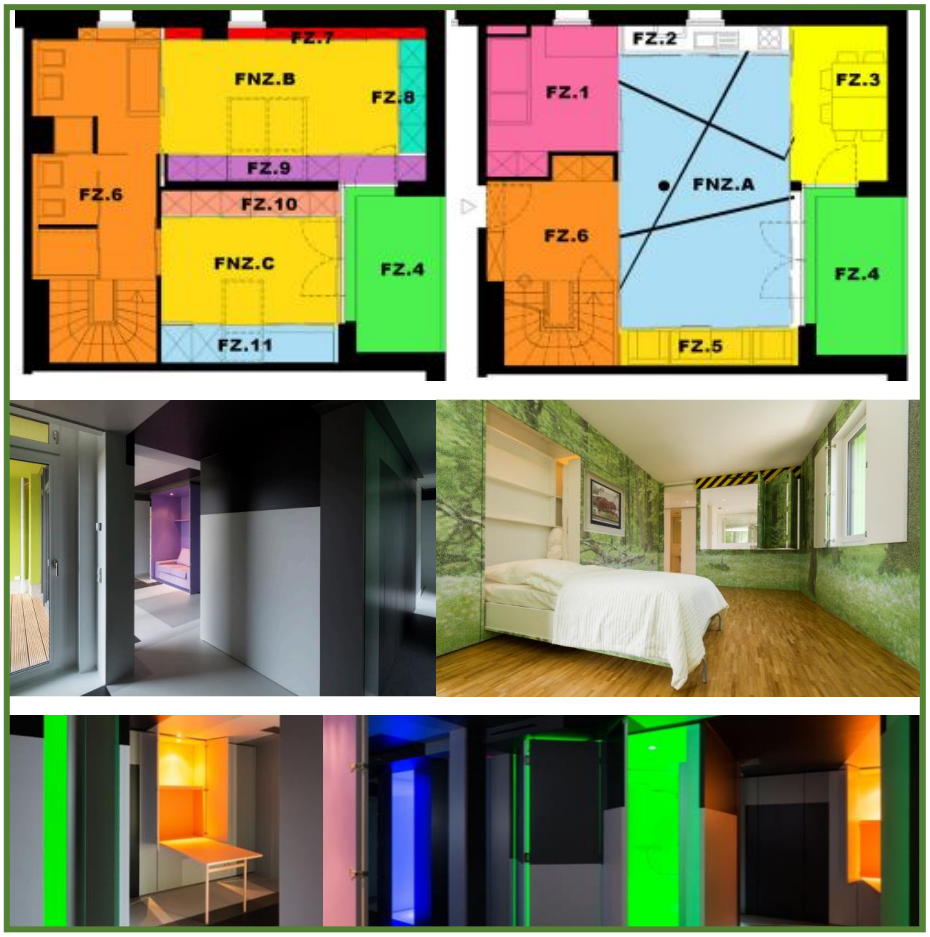




Konumu:	Almanya, Hamburg, Am Inselpark 17
Yapım Yılı:	2013
İşlev:	Konut
Formu:	Kübik
Brüt Alanı:	1600 m²
Arsa Alanı:	839 m²
Kat Sayısı:	dört kat + bir çatı katı
Daire Sayısı:	14 normal daire+ 1 dubleks daire
Dairelerin Alanı:	50-120 m²
Bina Enerji Özelliği:	Enerji Etkin Pasif Bina

İlk tasarım konsepti, 2013 Hamburg IBA'nın "Akıllı Malzeme Evi" çağrısında bulunulan uluslararası bir tasarım yarışması için geliştirilmiştir. Binanın ilk fikri; yığılmış yerleşim birimlerinin, bazıları aktif, bazıları şeffaf, işlevsel olmayan fotobiyoreaktörlerden oluşan ikincil bir kabuktan, "bina sergisi içinde bina sergisi" (Building Exhibition within the Building Exhibition) konseptinden oluşmaktadır (Şekil 3.1). Daireler işlevlere göre değişebilmektedir (Roedel & Petersen, 2013).

Binanın tasarım ekibi arasında Avusturya'dan Splitterwerk Architects, bina kabuğu tasarımı için Almanya'dan Arup, bina mühendisleri olarak Bollinger & Grohmann ve enerji danışmanlığı için Immosolar yer almaktadır. Sürecin sonunda oluşan konsept: Hamburg merkezli araştırma şirketi Strategic Science Consult'un (SSC) iki adet derin çekilmiş polikarbonattan oluşan ilk düz panel biyoreaktör tasarımına dayanmaktadır.



Şekil 3. 1. Binanın işlevlere göre değişebilme özelliği (Roedel & Petersen, 2013).

Yarışma için hazırlanan tasarımın 2010 baharında birincilik ödülü almasının ardından Arup firması, bina entegrasyonu için bir fotobiyoreaktör cephe sistemi geliştirmek üzere mikroalg teknolojisi ve işleme uzmanları olarak SSC ve Colt'un içinde yer aldığı bir konsorsiyum başlatmıştır. İkincil cephe sistemleri için uzman yüklenici olarak Alman finansman kurumu 'ZukunftBau'dan fon alınmıştır. Camdan yapılmış düz panel biyoreaktörler geliştirilerek test edilmiştir. İlgili cephe sistemi, gelişen konsorsiyum tarafından "SolarLeaf" olarak markalanmıştır (Wurm & Pauli, 2016).

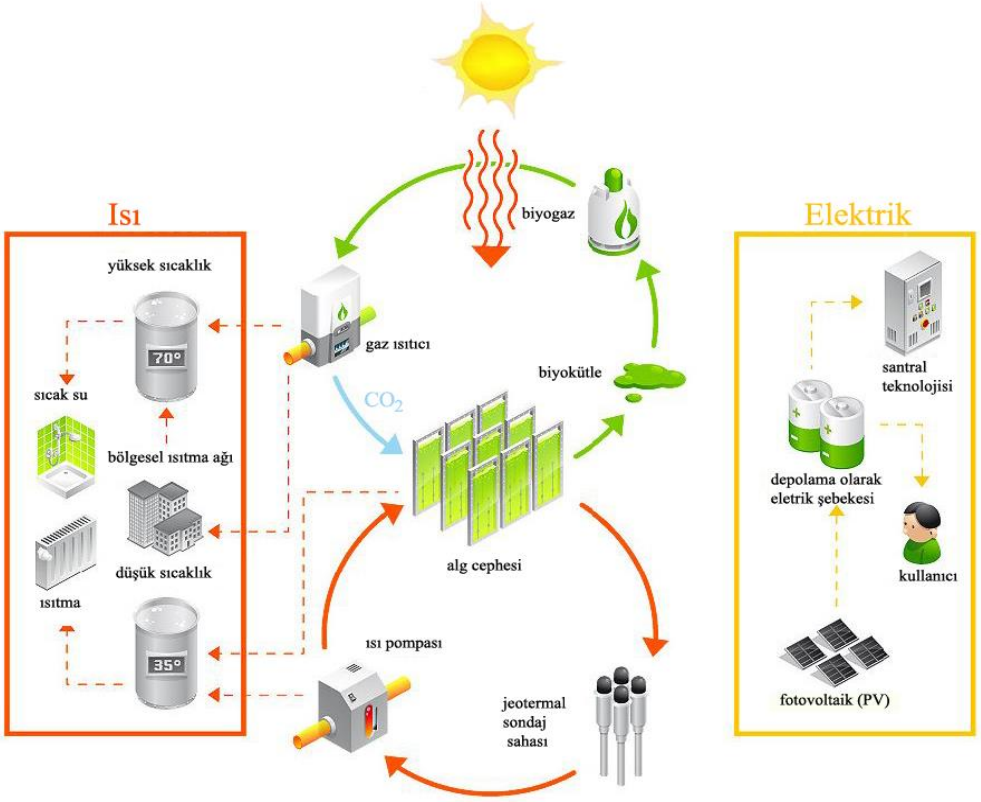
BIQ evinin 30 Mart 2013'teki resmi açılışından sonra Arup, yine ZukunftBau tarafından finanse edilen Hamburg HafenCity Üniversitesi'nden Colt, SSC ve Profesör Ingrid Breckner ile birlikte 2015 baharında tamamlanan projenin izleme sürecine dahil edilmiştir (Wurm & Pauli, 2016).

Sistemin tasarım fikri, eski Arup yöneticisi Peter Head'in 2008 tarihli 'Ekolojik Çağa Girme' adlı konferansında ve broşüründe, bina kaplamalarına bütünleşik boru

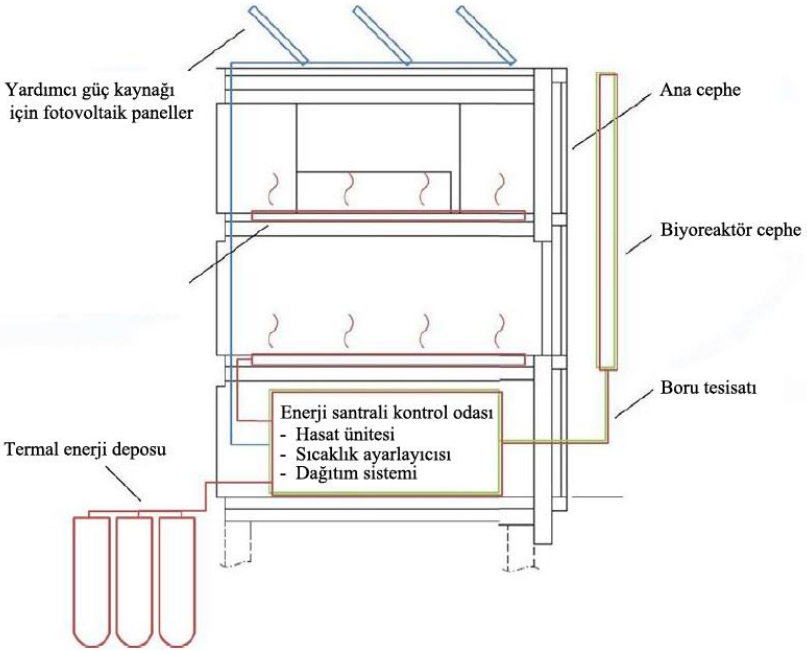
şeklindeki FBR'nin potansiyel faydasını anlattığı çalışmasından gelmektedir. Ayrıca fikir; Bioprodukte Profesörü Steinberg tarafından işletilen 600 m^2 fotoaktif hacme sahip boru şeklindeki reaktörlere ve 2000 yılından beri ilaç endüstrisi için mikro alglerin ticari düzeyde üretildiği üretim tesisine de dayanmaktadır (Wurm & Pauli, 2016).

Yarışma konsepti, başta binaların dört bir yanına yönlendirilmiş düz panel FBR'ye sahipti. İşlevsellikler arasında güneş termal etkisi yoluyla ısı üretimi, sahada metana dönüştürülmek üzere mikroalg üretimi ve yıl boyunca CO_2 emisyonlarını emmek için yakındaki bir halka açık yüzme havuzunun ısıtma sistemine bir bağlantı yer alıyordu. Orijinal konseptin gücü, sistemin faydalarını tek bir bina ölçeğinde değil, bölge ölçeğinde sergilemekti. Ancak yarışmayı takip eden tasarım aşamasında sistem, böyle deneysel bir teknolojiyi uygulama riskini azaltmak için 'bağımsız' bir sistem olarak geliştirildi (Wurm & Pauli, 2016).

Enerji verimliliğinin önemli olduğu günümüzde pasif bina standartına sahip olarak tasarlanmış olan BIQ Binası; yenilenebilir enerji kaynaklarından binaya özelliğini veren alglerin enerji üretimine dayanan fotobiyoreaktör sistemlerle biyokütle enerjisini, alglerin enerji üretiminde ve çatısında yer alan fotovoltaik (PV) panellerle güneş enerjisini, sistemine dahil olan depolamayı sağladığı sistemlerle jeotermal enerjiyi kullanmaktadır (Şekil 3.2, Şekil 3.3), (Wurm & Pauli, 2016).

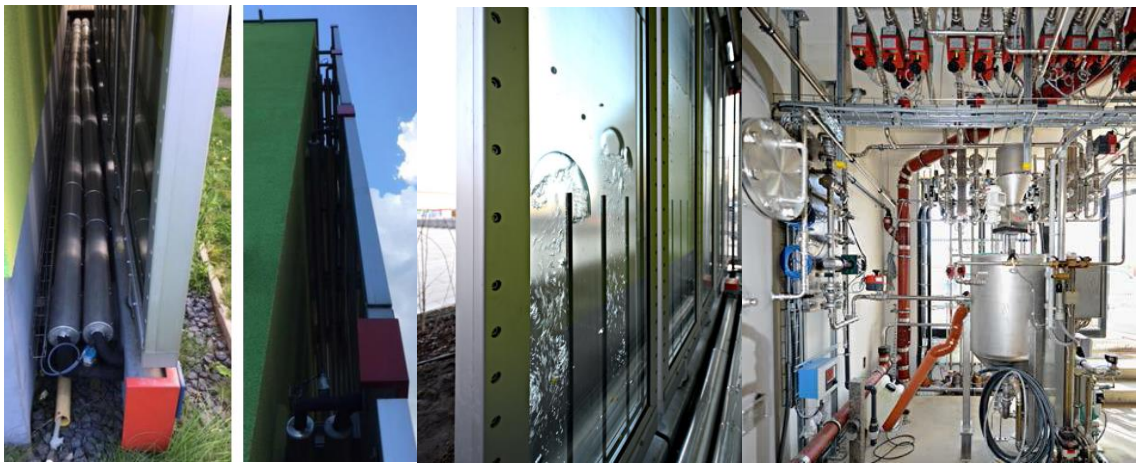


Şekil 3. 2. Binada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı (Roedel & Petersen, 2013).



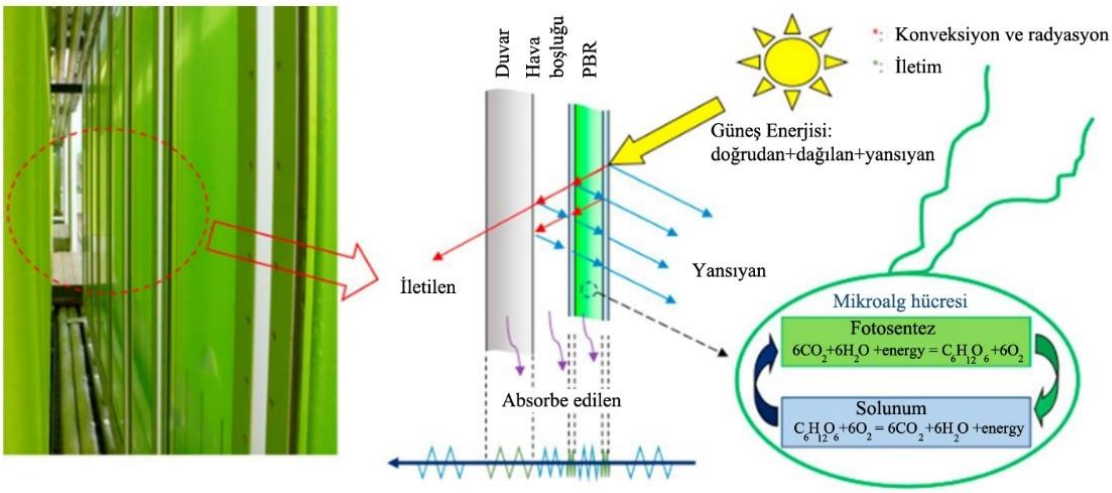
Şekil 3.3. Binanın ısıtma, soğutma ve depolama için kullandığı sistemlerin kesit üzerinden gösterimi (Wurm, 2013).

Güneybatı ve güneydoğuya bakan cephelerde yaklaşık 185 m^2 aktif yüzey alanı kaplayan, 70 cm genişliğinde, 270 cm yüksekliğinde ve 8 cm kalınlığında düz panel tipte toplam 129 fotobiyoreaktör (FBR) bulunmaktadır. Binada bir katın tüm FBR panelleri kapalı devre bir sistem oluşturacak şekilde gruplandırılmıştır. Pompalar, yosun sıvısını teknik odadan cephe panellerine dolaştırmaktadır (Şekil 3.4). Basınçlı hava, her bir biyoreaktörün tabanına aralıklarla verilir. Karbondioksit almak için gaz büyük hava kabarcıkları olarak ortaya çıkmaktadır ve alglerin uyarılması için yukarı su akışı ve türbülans oluşturur. Aynı zamanda su, hava ve küçük plastik yıkayıcıların bir karışımı panellerin iç yüzeylerini yıkar. FBR, kültür ortamının ve havanın içeri ve dışarı akışı için tüm servis borularını elemanlarının çerçevelerine entegre etmektedir (arup.com).

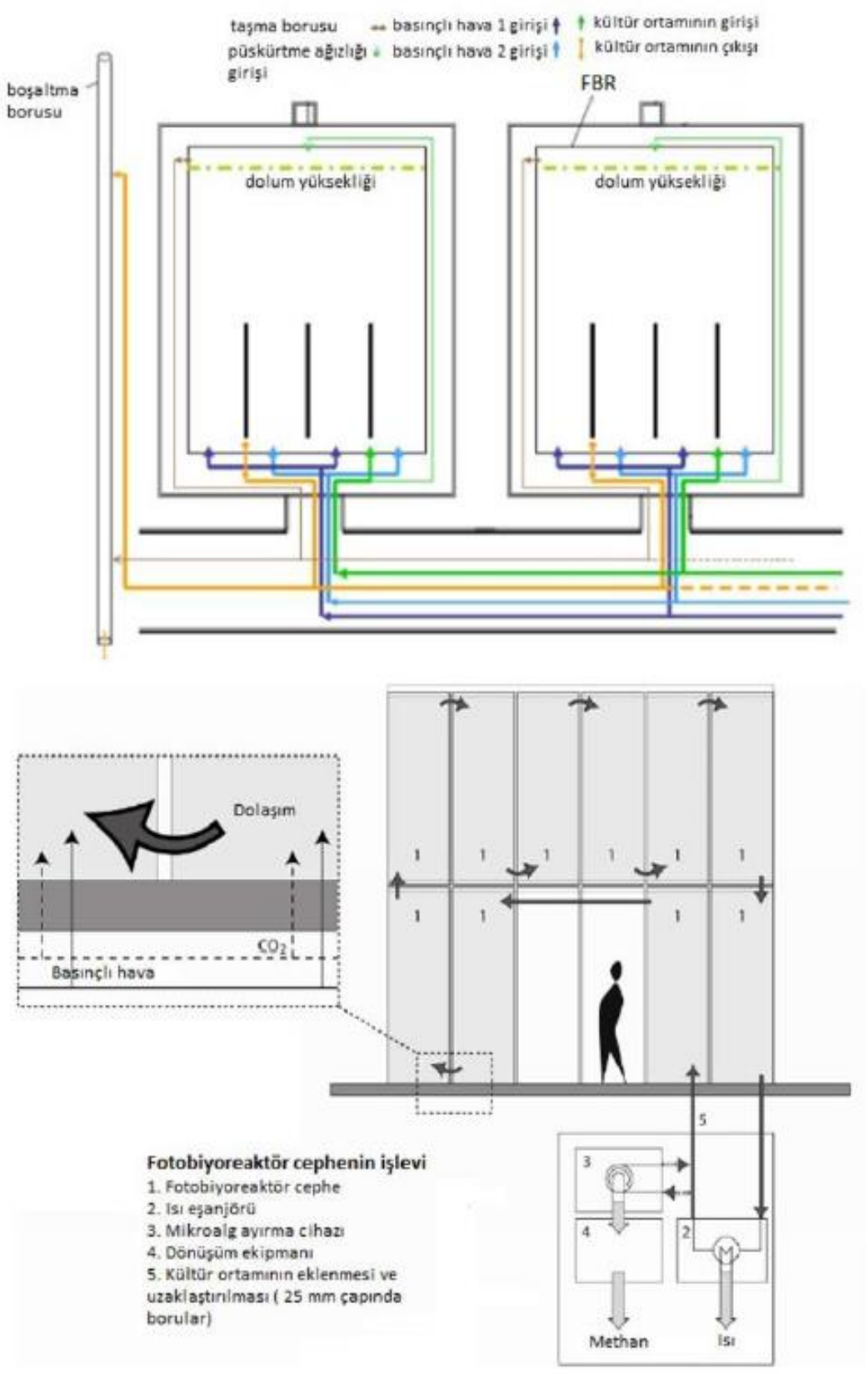


Şekil 3. 4. Binanın teknik hacimleri (Kükdamar & Özbalta, 2018; www.metalocus.es; Kükdamar, 2017).

Bitki odasında algler; besin alımı ve sahadaki bir gaz kazanından çıkan baca gazının sıkıştırılması ile ortama salınarak beslenmektedir. Ortam tarafından çözülebilen karbon oranı, grup başına panel sayısını sınırlamaktadır. Alglerin fotosentetik işlemi, cephe panellerinde gün ışığına maruz kaldıklarında başlatılmaktadır (Şekil 3.5). İşlem, her FBR'nin alt kenarındaki basınçlı havanın periyodik olarak serbest bırakılmasıyla hızlandırılmaktadır (Şekil 3.6). Bu yükseltme teknolojisi aracılığıyla üretilen türbülans, mikro alglerin metabolizmasını uyararak sistemin üretkenliğini artırmaktadır. Alglerin beslenmeden hasata kadar işlenmesi tam otomatik bir sistem tarafından kontrol edilmektedir (Wurm & Pauli, 2016).

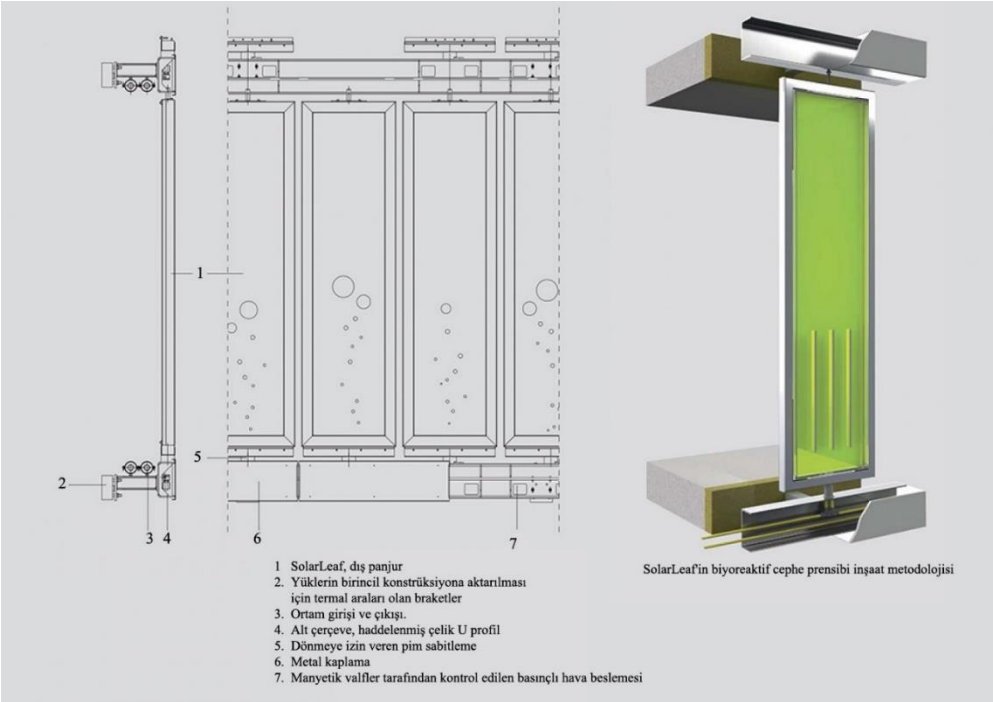


Şekil 3. 5. Binanın cephesinde yer alan FBR sistemi (Roedel & Petersen, 2013).



