



T.C.  
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Muhammed Enes UMCU**

**BİNA ENERJİ ANALİZİ İLE MEVCUT  
BİR BİNANIN ENERJİ VERİMLİLİĞİ  
SEVİYESİNİN ARTTIRILMASINA  
YÖNELİK ÇÖZÜMLERİN  
BELİRLENMESİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**OSMANİYE – 2024**

T.C.  
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİNA ENERJİ ANALİZİ İLE MEVCUT BİR BİNANIN  
ENERJİ VERİMLİLİĞİ SEVİYESİNİN  
ARTTIRILMASINA YÖNELİK ÇÖZÜMLERİN  
BELİRLENMESİ

Muhammed Enes UMCU

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

OSMANIYE  
TEMMUZ-2024

## TEZ ONAYI

### BİNA ENERJİ ANALİZİ İLE MEVCUT BİR BİNANIN ENERJİ VERİMLİLİĞİ SEVİYESİNİN ARTTIRILMASINA YÖNELİK ÇÖZÜMLERİN BELİRLENMESİ

Muhammed Enes UMCU tarafından Prof. Dr. Önder KAŞKA danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Önder KAŞKA .....  
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, OKÜ

**Üye:** Prof. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN .....  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, OKÜ

**Üye:** Doç. Dr. Nehir TOKGÖZ .....  
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya Üniversitesi

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Eyyup TEL .....  
Enstitü Müdürü, **Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

*Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.*

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Muhammed Enes UMCU



## ÖZET

### BİNA ENERJİ ANALİZİ İLE MEVCUT BİR BİNANIN ENERJİ VERİMLİLİĞİ SEVİYESİNİN ARTTIRILMASINA YÖNELİK ÇÖZÜMLERİN BELİRLENMESİ

Muhammed Enes UMCU  
Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Önder KAŞKA

Temmuz 2024, 107 sayfa

Konut sektörü dünya enerji tüketiminde yaklaşık %20-%40 ülkemiz enerji tüketiminde ise yaklaşık %24'lük paya sahiptir. Bu oranlar, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği ve konut sektörü enerji tüketiminin küresel ısınmaya katkısının azaltılması için sektörde enerji verimliliği üzerine çalışmaların önemini ortaya koymaktadır. Kurulu binalarda enerji verimliliğine yönelik yapılacaklar ancak mevcut binanın yıllık enerji simülasyonunun gerçekleştirilmesi ile net olarak belirlenebilir. Bu çalışmada, mevcut bir fakülte binasının yıllık enerji simülasyonunu gerçekleştirilmiştir. Analizlerde ENERGYPLUS yazılımı kullanılmıştır. Bina kabuğu mimari proje üzerinden oluşturulmuş ayrıca bina incelenerek olası değişiklikler dikkate alınmıştır. Bina enerji modelinin oluşturulmasının ardından bina çatısına kurulabilecek Fotovoltaik güneş panellerinin enerji üretim potansiyeli araştırılmıştır. Kapsamlı enerji analizi sonuçları, binanın toplam enerji tüketiminin yıllık 626.656,47 kWh olduğunu göstermiştir. Binanın enerji kullanımı dikkate alındığında hesaplanan enerji kullanım yoğunluğu yıllık 16,39 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Bu, yıllık 29,41 kWh/m<sup>2</sup> birincil enerji tüketimine karşılık gelir. Bina yükünün ne kadarının FV üretimi tarafından karşılandığını gösteren güneş faktörü hesaplanmış ve %60 alan kaplama oranı için %82,17, %30 alan kaplama oranı için %65,24 olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bina Enerji Performans Analizi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Bina Enerji Modellemesi, FV sistemler

## ABSTRACT

### DETERMINING SOLUTIONS TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY LEVEL OF AN EXISTING BUILDING THROUGH BUILDING ENERGY ANALYSIS

Muhammed Enes UMCU  
M.Sc., Department of Mechanical Engineering  
Supervisor: Prof. Dr. Önder KAŞKA

July 2024, 107 pages

The building sector accounts for approximately 20%-40% of global energy consumption and about 24% of our country's energy consumption. These figures highlight the importance of energy efficiency studies in the sector to ensure the sustainability of energy resources and reduce the building sector's contribution to global warming. Measures for energy efficiency in existing buildings can only be accurately determined by conducting an annual energy simulation of the current building. In this study, an annual energy simulation of an existing faculty building was conducted. The ENERGYPLUS software was used for the analyses. The building envelope was modeled based on the architectural project, and possible changes were considered by examining the building. After creating the building's energy model, the energy production potential of photovoltaic solar panels that could be installed on the building's roof was investigated. Comprehensive energy analysis results showed that the building's total annual energy consumption is 626,656.47 kWh. Considering the site's energy usage, the calculated EUI is 16.39 kWh/m<sup>2</sup> per year. This corresponds to an annual primary energy consumption of 29.41 kWh/m<sup>2</sup>. The solar factor, which indicates how much of the building load is met by PV production, was calculated to be 82.17% for a 60% ground coverage ratio and 65.24% for a 30% ground coverage ratio.