Şekil 3. 6. Fotobiyoreaktör cephenin çalışma sistemi (Kükdamar & Özbalta, 2018).

BIQ binasının güneydoğu ve güneybatı tarafında yer alan biyoreaktör cephedeki paneller "SolarLeaf" olarak adlandırılmaktadır. SolarLeaf, kapalı bir döngü sisteminde biyokütle ve ısı üreten, dünyanın ilk biyoreaktif cephe panelidir (Şekil 3.7), (arup.com).

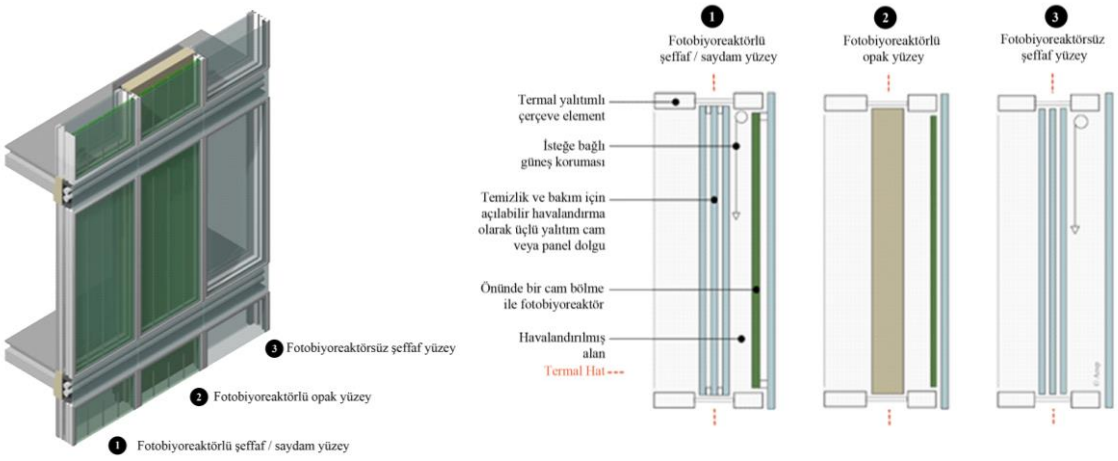


Şekil 3. 7. SolarLeaf katmanları (www.metalocus.es).

SolarLeaf biyoreaktörlerin 24 litrelik kapasitesi ve dört katmanı bulunmaktadır. Bu panellerin her iki tarafında ısı kaybını azaltacak argon dolu boşluklar yer almaktadır. Ön cam panel beyaz yansıma önleyici, arkadaki ise dekoratif camdır (arup.com).

SolarLeaf sistemi için tasarlanan sürecin gidişatında aksama olması durumu da düşünülerek alternatif çalışmalar da yapılmıştır (Şekil 3.8).

FBR'ler yıl boyunca biyokütle enerjisi ve ısı üretimi sağlamaktadır. Yaz aylarında en yüksek verime ulaşan FBR'ler, ısı enerjisinin fazlasını yerin 80 metre altında yer alan jeotermal kuyularda depolamaktadır. Enerji üretiminin az olduğu durumlarda ise ısı kuyudan pompalar yardımıyla geri çekilerek kullanılabilmektedir. Üretilen biyokütle enerjisi ise merkezde filtrelenerek depolanmakta olup bina dışında üretim tesislerinde dönüşümü sağlanarak kentin enerjisine katkı sağlamaktadır (Kükdamar & Özbalta, 2018).

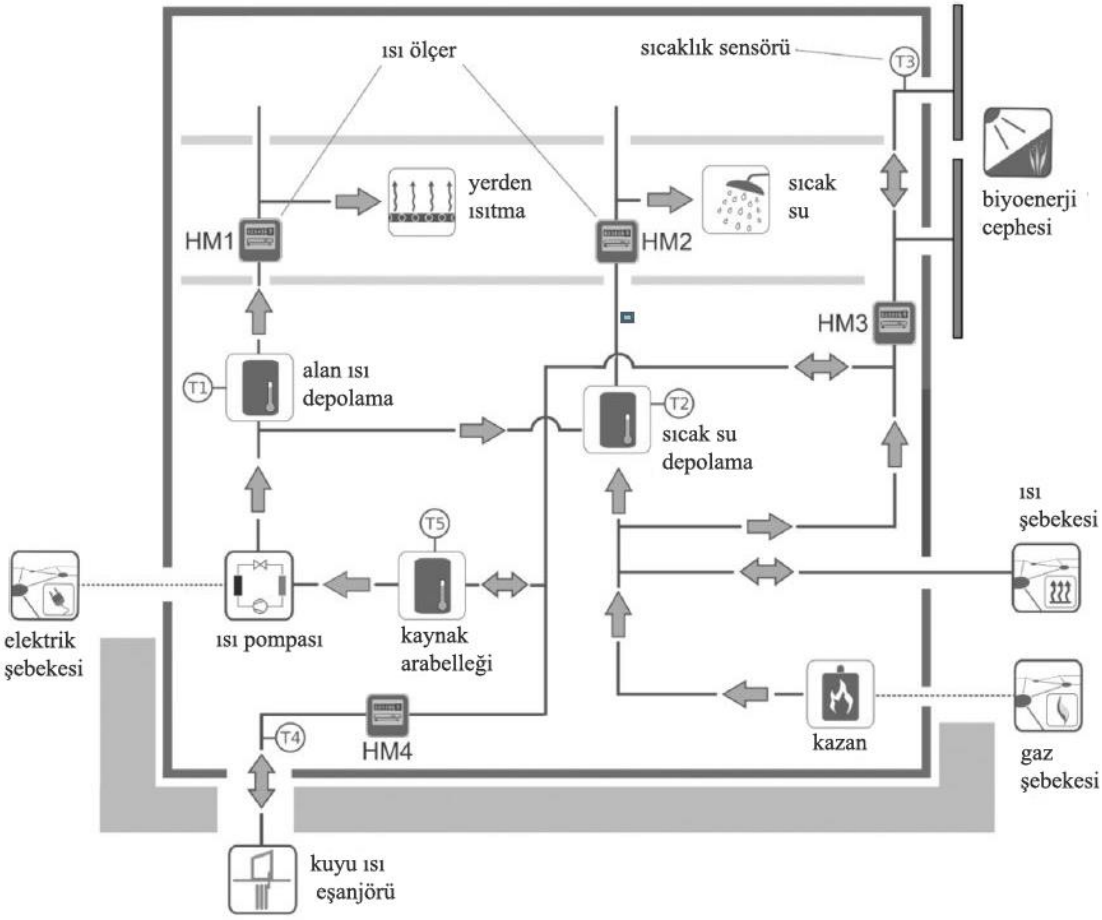


Şekil 3. 8. Solar Leaf için farklı katman denemeleri (arup.com).

Mikroalgler gün ışığını güneş spektrumunun nispeten dar bir bölümünde soğurur ve tepe noktası yaklaşık 640 nm'dir. FBR'ye giren gün ışığı spektrumunun geri kalan kısmı emilir ve ısıya dönüştürülür, bu da ortamın sıcaklığında bir artışa yol açar. Genel olarak BIQ'da yetiştirilen türler, 8°C ile 38°C arasında bir fotokimyasal aktiviteye sahip iklim koşullarına iyi uyum sağlamış Chlorella Vulgaris'in yerel bir türüdür. Mikroalg yetiştiriciliğini sürdürmek için, fazla ısının ısı eşanjörleri vasıtasıyla sistemden atılması gerekmektedir. Geri kazanılan ısı, bina sakinlerinin ısı ve sıcak su talebine katkıda bulunmak için kullanılabileceğinden, FBR'nin, açık alan uygulamaları için olumsuz bir yan etki, güneş termal etkisi bir binaya entegre edildiğinde olumlu bir etkiye sahiptir (Wurm & Pauli, 2016).

BIQ Binasının konumunda Mayıs 2017 ile Nisan 2018 arasındaki izleme döneminde ölçülen ortalama sıcaklık 9,7 °C iken toplam küresel radyasyon 795 kWh / m^2 olarak ölçülmüştür. Almanya'daki uzun vadeli ortalama küresel radyasyonun yaklaşık 1037 kWh / m^2 olduğu bilinmektedir (Wurm & Pauli, 2016). Biyoenerji cephesinin kültür ortamındaki sıcaklığın, 20 ila 35 °C arasındaki optimum yetiştirme sıcaklığı aralığında tutulabildiği belirtilmektedir (Kerner, Gebken, Sundarrao, Hindersin & Sauss, 2019).

Binanın enerji konsept şeması ise Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Şemadaki T1-T5 aralığındaki noktalar kontrol için sıcaklık sensörlerinin yerlerini göstermekteyken H1-H4 aralığındaki noktalar ise ısı akış sayaçlarını göstermektedir. Oklar ise sistemde farklı sıcaklıklardaki ısı akışlarını temsil etmektedir.

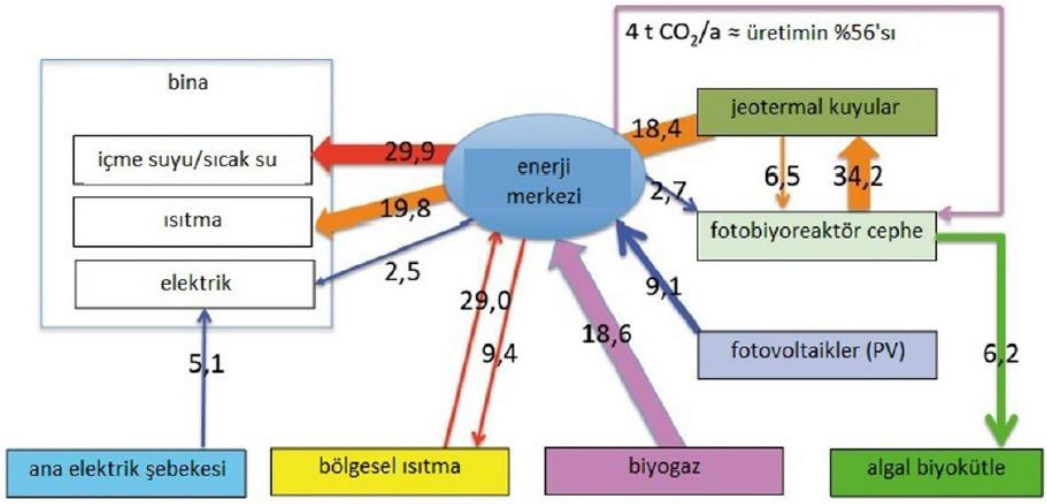


Şekil 3. 9. Binanın enerji konsept şeması (Kerner, Gebken, Sundarrao, Hindersin, & Sauss, 2019).

BIQ binasının bir yıllık mevcut enerji dengesindeki verileri, simülasyon sonucunun Türkiye'deki iller açısından değerlendirilmesinde önemlidir. Bina, pasif bir bina olduğu için ısıtma amaçlı tüketim, sıcak su eldesinde kullanılan enerjiden daha azdır. Ayrıca FBR'lerden elde edilen enerjinin çoğunun jeotermal kuyularda depolandığı görülmekteyken kuyudan geri çekilen miktarın yaklaşık beşte bir oranında olduğu öngörülmektedir (Şekil 3.10).

BIQ Binası, güneydoğu ve güneybatı cephesinde toplam 129 adet FBR panel bulundurmakta olup bu FBR panellerin net yüzey alanının Kerner, Gebken, Sundarrao, Hindersin & Sauss, 2019 makalesinde 185 m^2 olduğu belirtilmekteyken Roedel & Petersen, 2013 ve Wurm, 2013 çalışmalarında ise 200 m^2 olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 3.2'de yer alan veriler toplam panel net alanının 200 m^2 olması üzerinden ilerlemektedir. BIQ Binası ilgili kaynaklarından ulaşılan bu veriler değerlendildiğinde; FBR'den elde edilen yıllık ortalama enerji 4500 kWh'dır. Bir konutun ortalama yıllık tüketiminin yaklaşık 3500 kWh olduğu düşünüldüğünde fotobiyoreaktörler ile elde edilen enerji bir konutun ihtiyacından biraz daha fazladır (Kükdamar & Özbalta, 2018).



Şekil 3.10. BIQ binasının yıllık enerji dengesi (MWh/yıl), (Kükdamar & Özbalta, 2018).

BIQ Binası 2017-2018 bir yıllık izleme sürecinde sıcak su ve ısıtma için yıllık toplam 63 MWh/a ısı tüketmiştir. Bu ise sistemin ısı tüketiminin % 59'una karşılık gelmektedir. Mayıs-Ağustos ayları arasında, biyoenerji cephesi bina için tek birincil ısı kaynağı olarak çalışmış, %50'den fazla ısıyı da binanın altındaki toprakta depolamıştır. Toprakta depolanan ısı, toprak sıcaklığının yenilenmesine neden olurken kışın ısı talebinin karşılanmasını da sağlamıştır. Biyoreaktör cepheden çekilen ısının % 80' i anında ve ara depolama olmaksızın kullanılmıştır. Bu durum doğrudan kullanım için ısı akışlarını en uygun şekilde düzenlediğini ve böylece depolama kayıplarının en aza indirildiğini göstermektedir (Kerner, Gebken, Sundarrao, Hindersin & Sauss, 2019).

Çizelge 3. 2. BIQ Binası'nın günlük ve yıllık enerji tüketim miktarları (Kükdamar & Özbalta, 2018).

Her m^2 fotobiyoreaktör alanı başına günlük temel üretim verileri	
Biyokütle üretimi	15 gr / m^2 / gün (900 kg / yıl)
Biyokütle içindeki enerji üretimi	345 kJ / m^2 / gün
Biyokütleden biyogaz üretimi	10,20 L metan / m^2 / gün
200 m^2 fotobiyoreaktör alanı için yılda 300 günlük üretim ile enerji göstergeleri	
Metan üretimi	612 m^3 metan / yıl
Metan içindeki enerji	6487 kWh / yıl
Enerji kaybı (yardımcı güç, vb.)	Üretimin %30'u
Metandan net enerji	yaklaşık 4541 kWh / yıl
Isıdan net enerji	yaklaşık 6000 kWh / yıl
Biyokütle üretimi	30 kWh/m²
Isı enerjisi üretimi	150 kWh/m²

3.2. Yöntem

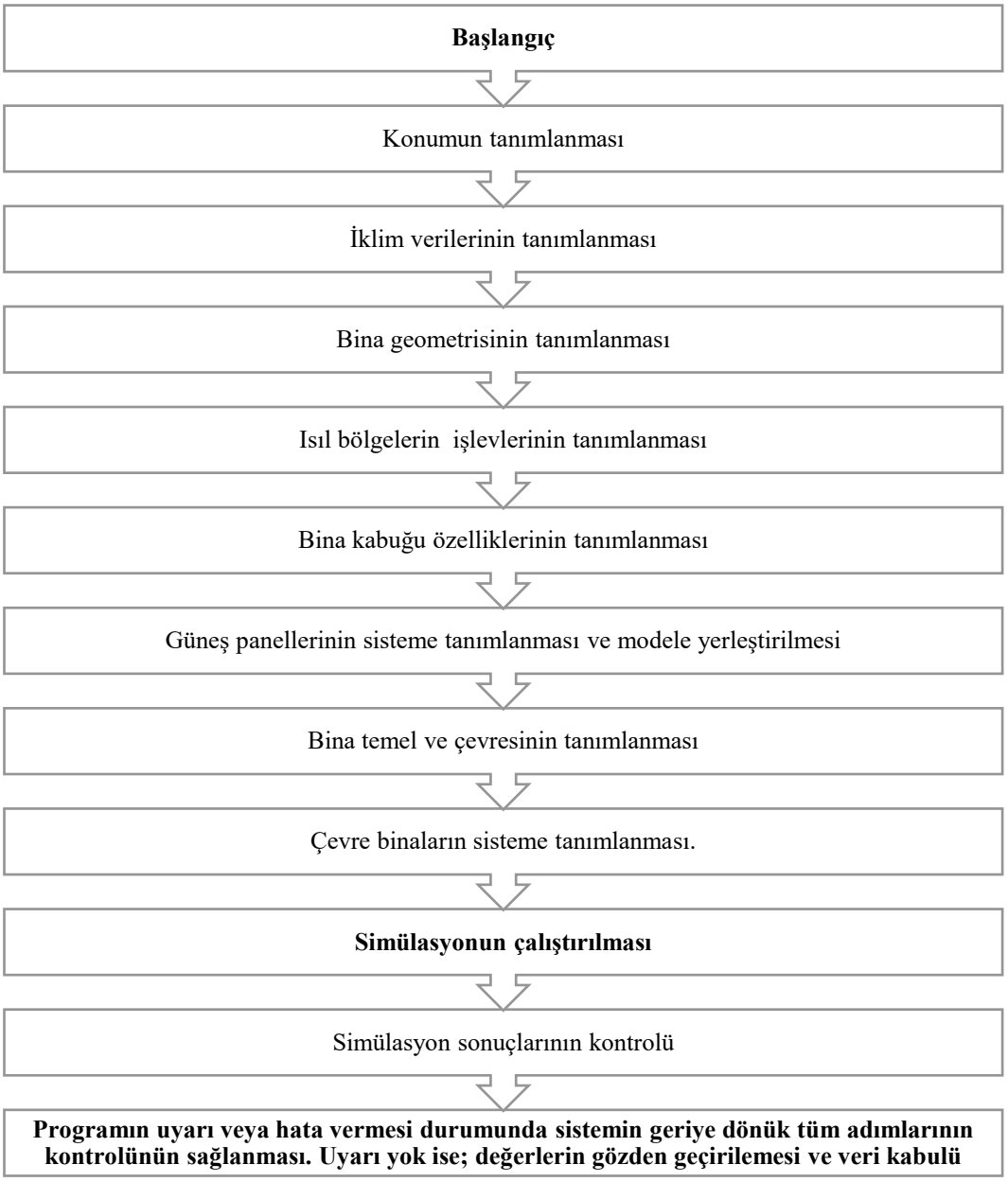
Çalışma kapsamında; ilk olarak referans alınan BIQ Binası kaynaklardan elde edilen bilgiler, plan, kesit, detay özelliklerinden faydalanılarak DesignBuilder programında modellenmiştir. BIQ binasının bina elemanlarının detaylandırılması ve katmanlarının belirlenmesinde pasif bina olması dikkate alınarak seçimleri yapılmıştır. Daha sonra DesignBuilder simülasyon programında konum, iç ve dış iklim ve kullanım koşullarına göre gerekli bilgiler tanımlanarak analizler gerçekleştirilmiştir.

DesignBuilder programı basit model içeren EnergyPlus temelli bir enerji simülasyon programı olup verilerin program sistematiğinde girilmesi üzerinden aydınlatma, gölge gibi konfor durumunu etkileyen birçok konu hakkında analiz sağlayan bir yazılımdır. Binanın modelinin sanal ortama aktarımını sağlayarak bina ile ilgili ısı tüketim değerleri, iklim koşulları altında iç, dış ortam ve yüzey sıcaklıklarının bulunması ile bu sıcaklıklara karşı bina davranışının tespitini sağlayabilme imkânı sunabilmektedir (Köksoy, 2021).

3.2.1. BIQ Binasının Modellenmesi ve Simülasyonu

Çalışma kapsamında BIQ binasının modellenmesi ve DesignBuilder simülasyon programının çalıştırılması aşamaları Çizelge 3.3'de özetlenmektedir.

Çizelge 3. 3. DesignBuilder programında binanın modellenme süreci basamakları.



Örnek binanın elde edilen kat planlarından faydalanılarak dış ve iç duvar, kapı, pencere vb. elemanları ile modellenmiştir. Zemin kat (3), arakatlar (2) aynı ve son kat çatı katı (1) farklı katlar olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.11).



(a)



(b)

Şekil 3. 11. Modellemede tanımlanan katlar (a), modellemedeki pencereler (b) (www10.aeccafe.com).

Binaya ait kat yükseklikleri, katman kalınlıkları gibi özellikler; araştırma kapsamında yapılan çalışmalardan, plan, kesit ve görünüşlerden elde edilen verilerle oluşturulmuştur (Şekil 3.12, 3.13).

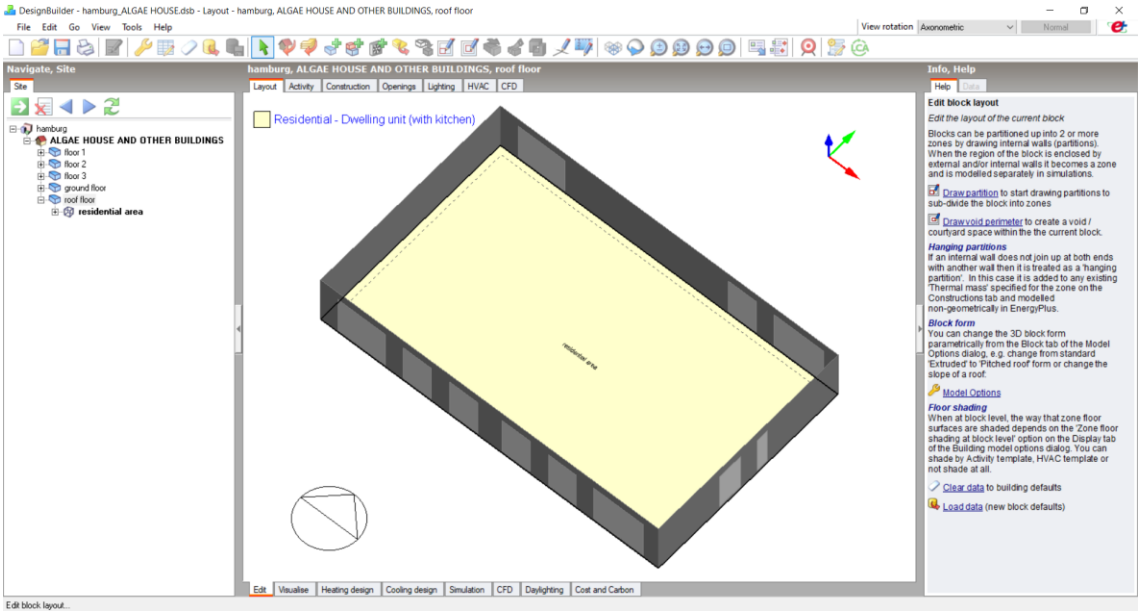


Şekil 3. 12. BIQ Binası'na ait kat planları (Roedel & Petersen, 2013).

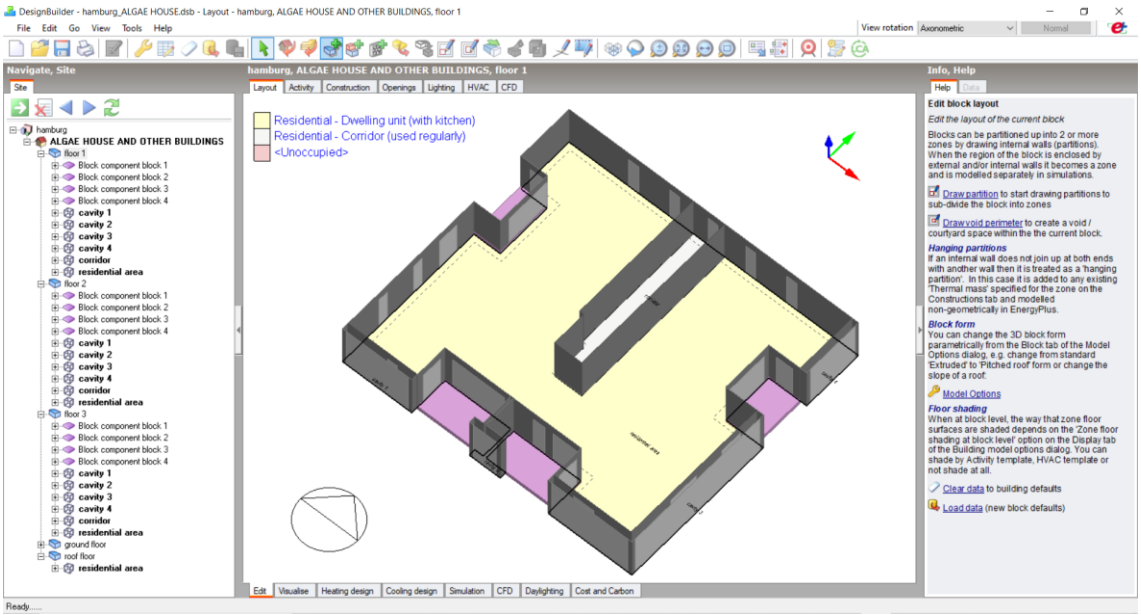


Şekil 3. 13. BIQ Binası'na ait kesitler ve görünüşler (www10.aeccafe.com).

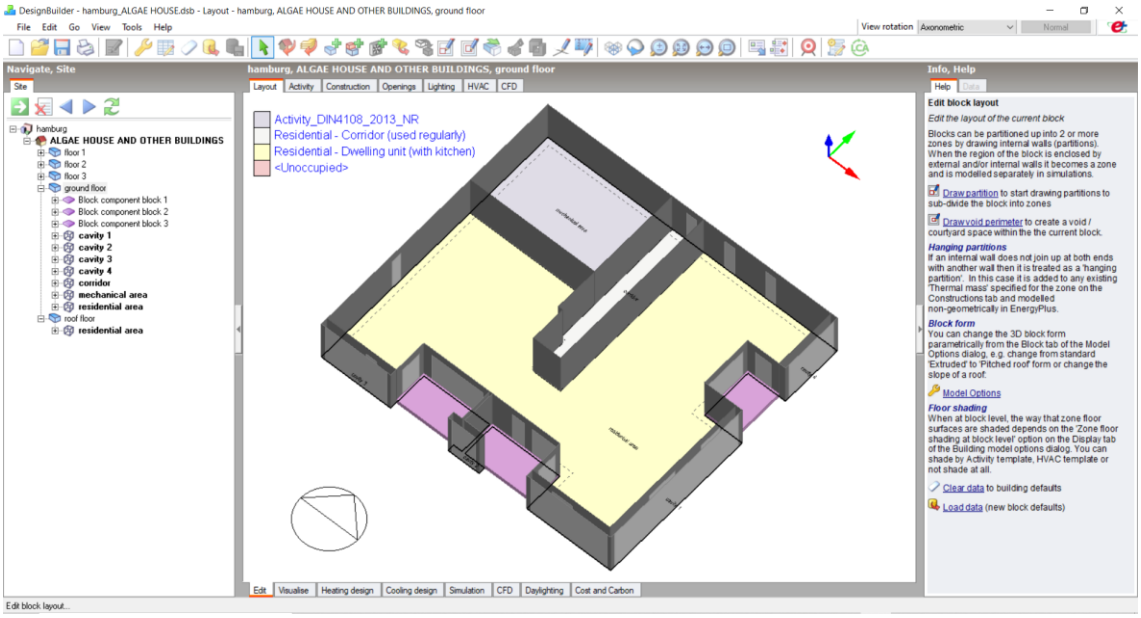
Kat planları, modellendikten sonra saydam ve opak yüzeyler modele işlenmiştir. Sonraki aşamada ısıtılan ve ısıtılmayan hacimler belirlenerek bölgesel tanımlamaları (zone definitions) yapılmıştır. Balkonlar dış hacimde yer aldığı için program içerisinde bileşen (component) olarak tanımlanmış olup binanın temeli de modele eklenmiştir (Şekil 3.14 – Şekil 3.17).



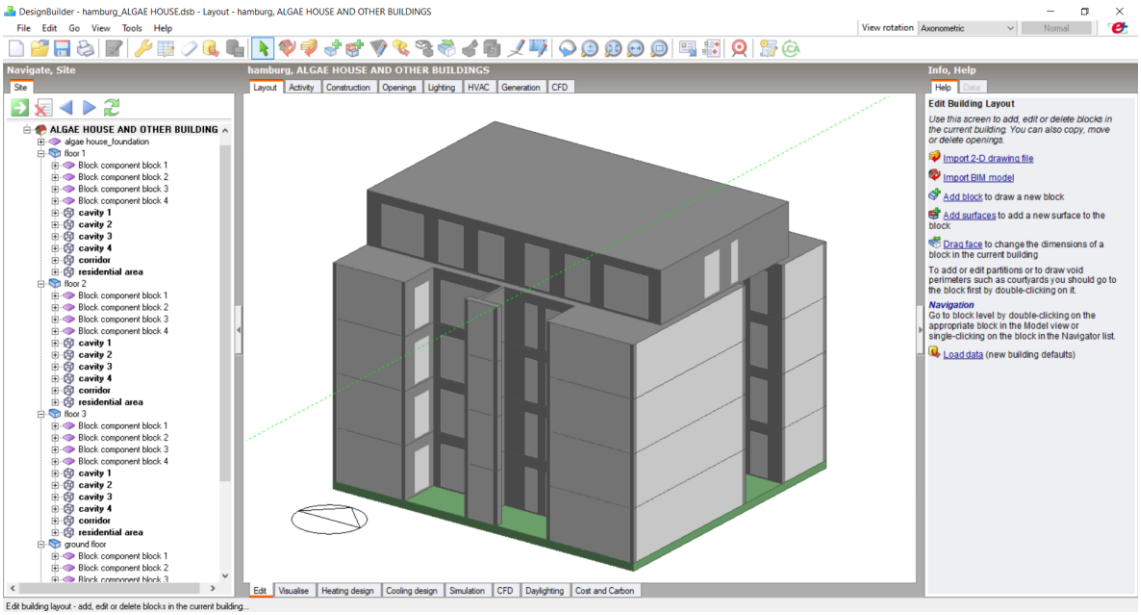
Şekil 3. 14. BIQ Binası'nın DesignBuilder programında modellenen çatı katı.



Şekil 3. 15. BIQ Binası'nın DesignBuilder programında modellenen arakatları.

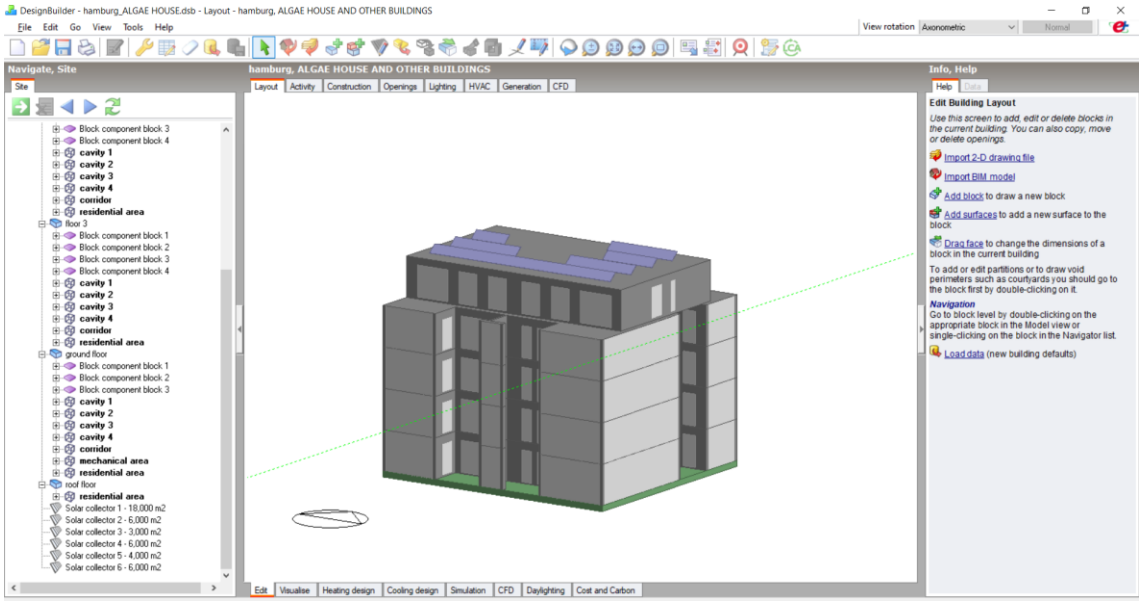


Şekil 3. 16. BIQ Binası'nın DesignBuilder programında modellenen zemin katı.



Şekil 3. 17. BIQ Binası'nın DesignBuilder programında modellenen tüm katları ve temeli.

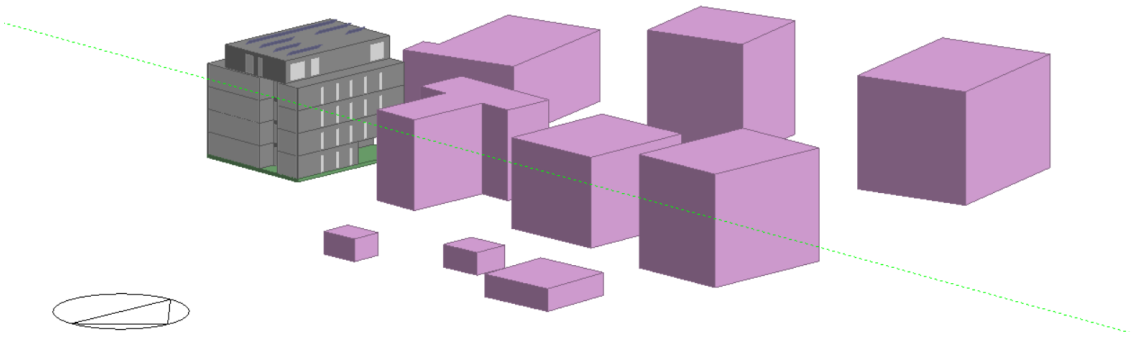
BIQ Binası'nın DesignBuilder programında modellenen tüm katları ve temeli oluşturulduktan sonra, binaya çatının üzerinde yer alan güneş (PV) panelleri eklenmiş ve üretim (generation) kısmında hesaba dahil edilmesi için tanımlamalar yapılmıştır (Şekil 3.18). Daha sonrasında da çevre binalar, kat sayıları literatürdeki görsellerden referans alınarak bileşen (component) olarak modele dahil edilmiştir (Şekil 3.19 - 3.20).



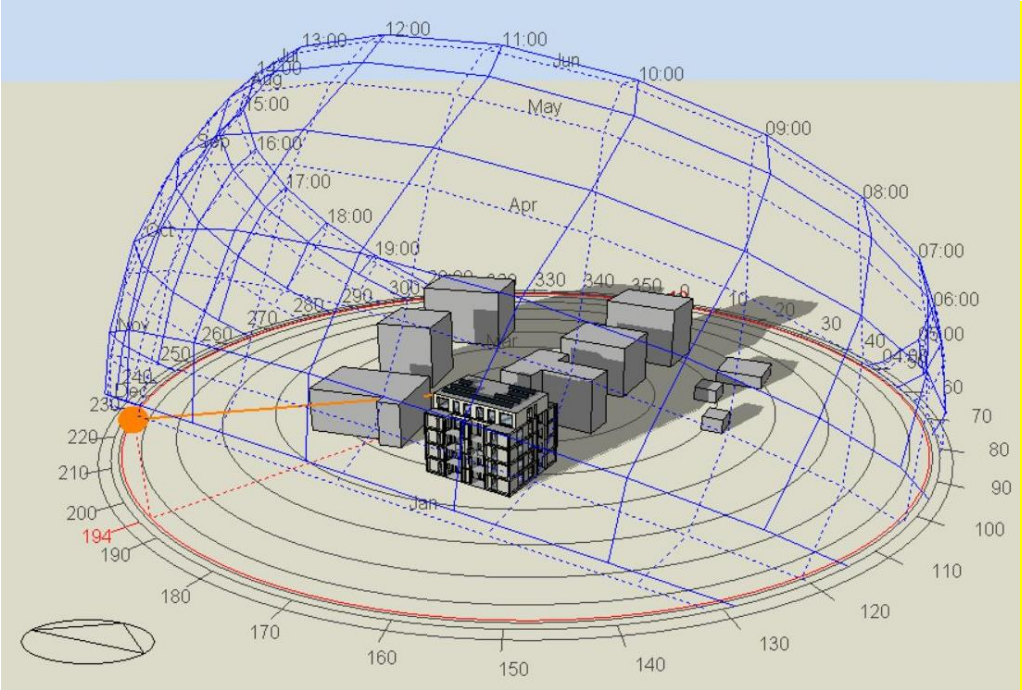
Şekil 3. 18. BIQ Binası'nın modeline güneş panellerinin eklenmesi.



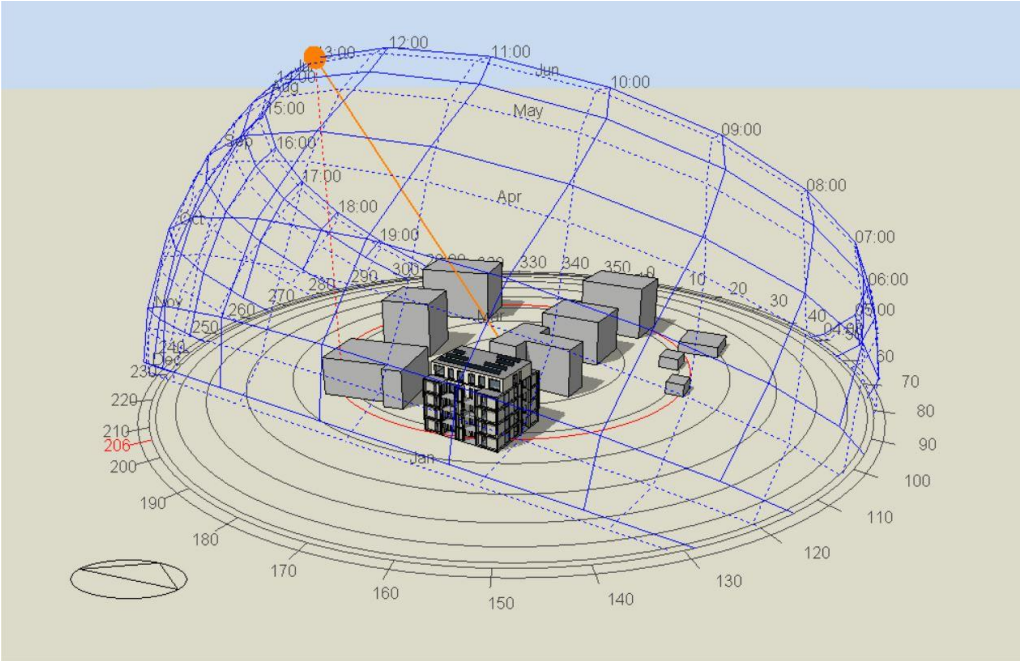
Şekil 3. 19. BIQ Binası çevresindeki diğer binalar (internationale-bauausstellung-hamburg.de).



Şekil 3. 20. BIQ Binası çevresindeki diğer binaların modele eklenmesi.



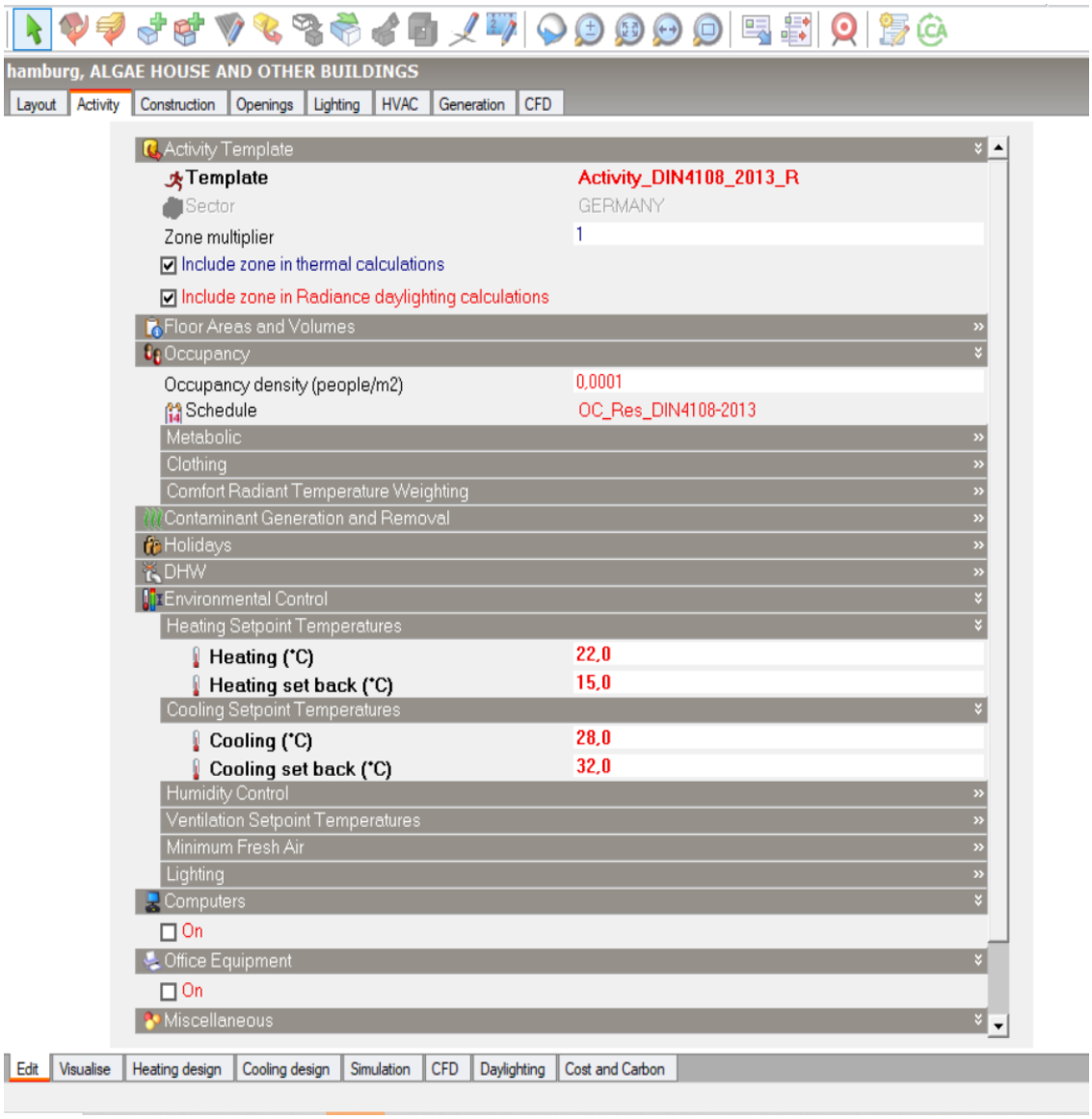
Şekil 3. 21. BIQ Binası'nın kış dönemi (21 Aralık) gün ışığı ve gölge analizi.



Şekil 3. 22. BIQ Binası'nın yaz dönemi (21 Haziran) gün ışığı ve gölge analizi.

BIQ Binası'nın kış dönemi (21 Aralık) gün ışığı ve gölge analizi Şekil 3.21'de, yaz dönemi (21 Haziran) gün ışığı ve gölge analizi ise Şekil 3.22'de yer almaktadır.

Model tamamlandıktan sonra ısıl bölgeleri (zones) fonksiyon (activity) tanımları yapılarak genel değerleri girilmiştir. Modeldeki boşluk kısımları 'oturulmayan' (unoccupied), koridorlar 'yerleşim-koridor (düzenli olarak kullanılır)' (residential-corridor (used regularly)), yaşam alanları 'yerleşim-konut (mutfaklı)' (residential-dwelling unit (with kitchen) ve mekanik alan ise 'yerleşim dışı' (nonresidential) olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.14 – Şekil 3.16). Fonksiyon (activity) kısmındaki gerekli veriler, BIQ Binası pasif ev olduğu için bu değerleri sağlayacak şekilde seçimler yapılmıştır (Şekil 3.23).

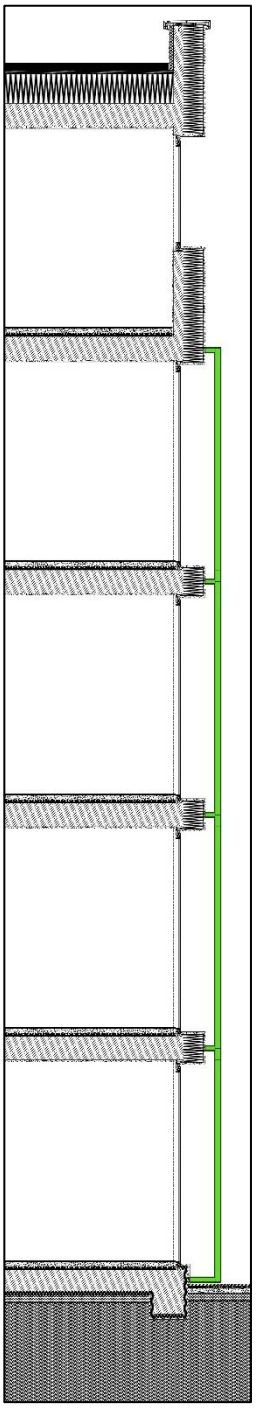


Şekil 3. 23. Fonksiyon (activity) kısmının tanımlanması.

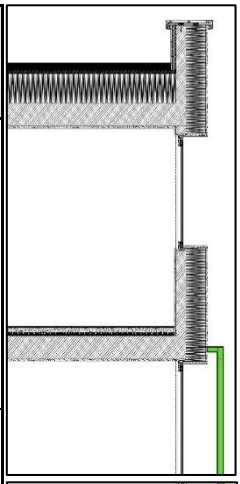
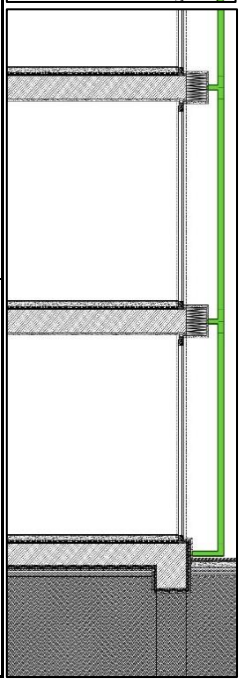
Programda fonksiyon özellikleri (activity) kısmından sonra modelde yapı elemanlarının özellikleri (conctruction ve openings) yine pasif ev standartları göz önünde bulundurularak aşağıdaki Çizelge 3.4 ve 3.5 ’deki gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 3. 4. BIQ Binası’nın programa tanımlanan yapı elemanları (çatı, duvarlar, pencereler) özellikleri.