**Key Words:** Building Energy Performance Analysis, Renewable Energy Resources, Building Energy Modeling, PV systems



Çok kıymetli aileme...

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana büyük katkılar yapan ve her zaman yanımda olan değerli danıőmanım Prof. Dr. nder KAŞKA'ya teşekkür ederim. Her zaman yardımcı olan ve çalıőmalarımı ilerletmem için beni destekleyen Uğur ACAR'a teşekkür ederim. Çalıőmalarımda bana destek veren ve yardımcı olan Onur BOR'a teşekkür ederim. Son olarak ilerlemem ve kendimi geliőtirmek için Yüksek Lisans Eğitimi almamda beni teővik eden değerli aileme teşekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Kapsamı .....	3
2. Literatür Taraması.....	4
2.1. Bina Enerji Performansına Yönelik Yapılan Çalışmalar .....	5
2.2. Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Enerji Performansına Etkisine Yönelik Yapılan Çalışmalar .....	6
3. MALZEME VE YÖNTEM .....	10
3.1. Çalışılan Bina Özellikleri .....	10
3.2. Enerji Performans Simülasyon Yazılımı.....	12
3.3. Enerji Modelleme Aşamaları ve DesignBuilder Yazılımı.....	16
3.4. İklim Girdileri .....	20
3.5. Geometrik Girdiler.....	26
3.6. Bina Kabuğu ve Isıl Geçirgenlik Katsayısı (U-Değeri).....	29
3.6.1. Duvarlar .....	32
3.6.2. Zemin .....	35
3.6.3. Çatı.....	36
3.6.4. Pencereleler.....	38
3.7. Isıl Bölgeleme .....	41
3.8. Çalışma Zaman Çizelgeleri .....	46

3.8.1. Faal Kullanım Çizelgesi .....	47
3.8.2. Isıtma Çizelgesi .....	47
3.8.3. Soğutma Çizelgesi .....	48
3.8.4. Aydınlatma Zaman Çizelgesi .....	48
3.9. Aydınlatma Girdileri .....	51
3.10. Elektriksel Girdiler .....	53
3.10.1. Kimya Laboratuvarı .....	54
3.11. Osmaniye İli Güneş Işınımı Kaynaklı Enerji Kazanımı .....	55
3.12. Elektrik Enerjisi Üretimi .....	57
3.12.1. Fotovoltaik Paneller .....	58
3.12.2. Fotovoltaik Panel Parametreleri .....	61
3.12.3. Fakülte Binasında Kullanılan Güneş Paneli .....	63
3.12.4. Fakülte Binası Güneş Paneli Yerleşimi .....	65
3.12.5. Güneş Enerji Simülasyonu .....	68
3.13. Enerji Kullanım Yoğunluğu (EKY) .....	79
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>80</b>
4.1. Fakülte Binası Enerji Analizi .....	80
4.2. İklim Verisi Analizi .....	85
4.3. Güneş Paneli Elektrik Üretim Analizi .....	86
4.4. Güneş Enerjisi Elektrik Denge Analizi .....	87
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>97</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>99</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>107</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Bina Cephe Duvar, Pencere Alanları ve Duvar/Pencere Oranları .....	12
Çizelge 3.2. TMY Verisine göre Osmaniye Aylık Toplam Isıtma ve Soğutma Gün Dereceleri .....	23
Çizelge 3.3. Isıl Bölge Tiplerine Göre Doluluk Oranları .....	44
Çizelge 3.4. Isıl Bölge Tiplerine Göre Diğer İç Kazançlar .....	45
Çizelge 3.5. Çizelgelerin Tanımlanan Saat Aralıkları .....	49
Çizelge 3.6. Çizelgelerin Tanımlanan Tarih Aralıkları .....	50
Çizelge 3.7. Isıl Bölge Tiplerinin Aydınlatma Yükleri .....	53
Çizelge 3.8. Isıl Bölge Tiplerine Göre Elektrik Yükleri .....	54
Çizelge 3.9. Fakülte Binasında Tercih Edilen Güneş Panelinin Etiket Değerleri .....	64
Çizelge 3.10. AKO Değerleri ve FV Panel Sayıları .....	67
Çizelge 4.1. Fakülte Binası Yıllık Enerji Talep Tablosu .....	81
Çizelge 4.2. Bina Isı Kayıp Kazanç Çizelgesi .....	81
Çizelge 4.3. Osmaniye İli Aylık Isıtma ve Soğutma Gün Dereceleri (MGM 2022) ..	85
Çizelge 4.4. AKO ve Yıllık Elektrik Üretim Değerleri .....	87
Çizelge 4.5. AKO Oranları ve Solar Faktör Değerleri .....	91
Çizelge 4.6. Performans ve Spesifik Üretim Oranları .....	94