Yapı Elemanları		Yapı Eleman Katmanları	U değeri W/m²K
Çatı	teras çatı	DIŞ YÜZEY 50 mm seramik/kil karolar- seramik yer karoları 100 mm çimento/alçı/harç- çimento şap 400 mm EPS (Genleştirilmiş Polistiren) (Ağır) 200 mm Dökme Beton 25 mm çimento/alçı/harç- çimento harcı (ölçekli değil) İÇ YÜZEY	0,084
Duvarlar	dış duvar	DIŞ YÜZEY 30 mm çimento/alçı/harç- çimento harcı (ölçekli değil) 300 mm EPS (Genleştirilmiş Polistiren) (Hafif) 15 mm çimento/alçı/harç- çimento harcı (ölçekli değil) 150 mm EPS Bileşen Blok Malzemesi 25 mm çimento/alçı/harç- çimento harcı (ölçekli değil) İÇ YÜZEY	0,139
	iç duvar	DIŞ YÜZEY 25 mm çimento/alçı/harç- çimento harcı (ölçekli değil) 150 mm EPS Bileşen Blok Malzemesi 25 mm çimento/alçı/harç- çimento harcı (ölçekli değil) İÇ YÜZEY	1,381
Pencereler	standart	SHGC: 0,466 Işık geçirgenliği: 0,624	0,781
	alg	SHGC: 0,270 Işık geçirgenliği: 0,21	5,1



Çizelge 3. 5. BIQ Binası'nın programa tanımlanan BIQ Bina yapı elemanları (döşemeler) özellikleri.

Yapı Elemanları		Yapı Eleman Katmanları	U değeri (W/m²k)	
Döşemeler	iç döşeme	DIŞ YÜZEY 8 mm kireç taşı, ekstra sert (ölçülü değil) 100 mm EPS (Genleştirilmiş Polistiren) (Ağır) 200 mm Dökme Beton İÇ YÜZEY	0,302	
	dış döşeme	DIŞ YÜZEY 8 mm kireç taşı, ekstra sert (ölçülü değil) 100 mm EPS (Genleştirilmiş Polistiren) (Ağır) 25 mm dış sıva 200 mm Dökme Beton 25 mm çimento/alçı/harç- çimento sıvası İÇ YÜZEY	0,295	
	zemin döşemesi	DIŞ YÜZEY 8 mm kireç taşı, ekstra sert (ölçülü değil) 400 mm EPS (Genleştirilmiş Polistiren) (Ağır) 100 mm Dökme Beton 80 mm Üre Formaldehit Köpüğü İÇ YÜZEY	0,194	

Fonksiyon (activity) kısmında ısıtma ortam sıcaklığı (heating) 20 °C, ısıtma eşik değeri (heating set back) 15 °C; soğutma ortam sıcaklığı (cooling) 27 °C, soğutma eşik değeri (cooling set back) 30 °C olarak belirlenmiştir.

Son olarak 'Aydınlatma' (Lighting) ve 'HVAC' (Heating, Ventilating and Air Conditioning /Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) kısımlarındaki gerekli veri girişi tamamlanmıştır. Modelde girilen bu değerler Çizelge 3.6'da verilmektedir.

Çizelge 3. 6. Fonksiyon ve bina özelliklerine uygun modele girilen değerler.

Fonksiyon (Activity)	**Isıtma**	Ortam Sıcaklığı (°C)	20
		Eşik Değeri (°C)	15
	Soğutma	Ortam Sıcaklığı (°C)	27
		Eşik Değeri (°C)	30
	Doğal Havalandırma	Minimum Sıcaklık (°C)	26
	Aydınlatma	Hedef Aydınlatma (lux)	200
Bina (Construction)	**Hava Geçirmezlik**	Sabit Oran (ac/h)	0,6

Bu çalışmada, kullanılan DesignBuilder programının 6.1.006 / EnergyPlus 8.9 versiyonunda seçilen bina konumuna göre iklim verileri programın içinde var olan iklim dosyalarından otomatik olarak çekilmektedir. Farklı meterolojik kaynaklarla karşılaştırıldığında bu iklim verilerinin çok güncel olmadığı görülmektedir. RETScreen/NASA'dan alınan güncel Hamburg kentinin iklim verileri Çizelge 3.7'de yer almaktadır. Burada Isıtma Derece Gün (Heating Degree Day) için 18 °C iken Soğutma Derece Gün (Cooling Degree Day) için ise 10 °C'dir.

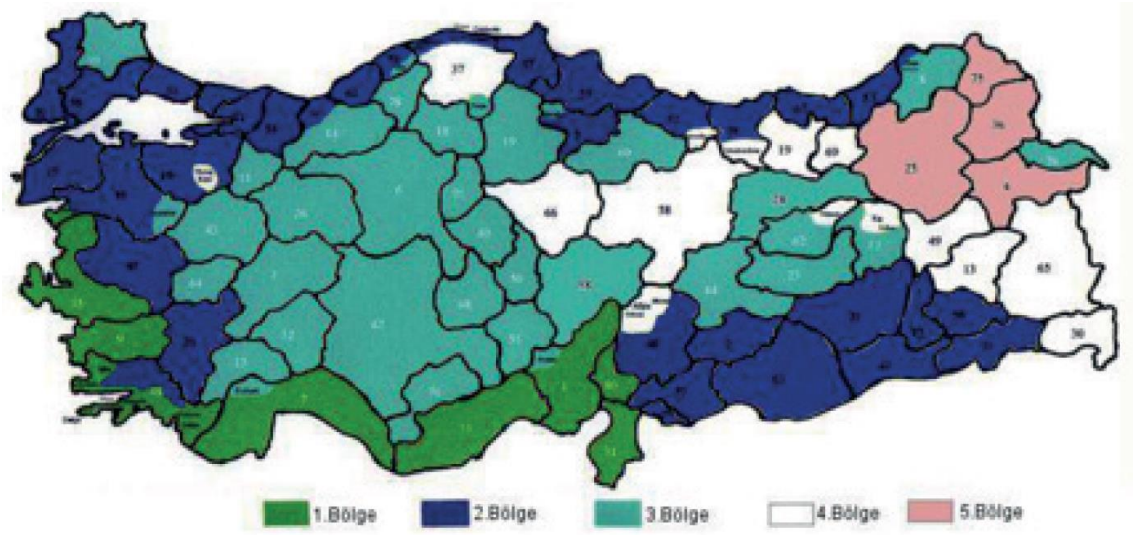
Çizelge 3. 7. BIQ Binası'nın bulunduğu Hamburg kentinin iklimsel verileri.

Aylar	**Hava sıcaklığı (°C)**	**DesignBuilder Hava sıcaklığı (°C)**	**Bağıl nem(%)**	**HDD Isıtma derece-gün 18 °C**	**CDD Soğutma derece-gün 10 °C**	**Günlük güneş radyasyonu-yatay (kWh/m²/g)**
Ocak	0,5	-1,07	88,3	543	0	0,52
Şubat	1,1	0,82	83,2	473	0	1,13
Mart	3,7	3,96	80	443	0	2,12
Nisan	7,3	6,98	73,8	321	0	3,54
Mayıs	12,2	9,28	71	180	68	4,81
Haziran	15,5	13,16	72,6	75	165	5,01
Temmuz	16,8	13,68	73,5	37	211	4,8
Ağustos	16,6	15,29	75,6	43	205	4,16
Eylül	13,5	11,64	80,4	135	105	2,77
Ekim	9,7	9,15	83,4	257	0	1,55
Kasım	5,1	3,69	87	387	0	0,68
Aralık	1,9	1,78	88,7	499	0	0,39
Yıllık	**8,7**	**7,36**	**79,8**	**3394**	**754**	**2,63**

3.2.2. Türkiye'deki Farklı İklim Bölgeleri için Seçilen Örnek İller

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle ılıman ve subtropikal iklim kuşağı içinde yer almaktadır. Üç tarafının denizlerle çevrili oluşu ve çeşitli yer şekillerine sahip olması, dağların kıyıya uzanış yönlerindeki değişiklikler gibi nedenlerden dolayı ülkede farklı iklim bölgeleri bulunmaktadır (mgm.gov.tr).

Binaların yıllık ısıtma enerjisi hesaplamalarında TS 825 'Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı kullanılmaktadır. 2013 yılında revize edilen Standard, Türkiye dış ortam sıcaklıklarının değişimine bağlı olarak 4 Derecegün Bölgesinden 5 Derecegün Bölgesine çıkarılmıştır (Şekil 3.24), (Atmaca, 2016).



Şekil 3. 24. 2013 yılında güncellenen TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına Göre Derecegün Bölgeleri.

DesignBuilder programı içeriğinde Türkiye için güncel veriye sahip sadece üç il bulunmaktadır. Bunlar: İstanbul, Ankara ve İzmir'dir. Çalışma sonuçlarının elde edilmesinde DesignBuilder programında iklim özellikleri tanımlı bu üç il üzerinden ilerlenmektedir. Ayrıca referans binanın yer aldığı Hamburg verileri de DesignBuilder programında yer almaktadır. Farklı meteorolojik kaynaklarla karşılaştırıldığında bu illere ait iklim verilerinin de çok güncel olmadığı görülmektedir. Ancak hesaplamalarda programda mevcut olan bu iklim verileri kullanılmıştır.

Referans model oluşturulduktan sonra 1. Derecegün Bölgesi için İzmir, 2. Derecegün Bölgesi için İstanbul, 3. Derecegün Bölgesi için Ankara modellemeleri oluşturulmuş ve sistem bu şehirler için ayrı ayrı simüle edilmiştir.

İzmir için iklim verileri Çizelge 3.8'de; İstanbul için Çizelge 3.9'da ve Ankara için Çizelge 3.10'da verilmektedir.

DesignBuilder hava sıcaklığı verileri; güncel veriler ile karşılaştırıldığında güncel verilerin genel olarak daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, küresel ısınma sonucu oluşan iklim değişiklikleri ile açıklanabilmektedir.

Çizelge 3. 8. İzmir kentinin iklimsel verileri.

Aylar	Hava sıcaklığı (°C)	DesignBuilder Hava sıcaklığı (°C)	Bağıl nem(%)	HDD Isıtma derece-gün 18 °C	CDD Soğutma derece-gün 10 °C	Günlük güneş radyasyonu-yatay (kWh/m²/g)
Ocak	7,9	8,5	70,9	313	0	2,16
Şubat	8,1	6,08	67,7	277	0	2,87
Mart	11	10,9	65,2	217	31	4,19
Nisan	15,4	16,5	63,9	78	162	5,20
Mayıs	20,3	18,43	58,5	0	319	6,58
Haziran	24,8	18,44	51,4	0	444	7,58
Temmuz	27,3	26,27	48,6	0	536	7,58
Ağustos	26,6	26,5	52,4	0	515	6,70
Eylül	22,7	23,33	56,4	0	381	5,41
Ekim	17,7	16,78	63,4	9	239	3,73
Kasım	12,7	11,71	69,9	159	81	2,38
Aralık	9,2	9,75	72,7	273	0	1,79
Yıllık	**17**	**16,1**	**61,7**	**1326**	**2708**	**4,69**

Çizelge 3. 9. İstanbul kentinin iklimsel verileri.

Aylar	Hava sıcaklığı (°C)	DesignBuilder Hava sıcaklığı (°C)	Bağıl nem(%)	HDD Isıtma derece-gün 18 °C	CDD Soğutma derece-gün 10 °C	Günlük güneş radyasyonu-yatay (kWh/m²/g)
Ocak	6	3,5	78,2	372	0	1,68
Şubat	5,6	4,27	76,2	347	0	2,45
Mart	7,5	6,71	74,5	326	0	3,65
Nisan	12	10,8	71,6	180	60	4,82
Mayıs	16,8	14,13	70,5	37	211	6,27
Haziran	21,6	20,73	67,3	0	348	7,21
Temmuz	24,3	24,5	66,4	0	443	7,3
Ağustos	24,3	24,49	68,3	0	443	6,41
Eylül	20,8	21,31	69,4	0	324	5,01
Ekim	16,2	14,75	75,2	56	192	3,14
Kasım	11,3	10,95	76,9	201	39	1,91
Aralık	7,8	5,27	78,5	316	0	1,38
Yıllık	**14,6**	**13,45**	**72,7**	**1835**	**2061**	**4,28**

Çizelge 3. 10. Ankara kentinin iklimsel verileri.

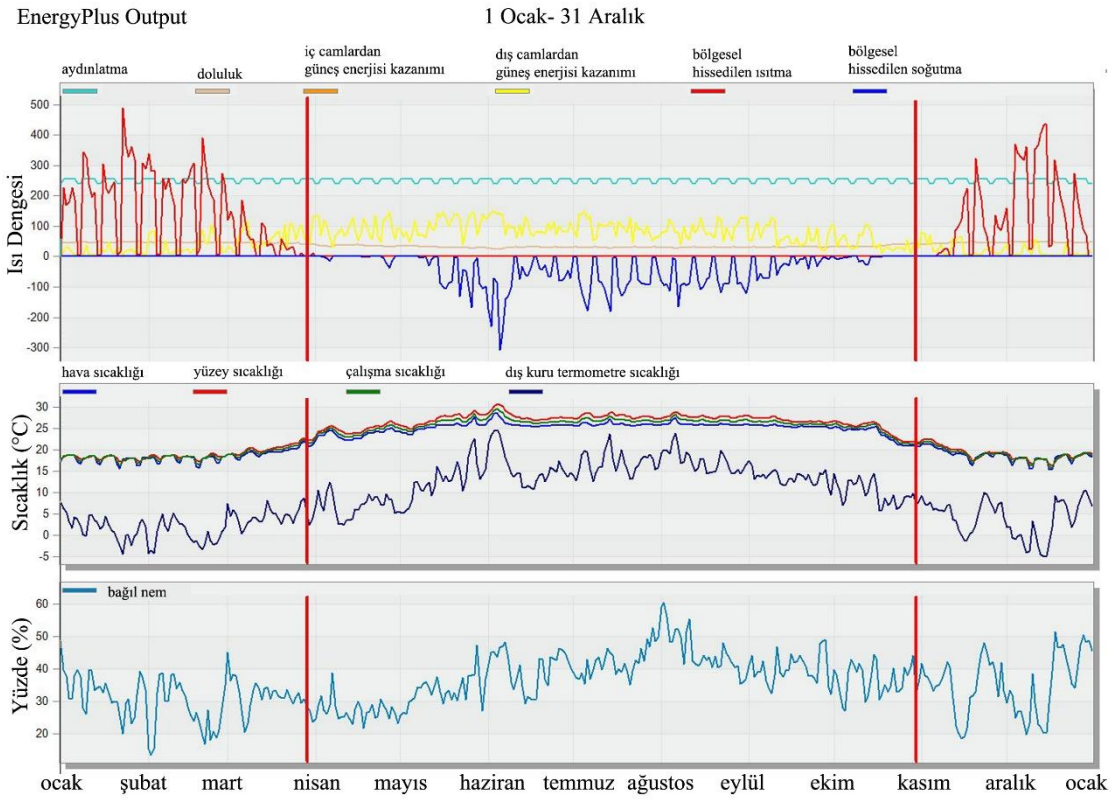
Aylar	Hava sıcaklığı (°C)	DesignBuilder Hava sıcaklığı (°C)	Bağıl nem(%)	HDD Isıtma derece-gün 18 °C	CDD Soğutma derece-gün 10 °C	Günlük güneş radyasyonu-yatay (kWh/m²/g)
Ocak	0	-1,86	78,7	558	0	2,06
Şubat	1,2	0,3	77,8	470	0	2,87
Mart	5,3	4,88	65,4	394	0	4,08
Nisan	10,8	7,11	63	216	24	4,85
Mayıs	15,7	13,5	59,8	71	177	6,04
Haziran	19,6	17,1	55,8	0	288	6,89
Temmuz	23,1	22,18	48,5	0	406	7,16
Ağustos	23,1	21,73	47,3	0	406	6,25
Eylül	18,1	15,45	52,4	0	243	5,07
Ekim	12,3	10,93	63,4	177	71	3,46
Kasım	5,5	3,64	74	375	0	2,32
Aralık	1,8	0,5	80	502	0	1,7
Yıllık	**11,4**	**9,62**	**63,4**	**2763**	**1615**	**4,4**

3.3. Bulgular

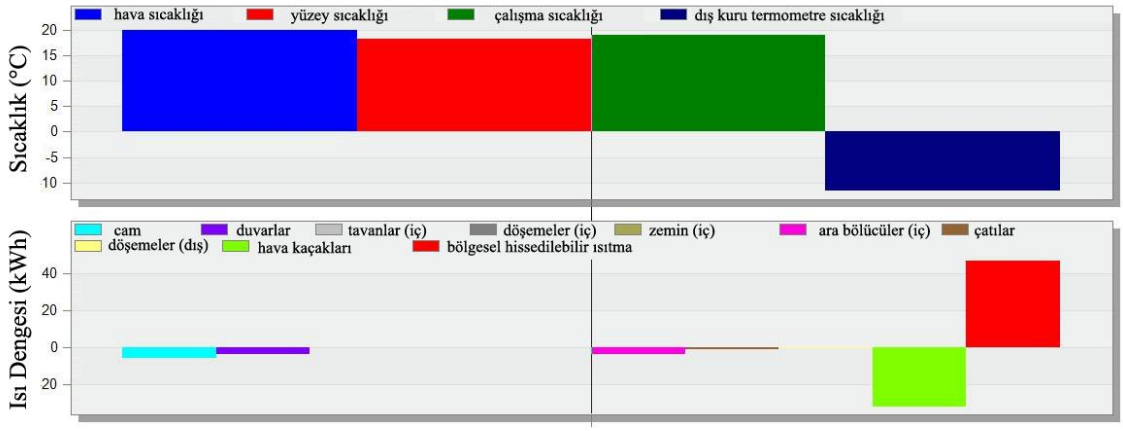
EnergyPlus tabanlı DesignBuilder simülasyonuyla Hamburg ve seçilen şehirlerin elde edilen programa ait çıktıları bu bölümde verilmektedir.

3.3.1. Hamburg Verileri

Referans binanın bulunduğu Hamburg şehri için; dış sıcaklık değerleri kış döneminde düşük olup bu durum ısıtma yükünü artırmaktadır. Yaz döneminde ise sıcaklık değerleri yükselmekte bu da soğutma yüküne yansımaktadır. Bağıl nem sıcaklıkla doğru orantılı bir grafik izlerken ısıtma yükünün soğutma yükünden daha fazla olduğu görülmektedir. Isıtma yükü en fazla Aralık- Ocak- Şubat aylarındadır (Şekil 3.25). İç ortamda yüzey sıcaklığının hava sıcaklığı ile etkin sıcaklığın arasında yer aldığı görülmekteyken dış hava sıcaklığı ise bu değerlerin altında kalmaktadır. Isı kayıplarının en fazla gerçekleştiği yapı elemanları sırasıyla pencereler ve duvarlar şeklindedir (Şekil 3.26).



Şekil 3. 25. Hamburg'a ait simülasyon sonuçları.

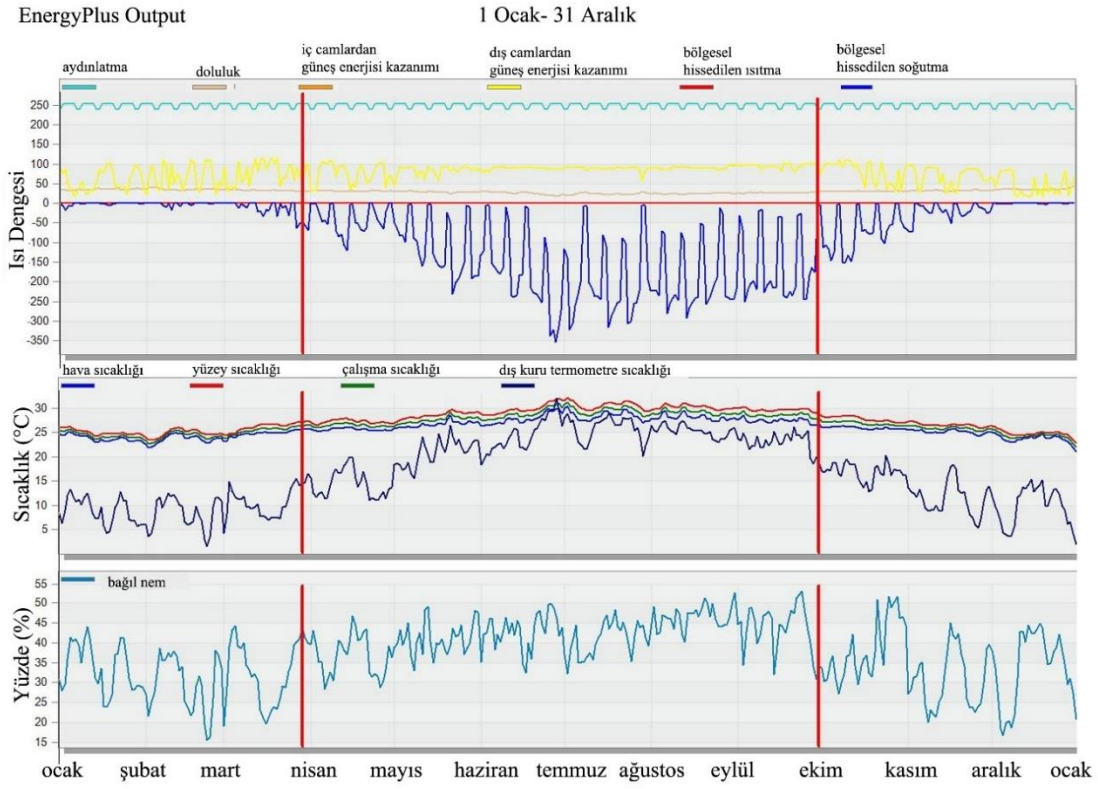


Şekil 3. 26. Hamburg'a ait iç ortam ve yapı elemanları termal tasarım simülasyon sonuçları.

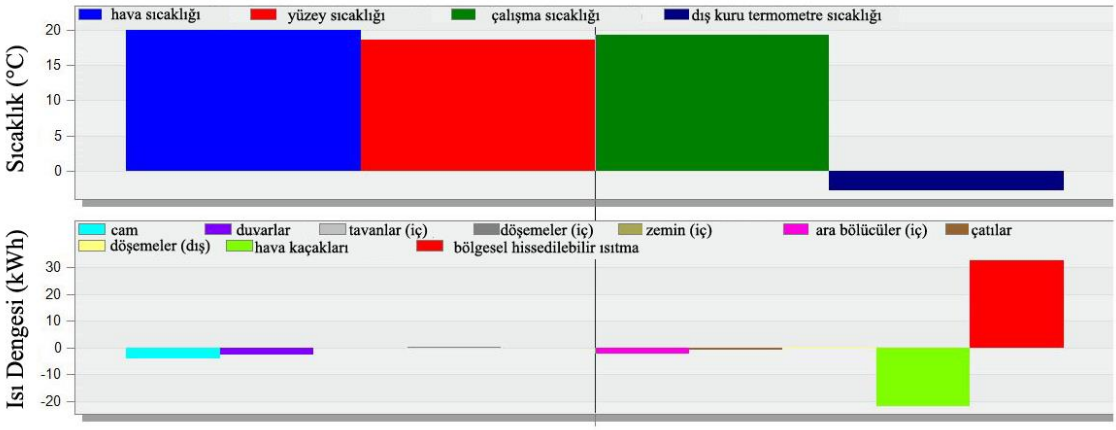
3.3.2. Türkiye'deki Farklı İklim Bölgeleri için Seçilen Örnek İllerin Verileri

Aşağıda seçilen örnek iller (İstanbul, İzmir, Ankara) için simülasyon sonucu elde edilen program çıktıları yer almaktadır. Binanın ısıtma ve soğutma dönemi bir yıl boyunca aylara göre değişen ısı dengesi, sıcaklık ve bağıl nem değerleri verilmektedir. Grafiklerde yer alan 'etkin sıcaklık' (operative temperature), 'hava sıcaklığı' (air temperature) ve 'yüzey sıcaklığı'nın (radient temperature) ortalamasını oluşturmaktadır.