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Mühendislik Fakültesi Kuş Bakışı Görünümü.....	11
Şekil 3.2. Fakülte Binası İzometrik Görünüm (Klima, 2021).....	12
Şekil 3.3. EnergyPlus Çalışma Mimarisi (Aktacir, vd., 2011).....	14
Şekil 3.4. EnergyPlus Simülasyon Yöneticisi Çalışma Mimarisi (Aktacir vd. , 2011) .....	15
Şekil 3.5. ASHRAE Isı Denge Metodu Şeması (Acar, 2023).....	16
Şekil 3.6. Fakülte Binası Zemin Kat Teknik Çizimi .....	17
Şekil 3.7. Fakülte Binası DesignBuilder içerisinde 3B Görünümü .....	18
Şekil 3.8. Pencere Konum ve Boyut Gösterimi .....	19
Şekil 3.9. Pencere/duvar Oranına Göre Oluşturulmuş bir Pencere.....	19
Şekil 3.10. Osmaniye İli Aylık Ortalama Sıcaklık ve Bağıl Nem Grafiği .....	21
Şekil 3.11. Osmaniye İli m <sup>2</sup> 'ye Düşen Aylık Toplam Direkt Güneş Işınımı .....	22
Şekil 3.12. Türkiye 2007-2021 Yılları Ortalama Isıtma Gün-Dereceleri (MGM, 2022) .....	23
Şekil 3.13. Türkiye 2021 Yılı Soğutma Gün-Dereceleri (MGM, 2022).....	25
Şekil 3.14. Köppen-Trewartha İklim Sınıflandırması (Bölük ve Kömüçü, 2018) ...	26
Şekil 3.15. Fakülte Binası En Boy Şekil Boyutsal Gösterimi.....	27
Şekil 3.16. Fakülte Binası Boy ve Yükseklik Boyutları (Önden Görünüm).....	27
Şekil 3.17. DesignBuilder İçerisinde Oluşturulmuş Fakülte Binası Oryantasyonu...	28
Şekil 3.18. Bina Ön (Solda) ve Arka Cephesi (Sağda) .....	29
Şekil 3.19. Bina Kabuk Komponentleri (Musa, 2015) .....	29
Şekil 3.20. Bina Kabuğu Komponentleri ve Isı Kaybı Gösterimi (Dawsonmetal, 2022) .....	30
Şekil 3.21. Avrupa Ülkeleri U-değeri Standart Değerleri (ZEBRA, 2015) .....	31
Şekil 3.22. Türkiye U-değeri Kabul Edilebilir Sınır Standart Değerleri (Enerji, 2023) .....	32
Şekil 3.23. Fakülte Binası Dış Görünüşü (OKÜ, 2020).....	33
Şekil 3.24. DesignBuilder İçerisinde Yapı Tanımlama Arayüzü.....	34
Şekil 3.25. Fakülte Binası Duvar Kesit Görünümü.....	35
Şekil 3.26. Bina Zemin Kesit Görünümü.....	36
Şekil 3.27. Fakülte Binası Yukardan Görünüşü .....	37