1. Derecegün Bölgesi İzmir için; dış sıcaklık değerleri kış döneminde diğer illere göre oldukça yüksektir. Bu durum iyi yalıtımlı bina kabuğunda ısıtma yükü oluşturmamaktadır. Ancak, yaz döneminde sıcaklık değerleri yükselmekte bu da soğutma yüküne yansımaktadır. Yaz döneminde ise sıcaklık değerleri yüksek olduğu için soğutma yükü fazladır. En çok soğutma yükünün Temmuz-Ağustos aylarındadır (Şekil 3.27). Isı kayıplarının en fazla gerçekleştiği yapı elemanları sırasıyla pencereler, duvarlar ve döşemeler şeklindedir (Şekil 3.28).



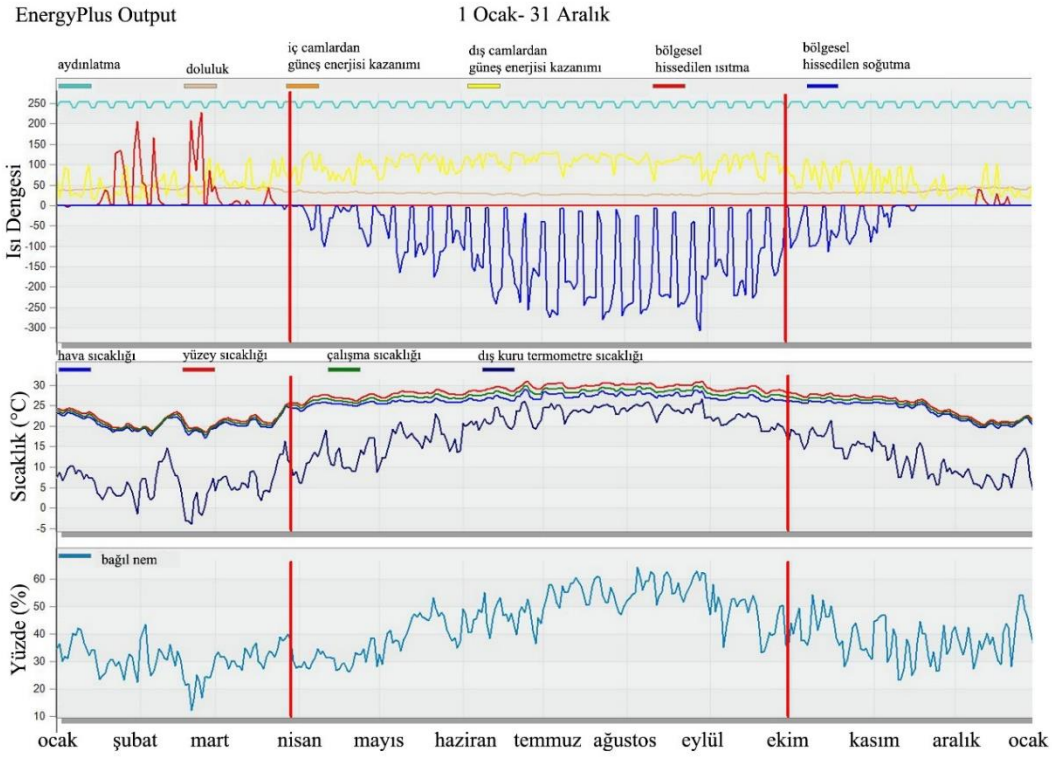
Şekil 3. 27. İzmir'e ait simülasyon sonuçları.



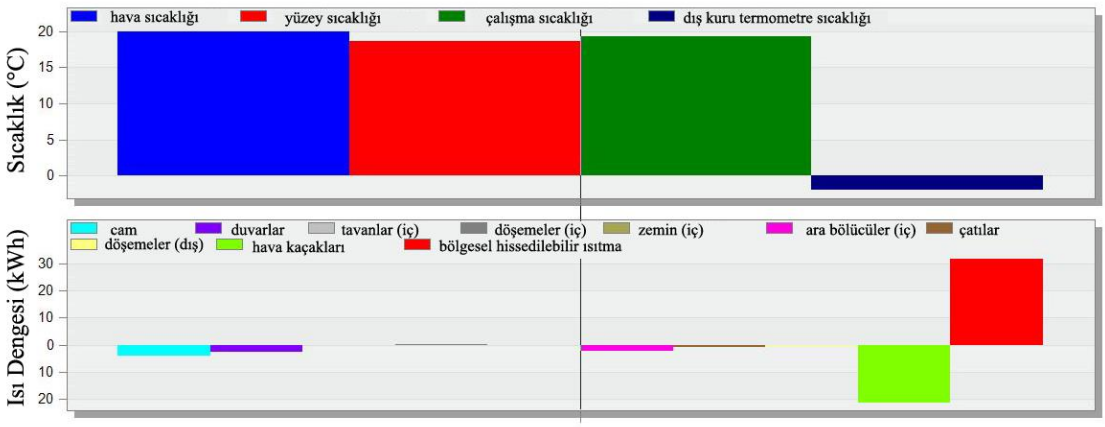
Şekil 3. 28. İzmir'e ait iç ortam ve yapı elemanları termal tasarım simülasyon sonuçları.

2. Derecegün Bölgesi İstanbul için; dış sıcaklık değerleri kış döneminde düşük olup bu durum ısıtma yükünü artırmaktadır. Yaz döneminde ise sıcaklık değerleri yükselmekte bu da soğutma yüküne yansımaktadır. Bağıl nem sıcaklıkla doğru orantılı bir grafik izlerken soğutma yükünün ısıtma yükünden daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.29). İç ortamda yüzey sıcaklığının hava sıcaklığı ile etkin sıcaklığın arasında yer

aldığı görülmektedir. Isı kayıplarına yol açan bina elemanları sırayla pencereler, duvarlar ve döşemeler şeklindedir (Şekil 3.30).



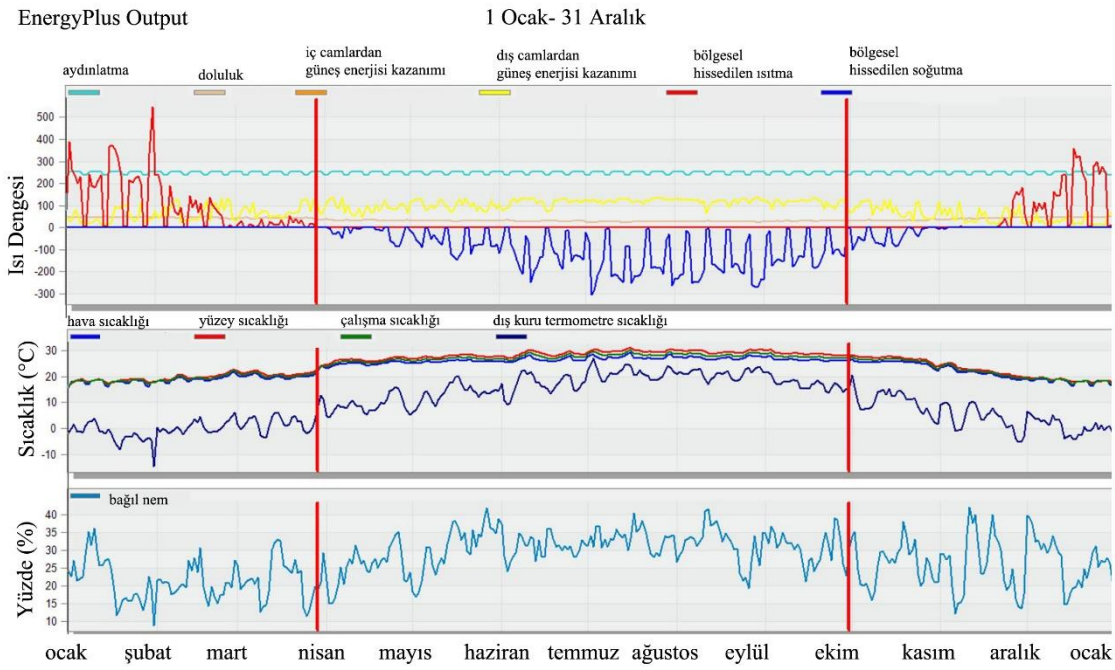
Şekil 3. 29. İstanbul'a ait simülasyon sonuçları.



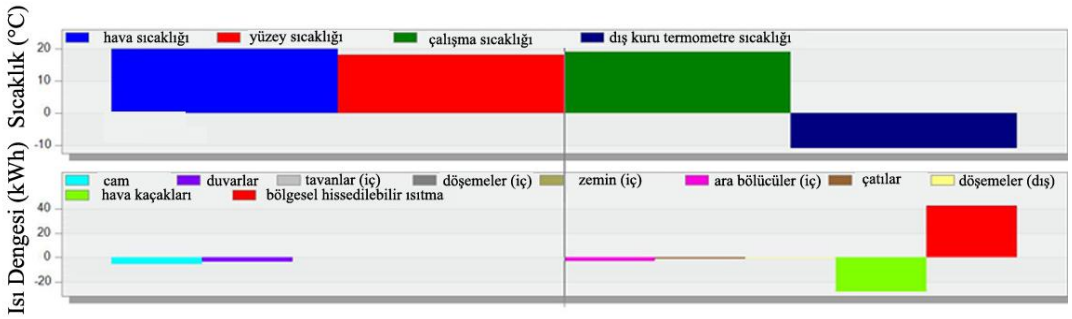
Şekil 3. 30. İstanbul'a ait iç ortam ve yapı elemanları termal tasarım simülasyon sonuçları.

3. Derecegün Bölgesi Ankara için; dış sıcaklık değerleri kış döneminde düşük olup bu durum ısıtma yükünü artırmaktadır. Yaz döneminde dış sıcaklık değerleri yükselmekte, bu da soğutma yüküne yansımaktadır. Bağıl nem sıcaklıkla doğru orantılı

bir grafik izlerken ısıtma yükünün soğutma yükünden oldukça daha fazla olduğu görülmektedir. Isıtma yükünün en fazla Ocak- Şubat aylarındadır (Şekil 3.31). İç ortamda yüzey sıcaklığının hava sıcaklığı ile etkin sıcaklığın arasında yer aldığı görülmekteyken dış hava kuru sıcaklığı ise bu değerlerin altında kalmaktadır. Isı kayıplarının en fazla gerçekleştiği yapı elemanları sırasıyla pencereler, duvarlar ve döşemeler şeklindedir (Şekil 3.32).



Şekil 3. 31. Ankara'ya ait simülasyon sonuçları.



Şekil 3. 32. Ankara'ya ait iç ortam ve yapı elemanları termal tasarım simülasyon sonuçları.

BIQ binasının plan şeması ve bina elemanları katman özelliklerinin sabit tutulup iklim verileri değiştirilerek elde edilen simülasyon sonuçlarına baktığımızda;

- Ankara, ısıtma yükü en fazla olan ildir.
- İzmir, soğutma yükü en fazla olan ildir.
- Isı kayıplarının ise tüm iller için en fazla pencereler ve duvarlardan olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlarla birlikte seçilen iller için yapı elemanlarına (duvar, çatı, zemin) uygulanan ısı yalıtım kalınlıklarının değiştirilmesinin U değeri üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Ayrıca; TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kurallarında yer alan Derecegün Bölgelerine göre; verilen U değerleri, simülasyon sonucunda çıkan değerlerle karşılaştırılmıştır (Çizelge 3.11, Çizelge 3.12 ve Çizelge 3.13).

Duvarlar için U değerlerinin; TS 825'e en yakın yalıtım kalınlıkları İzmir için 4 cm, Ankara için 8 cm ve İstanbul için ise 6,5 cm olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. 11. Duvarlarda değişen ısı yalıtım kalınlıklarına göre U değerleri.

Duvarda Isı Yalıtım Kalınlığı (cm)	**Duvar-U değeri (W/m²K)**	**TS 825-U değerleri (W/m²K)**		
		İzmir	**Ankara**	**İstanbul**
30	0,139	0,66	0,43	0,57
15	0,255			
10	0,353			
8	0,416			
6,5	0,482			
5	0,572			
4	0,653			
3	0,761			

Çizelge 3. 12. Çatıda değişen ısı yalıtım kalınlıklarına göre U değerleri.

Çatıda Isı Yalıtım Kalınlığı (cm)	**Çatı-U değeri (W/m²K)**	**TS 825-U değerleri (W/m²K)**		
		İzmir	**Ankara**	**İstanbul**
40	0,084	0,43	0,43	0,38
30	0,11			
20	0,161			
10	0,299			

Çizelge 3. 13. Zeminde değişen ısı yalıtım kalınlıklarına göre U değerleri.

Zeminde Yalıtım Kalınlığı (cm)	Zemin-U değeri (W/m²K)	TS 825-U değerleri (W/m²K)		
		İzmir	Ankara	İstanbul
30	0,092	0,66	0,57	0,28
20	0,125			
10	0,194			

Daha sonrasında ısı yalıtım kalınlıklarının farklılaşmasına göre illerdeki ısıtma ve soğutma değerlerinin değişimi simülasyon programı üzerinden hesaplanmıştır. İzmir için değerlerin değişimi Çizelge 3.14'te, İstanbul için değerler Çizelge 3.15'te ve Ankara için değerler ise Çizelge 3.16'da verilmektedir. Bu sonuçlara göre; duvar, çatı ve zemin için ısı yalıtım kalınlıkları artıkça ısıtma ihtiyacı değeri düşmektedir. Bu durum soğutma yükünde doğru orantılı olarak değişmektedir. Zemin ısı yalıtımındaki 10 cm'lik azaltmalar ısıtma yükünde küçük artışlara neden olmaktadır. Soğutmada ise bu artışlar daha minimaldir. Aynı durum çatıdaki değişimler için de geçerlidir. Duvarlardaki ısı yalıtım kalınlıklarının değişiminin ısıtma ve soğutmada daha belirgin sonuçlara yol açtığı görülmektedir.

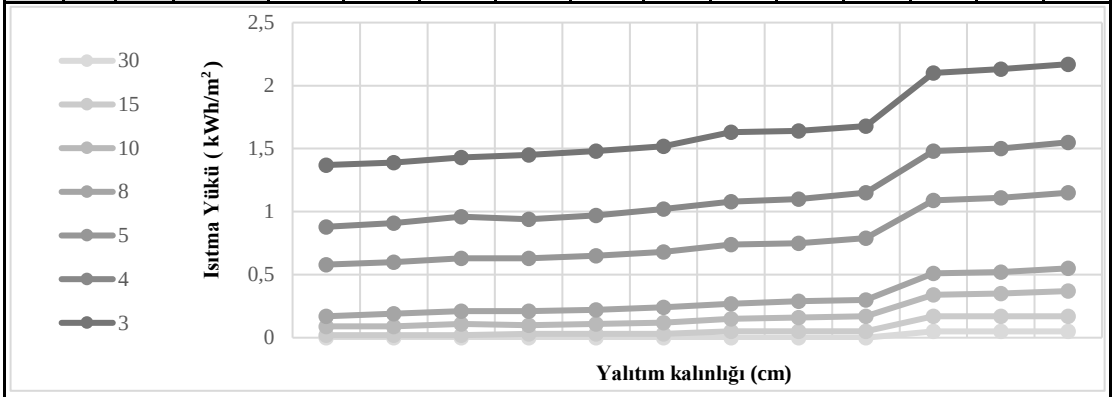
İzmir için; çatı, zemin ve duvar elemanlarında ısı yalıtım kalınlıklarındaki değişimlerin U değeri, ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacına etkileri değişkenlik göstermektedir. Oldukça yüksek olan ısı yalıtım kalınlıklarının azalması sonuçlarda dramatik bir etki görülmemektedir. Azalma oranlarının kendi içinde tutarlı olduğu izlenebilmektedir (Çizelge 3.14).

İstanbul için; çatı, zemin ve duvar elemanlarında ısı yalıtım kalınlıklarındaki değişimlerin U değeri, ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacına etkileri değişmektedir. İstanbul'da İzmir'e göre ısıtma ihtiyacı artarken soğutma ihtiyacı düşüş göstermektedir (Çizelge 3.15).

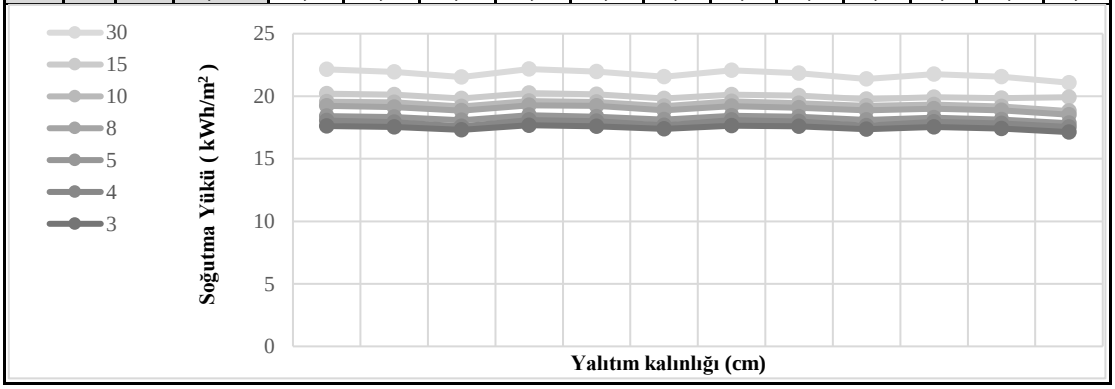
Ankara için; çatı, zemin ve duvar elemanlarında ısı yalıtım kalınlıklarındaki değişimlerin U değeri, ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacına etkileri değişmektedir. İstanbul ve İzmir'e göre ısıtma ihtiyacı artarken soğutma ihtiyacı düşüş göstermektedir. Ayrıca sıcak iklim bölgesinde yüksek yalıtım kalınlığının soğutma ihtiyacını artırdığı dikkati çekmektedir (Çizelge 3.16).

Çizelge 3. 14. İzmir'de yapı elemanlarında ısı yalıtım kalınlıklarının değişiminin ısıtma ve soğutma ihtiyacına etkileri.

Zemin Yalıtım Kalınlığı (cm)			30	20	10	30	20	10	30	20	10	30	20	10
Zemin-U değeri (W/m²K)			0,092	0,125	0,194	0,092	0,125	0,194	0,092	0,125	0,194	0,092	0,125	0,194
Çatı Yalıtımı Kalınlığı (cm)			40			30			20			10		
Çatı-U değeri (W/m²K)			0,084			0,11			0,161			0,299		
Isıtma Yükü (kWh/m²)														
Duvar Yalıtım Kalınlığı (cm)	30	Duvar-U değeri (W/m²K)	0,139	**0***	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,05	0,05
	15		0,255	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,17	0,17	0,17
	10		0,353	0,09	0,09	0,11	0,1	0,11	0,12	0,15	0,16	0,17	0,34	0,35	0,37
	8		0,416	0,17	0,19	0,21	0,21	0,22	0,24	0,27	0,29	0,3	0,51	0,52	0,55
	5		0,572	0,58	0,6	0,63	0,63	0,65	0,68	0,74	0,75	0,79	1,09	1,11	1,15
	4		0,653**	0,88	0,91	0,96	0,94	0,97	1,02	1,08	1,1	1,15	1,48	1,5	1,55
	3		0,761	1,37	1,39	1,43	1,45	1,48	1,52	1,63	1,64	1,68	2,1	2,13	2,17



Soğutma Yükü (kWh/m²)														
Duvar Yalıtım Kalınlığı (cm)	30	Duvar-U değeri (W/m²K)	0,139	**22,15***	21,94	21,54	22.17	21.96	21.55	22,07	21.85	21,37	21,75	21,56	21,08
	15		0,255	20,21	20,13	19,81	20,25	20,16	19,81	20,12	20,05	19,76	19,91	19,84	19,91
	10		0,353	19,57	19,5	19,18	19,61	19,54	19,21	19,58	19,43	19,22	19,33	19,19	18,81
	8		0,416	19,24	19,13	18,84	19,27	19,22	18,88	19,21	19,08	18,87	19	18,87	18,52
	5		0,572	18,41	18,33	18,07	18,48	18,37	18,13	18,43	18,35	18,1	18,27	18,14	17,84
	4		0,653**	18,04	17,93	17,6	18,09	18	17,67	18,09	17,97	17,65	17,94	17,83	17,54
	3		0,761	17,61	17,53	17,32	17,68	17,59	17,38	17,64	17,59	17,37	17,53	17,42	17,13

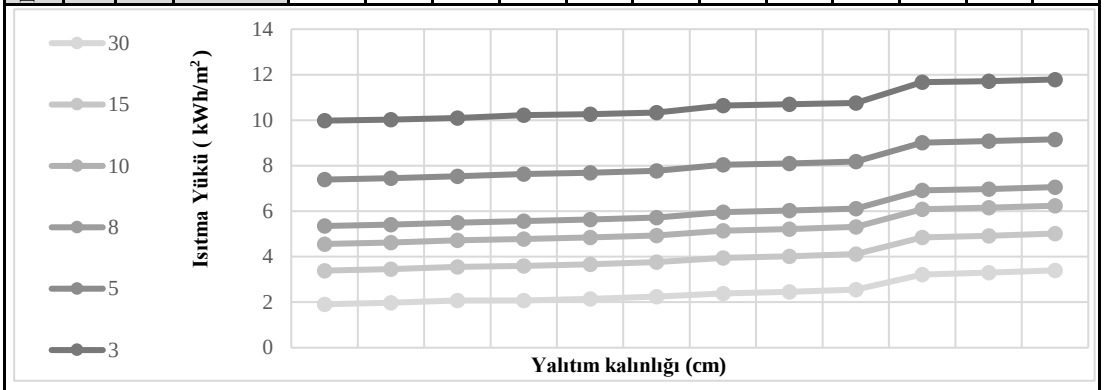


*BIQ Binasının yalıtım kalınlıklarına göre ısıtma ve soğutma değerleri

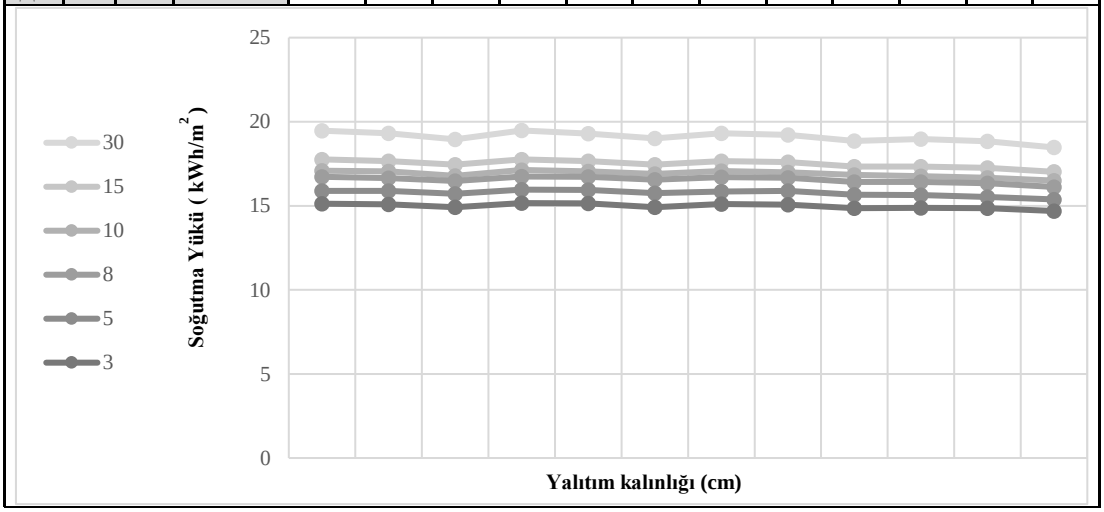
**TS 825' e göre değeri

Çizelge 3. 15. İstanbul'da yapı elemanlarında ısı yalıtım kalınlıklarının değişiminin ısıtma ve soğutma ihtiyacına etkileri.

Zemin Yalıtım Kalınlığı (cm)			30	20	10	30	20	10	30	20	10	30	20	10
Zemin-U değeri (W/m²K)			0,092	0,125	0,194	0,092	0,125	0,194	0,092	0,125	0,194	0,092	0,125	0,194
Çatı Yalıtımı Kalınlığı (cm)			40			30			20			10		
Çatı-U değeri (W/m²K)			0,084			0,11			0,161			0,299		
Isıtma Yükü (kWh/m²)														
Duvar Yalıtım Kalınlığı (cm)	30	Duvar-U değeri (W/m²K)	0,139	1,91*	1,98	2,08	2,08	2,15	2,25	2,38	2,46	2,55	3,22	3,3	3,4
	15		0,255	3,39	3,46	3,56	3,59	3,67	3,76	3,95	4,02	4,12	4,85	4,92	5,02
	10		0,353	4,56	4,63	4,72	4,78	4,85	4,93	5,15	5,22	5,31	6,08	6,15	6,24
	8		0,416	5,35	5,41	5,5	5,57	5,64	5,72	5,96	6,03	6,11	6,91	6,97	7,06
	5		0,572**	7,39	7,45	7,53	7,63	7,69	7,77	8,04	8,1	8,18	9,02	9,08	9,16
	3		0,761	9,98	10,03	10,09	10,22	10,27	10,33	10,65	10,7	10,76	11,67	11,72	11,79



Soğutma Yükü (kWh/m²)														
Duvar Yalıtım Kalınlığı (cm)	30	Duvar-U değeri (W/m²K)	0,139	19,47*	19,31	18,95	19,48	19,29	19,01	19,32	19,21	18,86	18,97	18,84	18,47
	15		0,255	17,76	17,66	17,44	17,76	17,66	17,44	17,65	17,59	17,34	17,34	17,26	17,02
	10		0,353	17,08	17,05	16,78	17,13	17,04	16,9	17,06	16,99	16,83	16,76	16,66	16,5
	8		0,416	16,72	16,65	16,47	16,74	16,72	16,55	16,71	16,67	16,42	16,42	16,35	16,12
	5		0,572**	15,89	15,88	15,71	15,96	15,95	15,75	15,85	15,89	15,65	15,64	15,53	15,38
	3		0,761	15,13	15,09	14,91	15,16	15,14	14,91	15,11	15,07	14,86	14,87	14,86	14,69

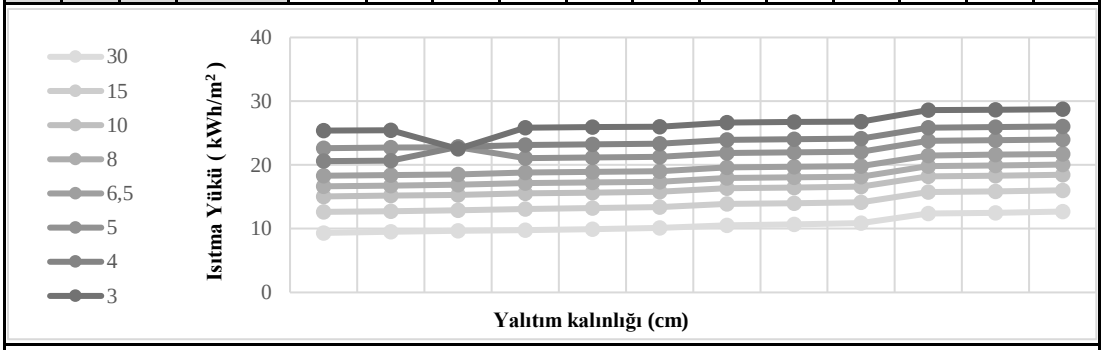


*BIQ Binasının yalıtım kalınlıklarına göre ısıtma ve soğutma değerleri

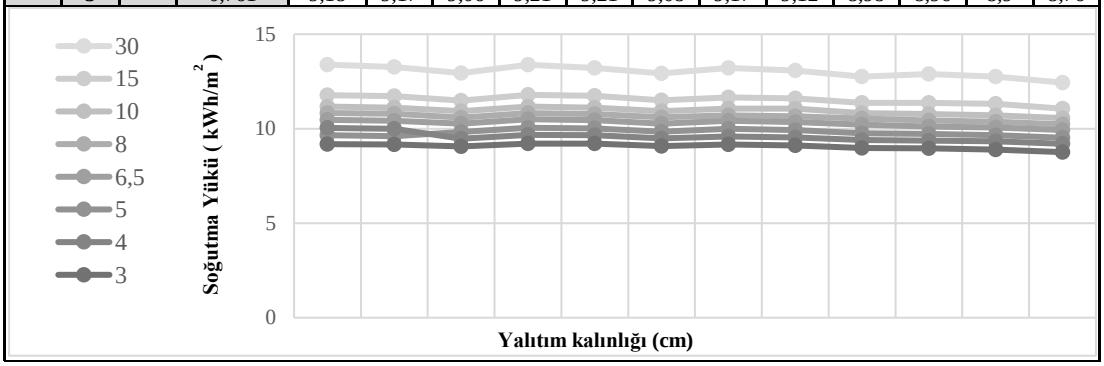
**TS 825' e göre değeri

Çizelge 3. 16. Ankara'da yapı elemanlarında ısı yalıtım kalınlıklarının değişiminin ısıtma ve soğutma ihtiyacına etkileri.

Zemin Yalıtım Kalınlığı (cm)			30	20	10	30	20	10	30	20	10	30	20	10
Zemin-U değeri (W/m²K)			0,092	0,125	0,194	0,092	0,125	0,194	0,092	0,125	0,194	0,092	0,125	0,194
Çatı Yalıtımı Kalınlığı (cm)			40			30			20			10		
Çatı-U değeri (W/m²K)			0,084			0,11			0,161			0,299		
Isıtma Yükü (kWh/m²)														
Duvar Yalıtım Kalınlığı (cm)	30	Duvar-U değeri (W/m²K)	0,139	9,34*	9,5	9,67	9,78	9,94	10,11	10,53	10,69	10,87	12,36	12,51	12,69
	15		0,255	12,64	12,76	12,91	13,1	13,22	13,37	13,87	14	14,15	15,74	15,87	16,02
	10		0,353	15,06	15,18	15,31	15,53	15,65	15,79	16,33	16,45	16,59	18,21	18,33	18,46
	8		0,416	16,65	16,77	16,89	17,14	17,25	17,37	17,94	18,05	18,17	19,83	19,94	20,06
	6,5		0,482	18,31	18,41	18,53	18,79	18,89	19,01	19,6	19,7	19,82	21,49	21,6	21,71
	5		0,572**	22,65	22,74	22,8	21,07	21,17	21,28	21,89	21,99	22,1	23,79	23,89	23,99
	4		0,653	20,6	20,69	22,83	23,13	23,22	23,32	23,95	24,04	24,13	25,86	25,95	26,04
	3		0,761	25,37	25,45	22,52	25,85	25,92	26	26,66	26,74	26,82	28,58	28,66	28,74



Soğutma Yükü (kWh/m²)														
Duvar Yalıtım Kalınlığı (cm)	30	Duvar-U değeri (W/m²K)	0,139	13,39*	13,26	12,95	13,38	13,22	12,93	13,21	13,08	12,76	12,89	12,75	12,44
	15		0,255	11,78	11,72	11,49	11,79	11,74	11,5	11,66	11,61	11,37	11,37	11,32	11,06
	10		0,353	11,17	11,12	10,92	11,17	11,12	10,93	11,06	11,06	10,82	10,77	10,71	10,56
	8		0,416	10,83	10,79	10,58	10,82	10,77	10,61	10,71	10,66	10,54	10,44	10,37	10,23
	6,5		0,482	10,47	10,42	10,26	10,5	10,45	10,27	10,42	10,35	10,21	10,11	10,06	9,93
	5		0,572**	9,65	9,61	9,83	10,05	10,02	9,84	9,99	9,93	9,76	9,73	9,66	9,52
	4		0,653	10,04	10	9,47	9,68	9,65	9,48	9,59	9,54	9,41	9,36	9,34	9,2
	3		0,761	9,18	9,17	9,06	9,21	9,21	9,08	9,17	9,12	8,98	8,96	8,9	8,76

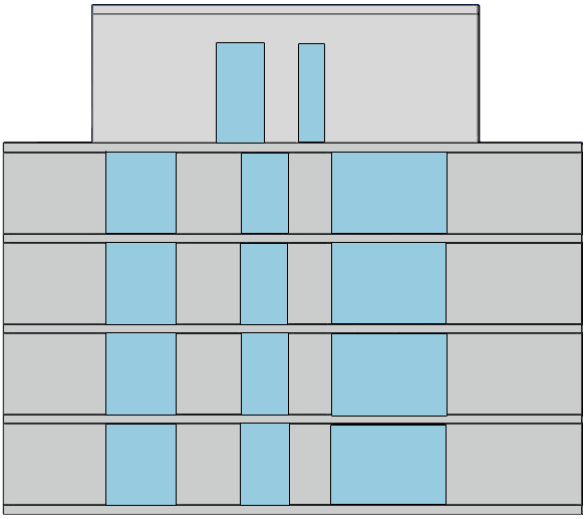
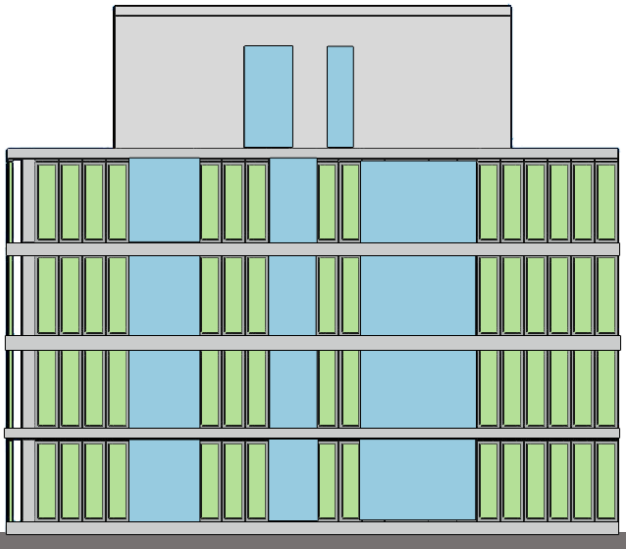


*BIQ Binasının yalıtım kalınlıklarına göre ısıtma ve soğutma değerleri

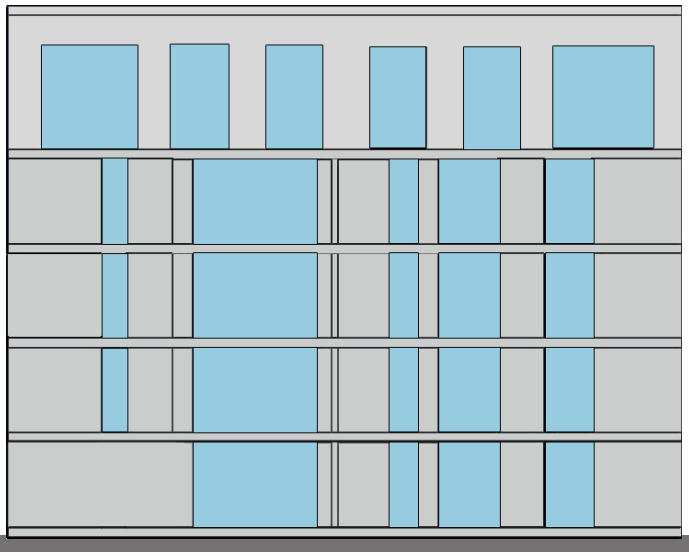
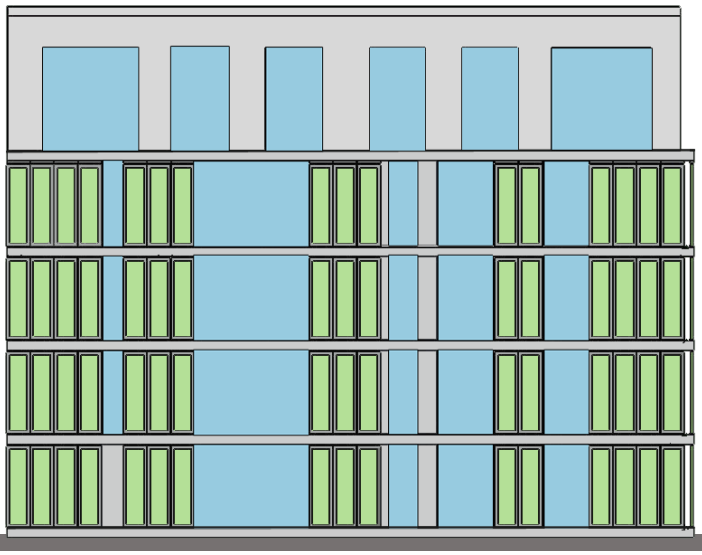
**TS 825' e göre değeri

Çizelge 3.17, Çizelge 3.18 ve Çizelge 3.19'da BIQ Binası'nın cephelerindeki saydam, opak yüzeylerinin alanları ve birbirlerine göre oranlarındaki değişiklik gösterilmektedir. FBR sisteminin ikinci bir katman olarak yer aldığı güneybatı ve güneydoğu cephelerinde ise FBR sisteminin bulunup bulunmaması açısından değerlendirilmiştir (Çizelge 3.17-3.18). Güneydoğu ve güneybatı cepheleri saydamlık oranı en yüksektir. Bu cephelerde; FBR yüzey alanının tüm cepheye oranı %37'dir.

Çizelge 3. 17. BIQ Binası'nda güneydoğu cephesinde saydam ve opak yüzeylerin oranları.

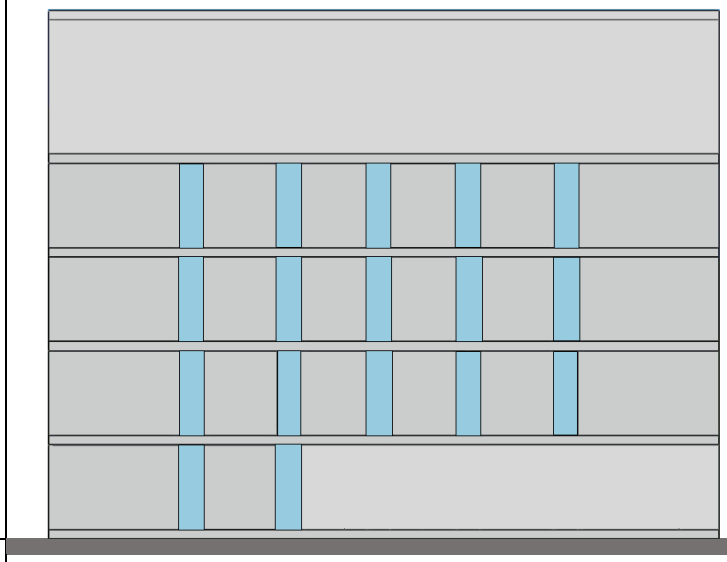
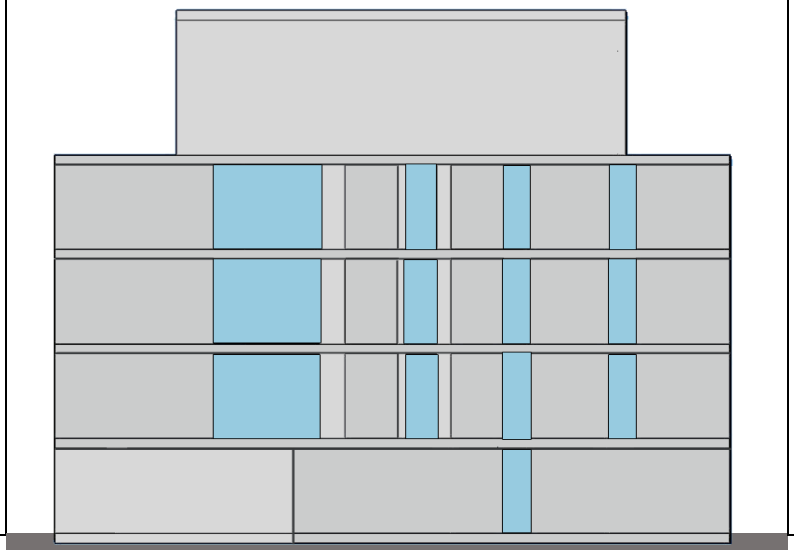
Güneydoğu Cephesi			
Fotobiyoreaktör (FBR) Sistem	**Bina Kabuğuna Bütünleşmemişken**		**Opak yüzey:** 246,565 m^2 **Saydam yüzey:** 79,11 m^2 **Saydam yüzey / Opak yüzey oranı:** 0,32 **Saydam yüzey / Tüm yüzey oranı:** %24
	Bina Kabuğuna Bütünleşik		**FBR yüzey alanı:** 121,5 m^2 **Opak yüzey:** 125,065 m^2 **Saydam yüzey:** 79,11 m^2 **FBR / Tüm yüzey oranı:** %37

Çizelge 3. 18. BIQ Binası'nda güneybatı cephesinde saydam ve opak yüzeylerin oranları.

Güneybatı Cephesi			
Fotobiyoreaktör (FBR) Sistem	**Bina Kabuğuna Bütünleşmemişken**		**Opak yüzey:** 225,665 m^2 **Saydam yüzey:** 124,665 m^2 **Saydam / Opak yüzey oranı:** 0,55 **Saydam yüzey / Tüm yüzey oranı:** %35
	Bina Kabuğuna Bütünleşik		**FBR yüzey alanı:** 129,6 m^2 **Opak yüzey:** 86,465 m^2 **Saydam yüzey:** 124,665 m^2 **FBR yüzey / Tüm yüzey oranı:** %37

Binanın kuzeydoğu ve kuzeybatı yönleri, saydamlık oranı en düşük cephelerdir. Bu cephelerde; saydam yüzey, opak yüzey oranı %16'dır (Çizelge 3.16).

Çizelge 3. 19. BIQ Binası'nda kuzeybatı ve kuzeydoğu cephelerinde saydam ve opak yüzeylerin oranları.

Kuzeydoğu Cephesi		**Opak yüzey:** 315,575 m^2 **Saydam yüzey:** 34,425 m^2 **Saydam /Opak yüzey oranı:** 0,10 **Saydam yüzey / Tüm yüzey oranı:** %9
Kuzeybatı Cephesi		**Opak yüzey:** 272,62 m^2 **Saydam yüzey:** 53,055 m^2 **Saydam/Opak yüzey oranı**: 0,194 **Saydam yüzey / Tüm yüzey oranı:** %16

BÖLÜM 4

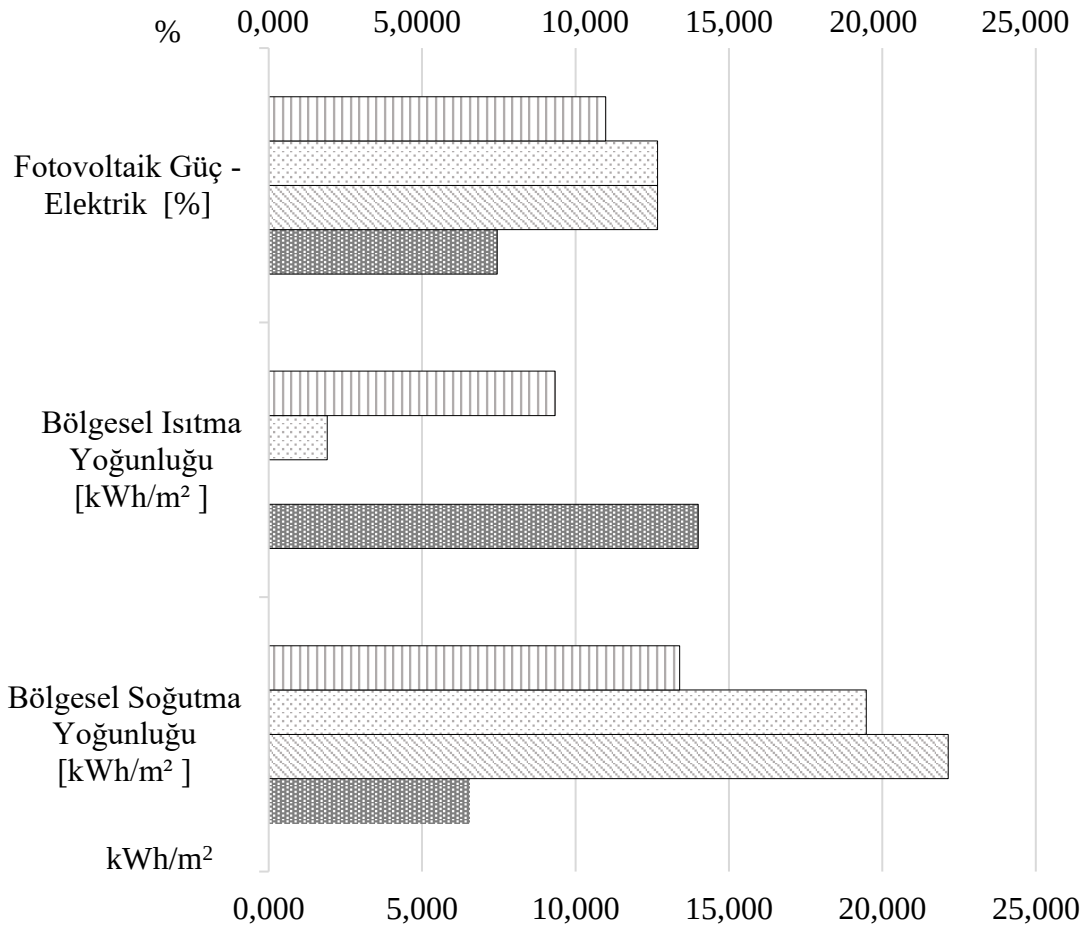
SONUÇ VE ÖNERİLER

Binalar, enerji tüketiminde büyük bir paya sahiptir. Nüfus artışı, buna bağlı olarak artan bina sayısı ve istenilen konfor koşullarının sağlanmaya çalışılması enerji tüketim oranını yükseltmektedir. Enerjiye olan ihtiyacın artması, kaynakların azalmasıyla birlikte binalar için de enerji tasarrufu ve verimliliği konusunda önlemler alınmaya başlanmıştır. Bu kapsamda, enerjinin etkin kullanımına yönelik 'enerji etkin bina' kavramı ortaya çıkmıştır. Pasif bina kavramı da, enerji verimli / enerji etkin binalar sınıfında yer almaktadır. Bina kabuğunun iyileştirilmesi ve binalarda yenilebilir enerjileri kaynaklarının kullanılması durumu önem kazanmaktadır.

Biyokütle enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Biyokütlenin binalara bütünleştirilmesi konusunda bina kabuğunda fotobiyoreaktör (FBR) sistemlerle kullanımı ön plana çıkmaktadır. Bu konuda kentsel ve bina ölçeğinde çeşitli araştırmalar, projeler ve uygulamalar bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında; biyokütlenin fotobiyoreaktör sistemlerle bina kabuğuna bütünleştirilmesi ve Türkiye açısından durumu incelenmektedir. BIQ Binası dünyada biyokütle enerjisini kullanan fotobiyoreaktör sisteme sahip ilk pasif bina olması açısından önemli olup referans bina olarak seçilmiştir.

Çalışmada; öncelikle literatür taraması ile FBR sistemi ve BIQ Binası ile ilgili detaylı araştırmalar yapılmıştır. DesignBuilder programı kullanılarak Hamburg'da yer alan BIQ referans binası modellenmiştir. Daha sonrasında Türkiye içerisinde yer alan farklı Derecegün Bölgesi için referans bina kabulleri ile sadece konum ve iklim verileri değiştirilerek simülasyon programı yardımıyla analizler gerçekleştirilmiştir. Referans bina ve Türkiye'deki örnek illerin sonuçları Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



	Bölgesel Soğutma Yoğunluğu [kWh/m²]	Bölgesel Isıtma Yoğunluğu [kWh/m²]	Fotovoltaik Güç - Elektrik [%]
Ankara	13,390	9,340	10,980
İstanbul	19,470	1,910	12,670
İzmir	22,150	0,000	12,670
Hamburg	6,550	14,000	7,450

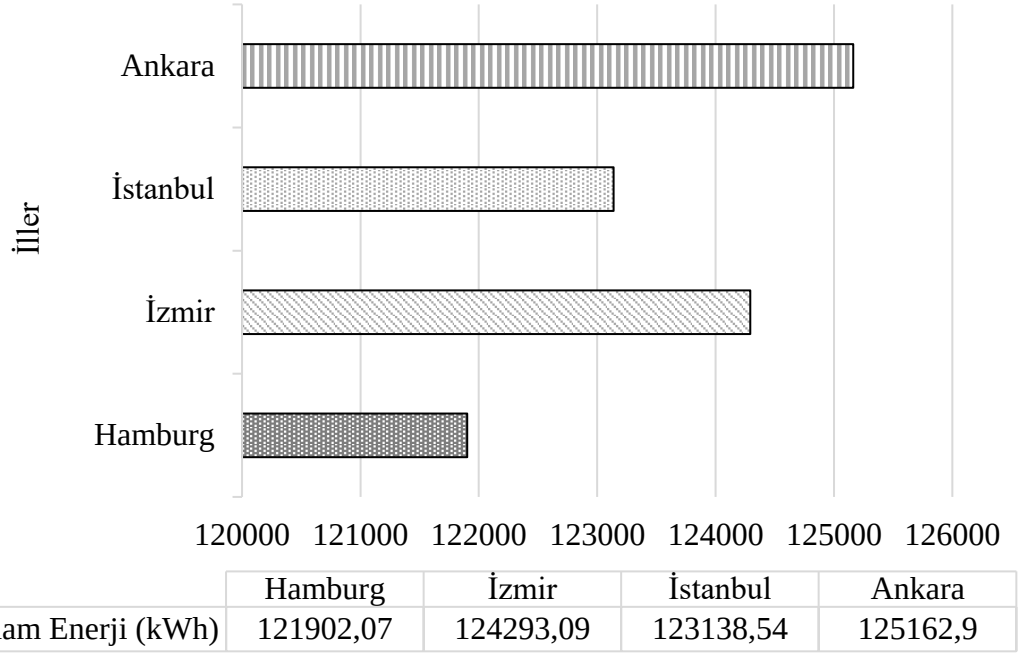
Şekil 4. 1. Referans bina ve örnek illerin ısıtma, soğutma ve fotovoltaik güç değerleri.

Pasif bina kriterlerine göre oluşturulan bina kabuğundan elde edilen sonuçlara baktığımızda aynı kabuk özelliklerine sahip binada dış iklim koşullarının değişiminin enerji tüketimine etkisi görülmektedir. Hamburg'da bulunan BIQ Binası, pasif bina özelliklerini taşımaktadır. Aynı kabuk; İzmir, İstanbul ve Ankara için de kullanıldığında ısıtma ve soğutma yükleri değişmektedir. Tüm illerde pasif bina standardları sağlanmaktadır. Bu durum özellikle İstanbul ve İzmir gibi diğer bölgelere göre daha yüksek sıcaklıklara sahip şehirlerde bina kabuğunun ısı yalıtım kalınlıklarının

azaltılabileceğini göstermektedir. Isı yalıtım kalınlıklarının değişiminin ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı üzerindeki etkileri de izlenmektedir. Ankara için aynı bina kabuğunun kullanılmasının daha uygun olabileceği görülmektedir. Metrekare başına ısıtma enerjisi ihtiyacı, Hamburg'da daha yüksek iken Türkiye illerinde daha düşüktür. Soğutma enerjisi ihtiyacında ise Türkiye illeri Hamburg'a göre daha yüksektir.

BIQ Binası'nın çatısında bulunan fotovoltaik panellerden elde edilen elektrik enerjisi gücü yüzde olarak en düşük Hamburg'da en yüksek ise İzmir'de elde edilmektedir. Bunun nedeni güneşlenme süresi, rakım, güneş radyasyonu vb. faktörlerin farklılığından kaynaklanmaktadır.

Türkiye illeri için ısıtma enrejisi ihtiyacının toplamdaki oranlarına baktığımızda; İstanbul için % 0.9'u, İzmir için % 0, Ankara için % 4 olduğu görülmektedir. Hamburg'a göre toplam enerji farkları açısından karşılaştırma yapmak gerekirse; İstanbul % 0,9 ; İzmir %1,96; Ankara % 2,67; Hamburg'dan daha fazla enerji kullanmaktadır (Şekil 4.2).



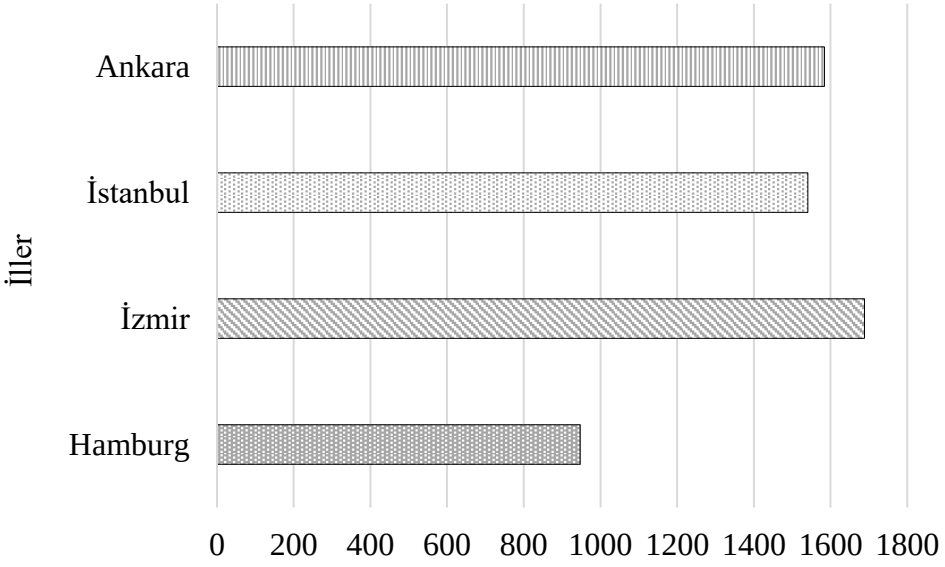
	Hamburg	İzmir	İstanbul	Ankara
Toplam Enerji (kWh)	121902,07	124293,09	123138,54	125162,9

Şekil 4. 2. Referans bina ve örnek illerin toplam enerji tüketimi.

Toplam enerji tüketiminde, Türkiye illerinin her biri soğutma enerjisi ihtiyaçları da dahil olduğu için Hamburg şehrinin yıllık enerji tüketiminden fazladır.

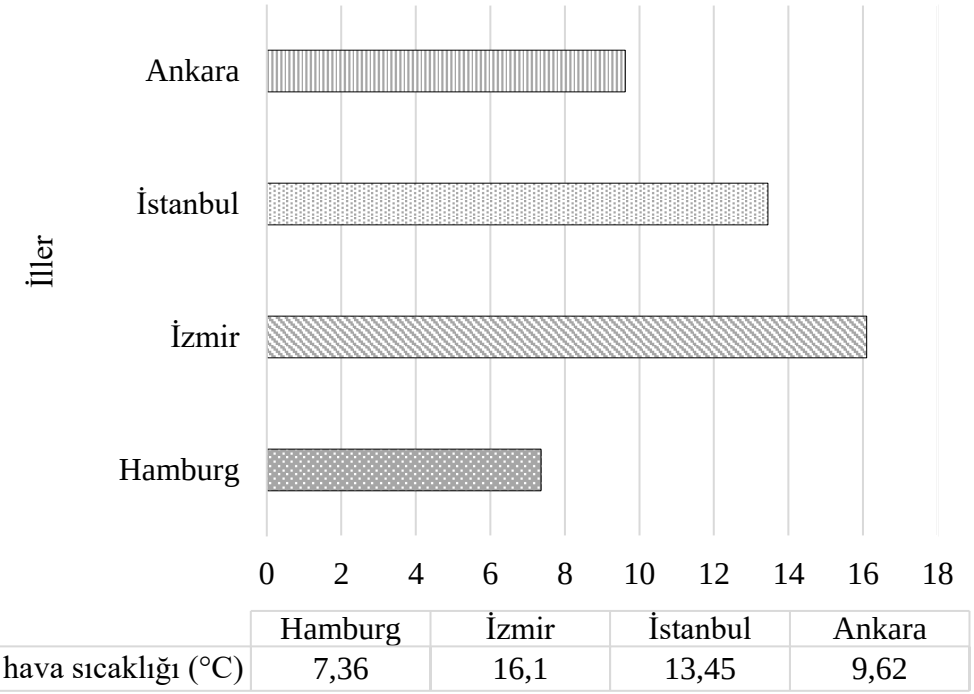
Fotobiyoreaktörlerin bina kabuğuna bütünleştirilmesiyle binanın enerji ihtiyacının karşılanmasında katkı sağlayacağı bilinmektedir. Elde edilecek verimlilikte konum, sistem ve diğer bileşenlerin etkisi bulunmaktadır. Yapılan bir yıllık izleme sonucunda FBR'lerin üzerlerine gelen gün ışığını biyoenerjiye dönüştürme verimliliği %10 iken ısı enerjisine dönüştürme verimliliği %38'dir (Kükdamar & Özbalta, 2018). Aynı şekilde başka bir mevcut binaya bütünleştirilmeye çalışılan FBR sistemin simülasyon çalışması sonucunda da benzer şekilde binanın enerji tüketiminde % 50 ya da daha fazla oranda katkı sağlayabileceği görülmüştür (Hanafi, 2021).

Yıllık güneş radyasyonları ve hava sıcaklıklarına bakıldığında; Türkiye'de yer alan illerin tümünün Hamburg'dan daha avantajlı olduğu görülmektedir (Şekil 4.3- 4.4). İlleri kendi arasında karşılaştırmak gerekirse İzmir en yüksek güneş radyasyonuna sahipken, Ankara ve İstanbul onu takip etmektedir.



	Hamburg	İzmir	İstanbul	Ankara
Yıllık güneş radyasyonu-yatay (kWh/m²)	946,8	1688,4	1540,8	1584

Şekil 4. 3. Meteroloji verilerine göre yıllık yatay yöndeki güneş radyasyonu (kWh/m²)



Şekil 4. 4. Referans bina ve seçilen illerin meteroloji verilerine göre yıllık hava sıcaklığı (°C).

Bu çalışmada; Dünya da ilk ve tek örneği olan Hamburg BIQ binasının modellemesi kullanılarak Türkiye iklim şartlarında bu pasif binanın enerji tüketim değerleri incelenmiştir. DesignBuilder programı içinde yer alan mevcut Türkiye iklim verileri (İzmir, İstanbul ve Ankara) baz alınarak elde edilen sonuçlarda pasif bina kabuk kriterlerine göre oluşturulan model referans bina (BIQ Hamburg) verileri ile karşılaştırılmıştır. Cephelerde uygulanan FBR sistemi güneş enerjisi ile birlikte ısı üreterek enerji verimliğinde büyük katkı sağlamakta olup sistemde aynı zamanda çatı yüzeyinde de solar güneş (PV) panelleri kullanılmaktadır. Çalışmada Model olarak oluşturulan binalarda sadece ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçları ile PV panel kazanımları incelenmiştir. Referans binadaki termal enerji depolama sistemleri model de kullanılmamıştır.

Bu sistem, Türkiye iklim şartları coğrafi konum ve güneşlenme süreleri açısından değerlendirildiğinde;

- Daha ince bir kabuk elemanı ile FBR sistemlerden verimli bir şekilde faydalanılabileceği görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken alglerin çalışma sıcaklığının kontrol edilmesidir. FBR sisteminin binaya

bütünleşik verimli bir şekilde çalışması için iklim koşulları ile birlikte (çalışma sıcaklığı) sistemin teknik, bakım vb. özellikleri ile sürdürülebilirliğinin sağlanması mümkündür. Türkiye beş Derecegün Bölgesine ve farklı iklim özelliklerine sahip bir ülke olduğu için her konum kendi özelinde değerlendirilmesi gereklidir. Genel olarak bakıldığında; güneş ışınımlarının yıl içinde enerji üretimi açısından doğru açılarda olması gerekmektedir.

- Güneş radyasyonunun fazla olması biyofotovoltaik paneller açısından olumlu olarak görülürken sıcaklık değerlerinin yükseldiği yaz aylarında alglerin optimum sıcaklıklarının üzerine çıkabilme durumu olduğu için kontrol altında tutulması gerekmektedir. Farklı alg türleri için bu değerler değişiklik göstermektedir. İllerin dış sıcaklık değerlerine göre seçim yapılarak sistemin bu sınırlar içinde kalması sağlanmalıdır. Aynı durum kışları çok soğuk olan şehirler için de geçerlidir. Alg türünün iklim bölgesine uygun seçilmesi gerekmektedir.
- FBR sistemlerin; işlevlerinden dolayı sağır cepheleri fazla olması nedeniyle özellikle sanayi, endüstri vb. bina tipolojilerinde kullanımının da uygun olabileceği öngörülmektedir. FBR sistemlerinde yüzey/hacim oranının yüksek olması verimi artırdığı için bu binalarda kullanım veriminin yüksek olacağı düşünülmektedir.
- Binaya olan yükü hesaba katılarak hem mevcut hem de yeni binalara uygulanabilecek olan FBR, mekanik olarak alan ihtiyacı gerektirmektedir. Uygulanacağı binaya bu noktalar dikkat edilerek bütünleştirilmelidir.
- Mevcut BIQ Bina sonuçlarının paylaşıldığı kaynaklardan elde edinilen bilgilere göre sistemden elde edilecek kazanımların daha da fazla olacağı ön görülmektedir. Bununla birlikte Türkiye güncel iklim verileri programa girilerek elde edilecek sonuçların da farklılık göstereceği beklenmektedir.
- FBR sisteminin enerji üretimi ve tasarrufu yanında çevresel etkilere olan olumlu katkısı da yadsınamaz. FBR fotosentez temelli olduğu için hava ve çevre kirliğinin azaltılmasında, gürültü kontrolünde (ses yalıtımı) büyük rol oynamaktadır.

FBR sisteminin Almanya, Fransa, Mısır, Malezya, Avustralya, Çek Cumhuriyeti gibi birçok farklı ülkede kullanımının gerek mevcut yapılar için gerek ise yeni binalara uygulanmasına ait araştırmalar bulunmaktadır. Üretilen çalışmaların sayısındaki sıralamaya bakıldığında ise; Almanya, Amerika, Fransa, Türkiye, İran ve İtalya şeklindedir. Türkiye üretilen çalışmalar açısından 4. sırada bulunmaktadır. Daha önce Türkiye'den yapılan çalışmalarda sistemin özellikleri, enerji verimliliği v.b. konular araştırılmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda sistemde Türkiye şartlarında uygulanabilecek FBR panel, boyut, vb. özelliklerinin araştırılması önerilmektedir. Bu sistemin, Türkiye iklimine maliyet, hammadde, işçilik gibi açılardan uygunluğu sorgulanabilir. Bina kabuğundaki konumunun (duvar, çatı vb.) ve açısının farklılaşması sonucu oluşan değişimler incelenebilir. Çok disiplinli bir çalışma gerektiren fotobiyoreaktör (FBR) sistemlerin bina kabuğunda kullanımına yönelik Türkiye iklim verileri için uygun prototip geliştirilebilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının binaya bütünleşik olarak çalıştığı bu sistemler yaşadığımız enerji ve iklim krizi etkilerini azaltacak sürdürülebilir önlemler arasında kullanılabilecektir.

KAYNAKLAR

adammiklosi.com. Kasım 14, 2022 tarihinde https://adammiklosi.com/project/chlorella adresinden alındı.

Algifari, M. H., Daniel, R. M., & Nofdianto. (2023). Algae Facade Technology in Improving Air Quality and Building Health: Analysis of Microclimate and Growth of Aspergillus niger. doi:https://doi.org/10.1101/2023.02.01.526567.

Alodalı, M. F., Mustafa, K., & Usta, S. (2020, Kasım 19). Türkiye'de Enerji Politikaları ve Bölgesel İşbirliğinin Önemi. *16*(2), 189-202. https://dergipark.org.tr/en/pub/paradoks/issue/57853/786216 adresinden alındı.

Altunacar, N., Ezan, M. A., Yaman, Y., Tokuç, A., Budakoğlu, B., Köktürk, G., & Deniz, İ. (2023). Effect of an algae integrated water wall on energyconsumption and CO2 emission. *7th International Conference on Environment and Renewable Energy.*

amc-archi.com. Nisan 11, 2023 tarihinde https://www.amc-archi.com/photos/les-laureats-de-reinventer-paris-15-22-in-vivo-xiiie-arr,4731/in-vivo-xtu-architects-mu-a.10 adresinden alındı.

Araji, M. T., & Shahid, I. (2018). Symbiosis optimization of building envelopes and micro-algae photobioreactors. *Journal of Building Engineering*.

archello.com. Nisan 14, 2023 tarihinde https://archello.com/story/17825/attachments/photos-videos/1 adresinden alındı.

archinect.com. Nisan 10, 2023 tarihinde https://archinect.com/news/article/98218917/the-urban-algae-canopy-shows-the-power-of-algaetecture-for-milan-expo-2015 adresinden alındı.

architizer.com. Şubat 22, 2023 tarihinde https://architizer.com/projects/algae-dome/ adresinden alındı.

arup.com. Temmuz 25, 2022 tarihinde https://www.arup.com/news-and-events/arup-scores-a-double-win-at-net-zero-design-competition adresinden alındı.

arup.com. Temmuz 20, 2022 tarihinde https://www.arup.com/projects/solar-leaf adresinden alındı.

arup.com. Temmuz 19, 2022 tarihinde https://www.arup.com/projects/bioenergy-facade adresinden alındı.

arup.com. Temmuz 19, 2022 tarihinde https://www.arup.com/projects/solar-leaf adresinden alındı.

Atmaca, U. (2016, Temmuz/Ağustos). TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki Güncellemeler(*). *Tesisat Mühendisliği*(154).

Avcıoğlu, A. O. (2017). Biyokütle Enerjisi. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri Ders Notu*.

Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı. (2012). *Biyokütle Sektör Raporu.*

Bay, B. (2006). *Çeşitli Biyokütle Kaynaklarının Termal Davranımının İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi).* İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.

bbc.com. Kasım 15, 2021 tarihinde https://www.bbc.com/turkce/haberler-turkiye-59305483 adresinden alındı.

beautiful-houses.net. Haziran 23, 2023 tarihinde https://www.beautiful-houses.net/2018/07/biofacade-technology-and-microalgae.html adresinden alındı.

Benian, E. (2010). Modern mimaride iç-dış ilişkisi üzerine bir değerlendirme (Doktora tezi).

beptr.csb.gov.tr. Kasım 16, 2022 https://beptr.csb.gov.tr/bep-web/BEP-TR_E%C4%9Fitim_K%C4%B1lavuzu.pdf adresinden alındı.

Biloria, N., & Thakkar, Y. (2020). Integrating algae building technology in the built environment: A cost and benefit perspective. *Frontiers of Architectural Research*.

buildingscience.com. Ekim 25, 2022 tarihinde https://buildingscience.com/sites/default/files/migrate/pdf/BSD-018_The%20Building%20Enclosure.pdf adresinden alındı.

buildipedia.com. Eylül 26, 2022 tarihinde https://buildipedia.com/aec-pros/featured-architecture/hok-vanderweil-process-zero-concept-building-as-green-asalgae adresinden alındı.

Chang, S., Castro-Laucouture, D., Dutt, F., & Pei-Ju, Y. P. (2017). Framework for evaluating and optimizing algae façades using closed-loop simulation analysis integrated with BIM. *World Engineers Summit – Applied Energy Symposium & Forum: Low Carbon Cities & Urban.* Singapur.

Chew, K. W., Khoo, K. S., Foo, H. T., & Chia, S. R. (2021, Nisan). Algae utilization and its role in the development of green cities. *Chemosphere*.

coaa.charlotte.edu. Ağustos 10, 2021 https://coaa.charlotte.edu/news/2020-05-28/microalgae-fa%C3%A7ade-project-wins-nsf-grant adresinden alındı

csb.gov.tr. Ağustos 15, 2021 tarihinde https://csb.gov.tr/binalarda-yenilenebilir-enerji-zorunlulugu-1-ocakta-basliyor-bakanlik-faaliyetleri-37361 adresinden alındı.

csb.gov.tr. Ağustos 15, 2021 tarihinde https://csb.gov.tr/bakan-kurum-bakanligin-isim-degisikligini-degerlendirdi-bakanlik-faaliyetleri-32011 adresinden alındı.

csb.gov.tr. Ağustos 15, 2021 tarihinde https://csb.gov.tr/bakan-kurum-yesil-kalkinma-devrimi-surecini-baslattik-bakanlik-faaliyetleri-32014 adresinden alındı.

csb.gov.tr. Ağustos 15, 2021 tarihinde https://csb.gov.tr/yerli-yesil-sertifika-sistemi-yes-tr-ile-yesil-bina-sayisi-artacak-bakanlik-faaliyetleri-29700#:~:text=T%C3%BCrkiye%27de%20ulusal%20ve%20yerel%20d%C3%BCzeyde%20enerji%20verimli%2C%20%C3%A7evre,taraf%C4%B1ndan%20bina%20ve%20yerle%C5%9Fme adresinden alındı.

Çukurçayır, M. A., & Sağır, H. (2008). Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* (20), 257 - 278.

designboom.com. Ekim 15, 2022 tarihinde https://www.designboom.com/technology/bio-photovoltaic-panel/ adresinden alındı.

dezeen.com. Aralık 12, 2022 tarihinde https://www.dezeen.com/2018/12/10/ecologicstudio-algae-curtain-photo-synth-etica/ adresinden alındı.

Duarte, M. d., & Oliveira, R. D. (2023). Thermal energy generation of PBR integrated in a commercial building for water heating under humid subtropical climate. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*.

e-architect.com. Eylül 29, 2022 tarihinde https://www.e-architect.com/losangeles/net-zero-building adresinden alındı.

ecologicstudio.com. Şubat 17, 2021 tarihinde https://www.ecologicstudio.com/projects adresinden alındı.

ecologicstudio.com. Şubat 19, 2021 tarihinde https://www.ecologicstudio.com/projects/photo-synth-etica adresinden alındı.

EIA. Mayıs 17, 2023 tarihinde https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/mer.pdf adresinden alındı.

ekoyapidergisi.org. Temmuz 1, 2023 tarihinde https://www.ekoyapidergisi.org/algler-havayi-temi-zleyen-bi-yopoli-mer-agaca-donustu?fbclid=PAAaYZ5ROruzQcaB4OBNWtmOjFHiKJT8wi5AdSAHT1Gs1B9Zp-I5v6F_wJegc_aem_Af-9PiKdxAbF3Q2vJ9FCQYVzCpLugdvXof15pe3vvAgYk1cqDt9wgbfAhF1rY3k5EEU adresinden alındı.

Elrayies, G. M. (2018). Microalgae: Prospects for Greener Future Buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

emo.org.tr. Şubat 17, 2022 https://www.emo.org.tr/ekler/d39366edd9757dc_ek.pdf adresinden alındı.

energy.ec.europa.eu. Temmuz 11, 2023 tarihinde https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en adresinden alındı.

enerji.gov.tr. Haziran 23, 2022 tarihinde https://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/biyokutle adresinden alındı.

enerjiportali. Ağustos 26, 2021 tarihinde https://www.enerjiportali.com/biyokutle-enerjisi-nedir/ adresinden alındı.

Erdoğan, M. (2014). *Türkiye'nin Yenilenebilr Enerji Potansiyelinin Termdinamik Analiz Yöntemi ile İncelenerek, Yenilenebilir Enerji Kullanımının Gelecek Projeksiyonlarının Değerlendirilmesi (Yüksek Lisans Tezi).* İstanbul: İstanbul Aydın Üniversitesi.

Ersoy, H. (1997). *Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dünü ve Bugünü İncelenerek Elektrik Enerjisine Olan Katkının Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi).* Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Eskin, M. C. (2018). *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevreye ve Ekonomiye Etkisi (Mali Hizmetler Uzmanlığı Uzmanlık Tezi).* Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı.

futurism.com. Haziran 2, 2023 tarihinde https://futurism.com/algae-farm-eats-highway-pollution adresinden alındı.

Gezer, E. H. (2013). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye (Yüksek Lisans Tezi).* Ankara: Gazi Üniversitesi.

google.com/maps. Haziran 24, 2022 tarihinde https://www.google.com/maps/place/BIQ/@53.4968261,9.9987684,535m/data=!3m3!1e3!4b1!5s0x47b18e26a4cc322b:0xdefc1b925932ed36!4m6!3m5!1s0x47b18e26bb2c5c03:0xf366fa19646b2726!8m2!3d53.4968261!4d10.0013433!16s%2Fg%2F11c1l1p4pb adresinden alındı.

Haghir, S., Tashakori, L., Rezazadeh, H. R., & Ahmadi, F. (2020, Kasım). Algae Façade for Reducing CO2 Emission and Mitigating Global Warming (Case Study: Tehran Enghelab Street). *Bagh-e Nazar*.

Hanafi, W. H. (2021). Bio-algae: a study of an interactive facade for commercial buildings in populated cities. *Journal of Engineering and Applied Science*.

Hasnan, M. T., & Zaharin, P. M. (2020). Exploration of Microalgae Photobioreactor (PBR) in Tropical Climate Building Envelope. *Environment-Behaviour Proceedings Journal*.

iaac.net. Mayıs 12, 2022 tarihinde https://iaac.net/project/moss-voltaics/ adresinden alındı.

IEA. Nisan 14, 2023 tarihinde https://iea.blob.core.windows.net/assets/cc499a7b-b72a-466c-88de-d792a9daff44/Turkey_2021_Energy_Policy_Review.pdf adresinden alındı.

iglo.com.tr. Şubat 2, 2022 tarihinde http://www.iglo.com.tr/gecmisten-gunumuze-dis-cephe-kaplamalarinin-gelisimi/ adresinden alındı.

iklim.gov.tr. Nisan 12, 2023 tarihinde https://www.iklim.gov.tr/paris-anlasmasi-i-34 adresinden alındı.

İlleez, B. (2020). *Türkiye'de Biyokütle Enerjisi.* 1 16, 2022 tarihinde https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020 13_%20Biyok%C3%BCtle%20Enerjisi%20_B%C3%BClent%20%C4%B0lleez .pdf adresinden alındı.

imsad.org. Haziran 10, 2022 tarihinde https://www.imsad.org/files/fileman/Uploads/Documents/etkinlikler/izocam_nuri_bulut.pdf adresinden alındı.

inhabitat.com. Şubat 25, 2022 https://inhabitat.com/algaevator-transforms-algae-production-into-a-beautiful-work-of-art-and-architecture/ adresinden alındı.

inhabitat.com. Mayıs 12, 2023 tarihinde https://inhabitat.com/ingenious-chlorella-oxygen-pavilion-helps-city-dwellers-breathe-clean-unpolluted-air-using-algae/chlorella-diagrams-1020x610/ adresinden alındı.

inhabitat.com. Mayıs 13, 2023 tarihinde https://inhabitat.com/moss-voltaics-is-a-clean-green-energy-producing-machine-that-mounts-to-the-wall/elena-mitrofanova-moss-voltaics-lead/ adresinden alındı.

issuu.com. Şubat 2, 2023 tarihinde https://issuu.com/cleanroomnews/docs/say__12-web adresinden alındı.

Kalkınma Bakanlığı. (2018). *On Birinci Kalkınma Planı,Enerji Arz Güvenliği ve Verimliliği.* Ankara.

Kavaz, İ. (2019, Aralık). Türkiye'nin Enerjide Gelecek Vizyonu. *SETA (Siyaset Ekonomi ve Topum Araştırmaları Vakfı)*(252).

Kerner, M., Gebken, T., Sundarrao, I., Hindersin, S., & Sauss, D. (2019). Development of a control system to cover the demand for heat in a building with algae production in a bioenergy façade. *Energy & Buildings*.

Kılıç Demircan, R., & Burcu, G. A. (2017). Binalarda Pasif ve Aktif Güneş Sistemlerinin İncelenmesi. *TÜBAV Bilim , 10*(1).

Kim, K.-H. (2013). A feasibility study of an algae façade system. *Proceedings of international conference on sustainable building Asia (SB13), 8*(10).

Kim, K.-H. (2013). Beyond green: growing algae facade. *ARCC Conference Repository*.

Kim, T.-R., & Han, S.-H. (2014). Analysis for Energy Efficiency of the Algae Façade-Focused on Closed Bioreactor System -. *KIEAE Journal, 14*(6), s. 15-21.

Koç, E., & Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makine, 54*(639), 32-44.

Koyun, T., & Koç, E. (2017). Bir Binanın Değişken Cam ve Dış Duvar Tiplerine Göre Pencere/Duvar Alanı Oranlarının Bina Isı Kayıplarına Etkisi. *Mühendis ve Makina, 58*(688), s. 1-14.

Köksoy, A. (2021). Isıl Konfor Yönünden Konvektif Isıtma Sistemlerinin Teorik ve Denysel Araştırılması. Trakya Üniversitesi (Doktora Tezi).

Köktürk, G., Ünal, A., & Tokuç, A. (2018). A New Approach for a Control System of an Innovative Building-Integrated Photobioreactor. *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions.*

Kükdamar, İ. (2017). Cephelerde Fotobiyoreaktör Kullanımının Binaların Sürdürülebilirliğine Etkisi. *Teskon 2017 Bina Fiziği Sempozyumu.* MMO.

Kükdamar, İ., & Özbalta, T. G. (2019). Comparison of Green Facades and Photobioreactor Facades in Energy Efficient. *IDES'19 Uluslararası Tasarım ve Mühendislik Sempozyumu.*

Kükdamar, İ. (2016). *Biyo adaptif cephe elemanları / Bio adaptive facade elements.* Dokuz Eylül Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Mimarlık Anabilim Dalı / Yapı Bilgisi Bilim Dalı (Yüksek Lisans Tezi).

Kükdamar, İ., & Özbalta, T. G. (2018). Bina Kabuğunda Yenilikçi Yaklaşımlar-Fotobiyoreaktör Cepheler. *3.Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü* .

liquid3.rs. Ocak 25, 2023 tarihinde https://liquid3.rs/about/ adresinden alındı.

loop.ph. Haziran 2, 2023 tarihinde (https://loop.ph/portfolio/algae-curtain/ adresinden alındı.

Martokusumo, W., Koerniawan, M. D., Poerbo, H. W., Ardıani, N. A., & Krisanti, S. H. (2017). Algae and Building Façade Revisited. A Study of Façade System for Infill Design. *Journal of Arhitecture and Urbanism*.

Masojidek, J., Papacek, S., Sergejevova, M., Jirka, V., Cerveny, J., Kunc, J. A., . . . Torzillo, G. (2003, Mart). A closed solar photobioreactor for cultivation of microalgae under supra-high irradiance: basic design and performance. *Journal of Applied Phycology*.

mechanic.com.tr. Nisan 28, 2023 tarihinde https://www.mechanic.com.tr/pasif-ev/ adresinden alındı.

medium.com. Mayıs 5, 2022 tarihinde https://medium.com/space10/how-algae-could-help-solve-some-of-the-worlds-biggest-problems-1fa7774a16b1 adresinden alındı.

meskencelik.com. Mayıs 24, 2023 tarihinde http://www.meskencelik.com/pasif-evler/ adresinden alındı.

mgm.gov.tr. Aralık 5, 2022 tarihinde https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim.aspx?key=C adresinden alındı.

Mıhlayanlar, E., Avcı, E., & Mechmet, A. (2021). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Küresel Potansiyelleri ve Binalarda Kullanımı. *Yenilenebilir Enerji Özel Sayısı.* içinde Yeni Türkiye Stratejik Araştırma Merkezi.

Moghtadernejad, S. (2018). A Multi-Criteria Approach To Design of Building Façades. Montreal, Canada: Doktora derecesinin gerekliliklerini kısmen yerine getirerek Lisansüstü ve Doktora Sonrası Çalışmalar Ofisine sunulan bir Tez.

Moghtadernejad, S., Mirza, M. S., & Chouinard, L. E. (2019). Façade Design Stages: Issues and Considerations. *J. Archit. Eng.*

Negev, E., Yezioro, A., Polikovsky, M., Kribus, A., Cory, J., Shashua-Bar, L., & Golberg, A. (2019). Algae Window for reducing energy consumption of building structures in the Mediterranean city of Tel-Aviv, Israel. *Energy & Buildings*.

Orhon, A. V. (2013). Akıllı Yapı Kabukları. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. İzmir.

Ölçüm, T. (2006). *Biyodizel Teknolojisi (Yüksek Lisans Tezi).* İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Öncel, S. Ş., Köse, A., & Öncel, D. Ş. (2016). Façade integrated photobioreactors for building energy efficiency. *Start-Up Creation* (s. 237-299).

Öncel, S. Ş., Köse, A., & Öncel, D. Ş. (2020). Carbon sequestration in microalgae photobioreactors building integrated. *Start-Up Creation (Second Edition) The Smart Eco-Efficient Built Environment* (s. 161-200).

Önder, S., & Ocak, R. Ö. (2018). Sürdürülebilir Enerji Kaynaklarının Avantajları. *Uluslararası Yeşil Başkentler Kongresi.* Konya.

Özbalta, T. G. (2011). Enerji Etkin Tasarımda Yeni Yaklaşımlar. *Bina Fiziği Sempozyumu- X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.* İzmir.

Özbey, F. (2019). *The Effect of Microalgae on indoor CO2 Level an Experiment in an Office of Yaşar Üniversitesi.* Yaşar Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İç Mimarlık Anabilim Dalı (Yüksek Lisans Tezi).

Özdamar, M., & Umaroğulları, F. (2017). Bir Ofis Yapısı Örneğinde Isıl Konfor ve İç Hava Kalitesinin İncelenmesi. *12*(1).

Özyurtkan, M. H. (2006). *Melez Kavağın Karbonizasyonu.* İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü.

Pagliolico, S. L., Verso, V. R., Bosco, F., & Mollea, C. (2016). A novel photo-bioreactor application for microalgae production as a shading system in buildings. *8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings.* İtalya.

Pekmezci, Y. T. (2019). *Mikroagler Kullanılarak Tasarlanan Fotoiyoreaktör Sistemlerinin Mimari Tasarım Disiplinine Aktarılmasındaki Sorunlar.* Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı Bina Araştırma ve Planlama Programı (Yüksek Lisans Tezi).

pocacito.eu. Aralık 20, 2022 https://pocacito.eu/sites/default/files/BIQhouse_Hamburg.pdf adresinden alındı.

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

pwc.com.tr. (2021). https://www.pwc.com.tr/tr/sektorler/enerji/enerji-sektorundeki-birlesme-ve-satin-almalar-2021-final.pdf adresinden alındı.

REN21. Nisan 28, 2023 tarihinde https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2023_Demand_Modules.pdf adresinden alındı.

Roedel, C., & Petersen, J.-P. (2013). *Smart Material House BIQ.* IBA Hamburg.

Saraçoğlu, S. (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Biyokütle Üretiminin Dünyada ve Türkiye'de Durumu. *Fiscaoeconomia, 1(3),* 126-155.

Scherera, K., Stiefelmaierb, J., Striethb, D., Wahla, M., & Ulberb, R. (2020). Development of a lightweight multi-skin sheet photobioreactor for future cultivation of phototrophic biofilms on facades. *Journal of Biotechnology*.

Sedighi, M., Qhazvini, P. P., & Amidpour, M. (2023). Algae-Powered Buildings: A Review of an Innovative,Sustainable Approach in the Built Environment. *Sustainability*.

sektorumdergisi.com. Mart 16, 2023 tarihinde https://www.sektorumdergisi.com/pasif-ev/ adresinden alındı.

sepev.org. Kasım 5, 2022 tarihinde https://sepev.org/pasif-ev-yenileme-standardi/ adresinden alındı.

Sohrabi, S. (2015). *Ekolojik Mimarlık Kapsamında Çok Katlı Konut Yapılarının Tasarım Kriterleri (Yüksek Lisans Tezi).* Ankara: Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü.

Sözen, E., Gündüz, G., Aydemir, D., & Güngör, E. (2017). Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 148-160.

Şimşek, B., Pençe, İ., Tuncer, A. D., & Güngör, A. (2019). Avrupa Birliği Enerji Politikasında Yenilenebilir Enerji. *Enerji, Çevre, İktisat Üzerine Güncel Araştırmalar* (s. 25-33).

Talaei, M., & Mahdavinejad, M. (2019). Probable cause of damage to the panel of microalgae bioreactor. *Engineering Failure Analysis*.

Talaei, M., Mahdavinejad, M., & Azari, R. (2020). Thermal and energy performance of algae bioreactive façades: A review. *Journal of Building Engineering*.

Tıkansak, T. E. (2013). Konutlarda Enerji Etkinliği. *International Journal of Architecture and Planning, 1*(2). https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/88965 adresinden alındı.

Uğuz, Ş. N. (2022). *Fotobiyoreaktör pencere sistemlerinin binada gölgelemeye etkisi üzerine deneysel çalışma.* Konya Teknik Üniversitesi / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü / Mimarlık Ana Bilim Dalı / Mimarlık Bilim Dalı (Yüksek Lisans Tezi).

Umdu, E. S., & YaşarÜniversitesi. (2020). Building integrated photobioreactor. F. Pacheco-Torgal, V. Ivanov, & D. C. Tsang içinde, *Bio-Based Materials and Biotechnologies for Eco-Efficient Construction.*

Umdu, E. S., Kahraman, İ., Yıldırım, N., & Bilir, L. (2018). Optimization of microalgae panel bioreactor thermal transmission property for building façade applications. *Energy & Buildings*, s. 113-120.

Vo, H. N., Ngo, H. H., Guo, W., Nguyen, T. M., Liu, Y., Liu, Y., . . . Chang, S. W. (2019). A critical review on designs and applications of microalgae-based photobioreactors for pollutants treatment. *Science of the Total Environment*.

wbdg.org. Haziran 18, 2022 tarihinde https://www.wbdg.org/guides-specifications/building-envelope-design-guide/building-envelope-design-guide-introduction adresinden alındı.

Wilkinson, S., Stoller, P., Ralph, P., & Hamdorf, B. (2016). The Feasibility of Algae Building Technology in Sydney. *University of Technology Sydney.*

Wilkinson, S., Stoller, P., Ralph, P., Hamdorf, B., Catana, L. N., & Kuzava, G. S. (2017). Exploring the feasibility of algae building technology in NSW. *International High- Performance Built Environment Conference – A Sustainable Built.*

Wurm, J. (2013). Photobioreactors on facades for energy generation alternative technologies in building envelope. *International Rosenheim Window Facade Conference 2013.*

Wurm, J., & Pauli, M. (2016). SolarLeaf: The world's first bioreactive façade. *Published online by Cambridge University Press*. doi:10.1017/S1359135516000245.

wwf.org.tr. Aralık 3, 2022 tarihinde https://www.wwf.org.tr/?11300/Paris-Anlamasi-Onaylandi-Turkiyenin-Iklim-Politikasinda-Yeni-bir-Donem-Basliyor adresinden alındı.

www.metalocus.es. Kasım 15, 2021 tarihinde https://www.metalocus.es/en/news/solarleaf-bioreactor-facade-arup adresinden alındı.

www10.aeccafe.com. Nisan 28, 2023 tarihinde https://www10.aeccafe.com/blogs/arch-showcase/2013/05/08/biq-das-algenhaus-the-clever-treefrog-in-hamburg-germany-by-splitterwerk/ adresinden alındı.

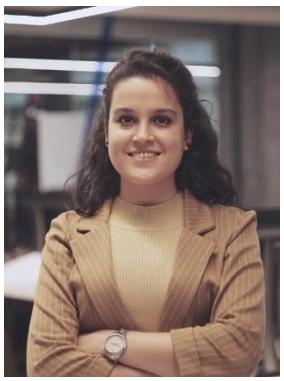
xtuarchitects.com. Ekim 17, 2022 tarihinde https://www.xtuarchitects.com/algonomad/ adresinden alındı.

Yaman, Y. (2022). *Fotosentetik organizmaları yapı cephelerine entegre etme olasılıklarının değerlendirilmesi.* Dokuz Eylül Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Mimarlık Ana Bilim Dalı / Yapı Bilgisi Bilim Dalı (Yüksek Lisans Tezi).

yegm.gov.tr. Nisan 20, 2022 http://www.yegm.gov.tr/ adresinden alındı.

Yılmaz, E. A., & Öziç, H. C. (2018). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Gelecek Hedefleri. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Ezgi AVCI

Doğum Tarihi / Yeri : 19.07.1995 /ANTALYA

Unvanı : Mimar

İletişim Bilgileri :

Mail : ezgiavci196@gmail.com / ezgiavci2@trakya.edu.tr

Adres : Edirne/MERKEZ

Eğitim Bilgileri

Derece	Alan	Üniversite
Lise	Fen Bilimleri 90.05 / 100	Edirne Süleyman Demirel Fen Lisesi
Lisans	Mimarlık Bölümü (%30 İngilizce) 3.61 / 4.00 (Yüksek Onur Öğrencisi)	Gebze Teknik Üniversitesi
Y. Lisans	Mimarlık Ana Bilim Dalı-Yapı Bilgisi	Trakya Üniversitesi

Ödüller

1. Kategori Teşvik Ödülü, MimED 2016 Öğrenci Proje Yarışması, Duyulararası Akış Kiosku.
   Ezgi Avcı
   (http://www.arkitera.com/proje/7253/1-kategori-tesvik-odulu-mimed-2016-ogrenci-proje-yarismasi)

2. 3.Mansiyon Ödülü, Gante Mutfak "Evin Kalbi Mutfak" Fikir Projesi Yarışması, Latent Mutfak
Ezgi Avcı, Yağmur Karatepe, Oğuzhan Safa Yağcılar
(https://www.arkitera.com/haber/gante-mutfak-evin-kalbi-mutfak-fikir-projesi-yarismasi-sonuclandi/)

3. 3.lük Ödülü, 10. Zeki Yurtbay Tasarım Yarışması
Müphem
Ezgi Avcı, Melih Alkan
(https://www.dogadansanatasentasarla.com/2022-kazananlar)

Daha önce çalışılan kurum/kuruluş/şirketler

No	Kurum Adı	Görev Süresi	Ünvanı
1	Genç Piramit Mimarlık	Temmuz 2015- Ağustos 2015	Stajyer- Ofis (Gönüllü)
2	Genç Piramit Mimarlık	Temmuz 2016- Ağustos 2016	Stajyer- Ofis (Gönüllü)
3	Mental Design Works	Temmuz 2017- Ağustos 2017	Stajyer- Ofis (Zorunlu)
4	Bazyol İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti. ve Gümüş İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti. Adi Ortaklığı	Ocak 2018 - Şubat 2018	Stajyer-Şantiye (Zorunlu)
5	Creative Project (Teknoloji Projeleri- 650 Yataklı Multidisipliner Türkistan Şehir Hastanesi)	Haziran 2020- Haziran 2021	Mimar
6	Sabri Paşayiğit Mimarlık	Haziran 2021-Halen	Proje Lideri/ Mimar

Yabancı Dil

-İngilizce

-Almanca

TEZ ÖĞRENCİSİNE AİT BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

1. **II. International Agricultural, Biological & Life Science Conference (1-3 Eylül 2020)** Areas of Use of Biomass Energy and Its Integration into Building Envelope
   Ezgi Avcı, Esma Mıhlayanlar
   https://agbiol.org/index/sayfa/1519/agbiol-2020-full-proceeding-book

2. **8th International Conference-KERPIC'2020 Healthy Buildings:The Role of Earthen Materials on Providing Healthy and Sustainable Indoor Environment (26-27 Kasım 2020)**
   Hygrothermal Behaviour of Adobe Buildings in Traditional Architecture: Lapseki Sample
   Ezgi Avcı, Esma Mıhlayanlar
   www.kerpic.org/2020

3. **Yeni Türkiye Stratejik Araştırma Merkezi-Yenilenebilir Enerji Özel Sayısı (Mart 2021)**
   Yenilenebilir Enerji Kaynakları Küresel Potansiyelleri ve Binalarda Kullanımı
   Esma Mıhlayanlar, Ezgi Avcı, Ali Mechmet
   https://yeniturkiye.com/yenilenebilir-enerji-ozel-sayisi/