Şekil 3.28. Bina Çatı Kesit Görünümü .....	38
Şekil 3.29. Fakülte Binası için DesignBuilder İçerisinde Cam Tipi Belirleme Bölümü .....	39
Şekil 3.30. Güney Cephesinden Bulunan Bir Pencerenin Teknik Resimde Görünümü .....	40
Şekil 3.31. Cam Tipi Düzenleme Kısmı .....	41
Şekil 3.32. DesignBuider İçerisinde Bulunan Aktivite Sekmesi.....	42
Şekil 3.33. DesignBuilder İçerisinde Ayarlanan İnsan Yoğunluğu Sekmesi Görünümü .....	43
Şekil 3.34. Tek bir ısıl bölge içerisinde birleştirilmiş ofis odaları .....	46
Şekil 3.35. DesignBuilder İçerisinde Çizelge Tanımlama Arayüzü.....	47
Şekil 3.36. Gömme Aydınlatma .....	51
Şekil 3.37. DesignBuilder Aydınlatma Girdileri .....	52
Şekil 3.38. Fakülte Binası Üçüncü Kat İzometrik Görünümü .....	55
Şekil 3.39. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (ETKB, 2022) .....	56
Şekil 3.40. GEPA Osmaniye Güneş Enerji Potansiyeli (GEPA, 2017) .....	56
Şekil 3.41. Osmaniye Ortalama Global Işınım Değerleri ( $kWh/m^2 - gün$ ) (GEPA, 2017).....	57
Şekil 3.42. Fakülte Binası İçin Oluşturulmuş Taslak Elektrik Üretim Bağlantı Şeması .....	58
Şekil 3.43. Fotovoltaik Panel Hücreleri (Demiryürek, 2018) .....	59
Şekil 3.44. Fotovoltaik Panel Katmanlı Görünümü (SolarAVM, 2021) .....	60
Şekil 3.45. Güneş Paneli Hücre Tipleri (SolarAVM, 2023).....	61
Şekil 3.46. Fotovoltaik Panel Eşdeğer Devresi (Bolat, vd., 2020) .....	62
Şekil 3.47. Güneş Paneli Ön ve Arkadan Görünüşü (Enerji, 2020).....	64
Şekil 3.48. Mühendislik Fakültesi Binası İzometrik Görünüm (OKÜ, 2023) .....	65
Şekil 3.49. Fakülte Binası SketchUp Ortamında Güneş Paneli Yerleşimi .....	66
Şekil 3.50. AKO Hesabı Gösterimi (Deline, vd., 2014).....	67
Şekil 3.51. Fakülte Binası PVsyst Ortamında Güneş Paneli Yerleşimi .....	68
Şekil 3.52. PVsyst Proje Penceresi .....	69
Şekil 3.53. Fakülte Binasının PVsyst İçerisindeki Konum Bilgileri.....	70
Şekil 3.54. PVsyst İklim Veri Tabanı .....	70
Şekil 3.55. PVsyst İklim Veri Tabanı Seçim Penceresi.....	71

Şekil 3.56. PVsyst İklim Verisi Tanımlama Penceresi .....	72
Şekil 3.57. PVsyst Güneş Paneli Yönlendirmesi .....	73
Şekil 3.58. PVsyst Sistem Penceresi .....	74
Şekil 3.59. PVsyst Sistem Tek Zincir Diyagramı.....	74
Şekil 3.60. PVsyst Öz Tüketim Penceresi.....	75
Şekil 3.61. PVsyst İçerisinde Saatlik Parametre Okuma .....	76
Şekil 3.62. PVsyst programında Ufuk .....	77
Şekil 3.63. PVsyst Yakın Gölgelemeler .....	78
Şekil 3.64. PVsyst Parametreleri Tanımlanmış Proje Penceresi .....	79
Şekil 4.1. İnsan Kaynaklı İç Isıl Kazanım (kWh) .....	82
Şekil 4.2. Fakülte Binası Aylık Enerji Talep .....	83
Şekil 4.3. Fakülte Binası Aylık Isıtma Enerji Talebi .....	84
Şekil 4.4. Fakülte Binası Aylık Soğutma Talebi.....	84
Şekil 4.5. Osmaniye İli Aylık Sıcaklık ve Direkt Normal Güneş Enerjisi Kazanım Ortalamaları .....	86
Şekil 4.6. AKO Değerleri ve Binanın Şebekeden Çektiği Elektrik Miktarları (kWh)88	
Şekil 4.7. AKO Değerlerine Göre Fakülte Binasının Güneş Panellerinden Çektiği Enerji Miktarları (kWh) .....	89
Şekil 4.8. AKO Değerlerine Göre Güneş Panellerinin Şebekeye Verdiği Elektrik Miktarları (kWh).....	89
Şekil 4.9. AKO Değerlerine Göre SF Oranları .....	90
Şekil 4.10. Enerji Üretim ve Tüketim Profilleri a) 14 Ocak b) 1 Haziran .....	92
Şekil 4.11. Saatlik AKO ve Solar Faktör Değerleri a) 14 Ocak b) 1 Haziran.....	93
Şekil 4.12. AKO Değerlerine Göre Aylık ŞEE Grafiği .....	95
Şekil 4.13. Yıllık ŞEE Değerleri .....	95
Şekil 4.14. PVsyst AKO=0,6 Kayıplar Diyagramı .....	96

## SİMGELER VE KISALTMALAR

AA	Alternatif Akım	(V)
AKO	Alan Kaplama Oranı	(-)
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit	(-)
DA	Doğru Akım	(V)
EKY	Elektrik Kullanım Yoğunluğu	(kWh.m <sup>-2</sup> )
FV	Fotovoltaik	(-)
$f_{\text{sebeke},i}$	Aylık Şebeke Etkileşim Endeksi	(-)
$f_{\text{sebeke,yıl}}$	Yıllık Şebeke Etkileşim Endeksi	(-)
GES	Güneş Enerji Santrali	(-)
I	Akım	(A)
I <sub>0</sub>	Diyot Ters Doyma Akımı	(A)
I <sub>D</sub>	Diyot Akımı	(A)
IGD	Isıtma Gün Derecesi	(°C.gün)
I <sub>L</sub>	Güneş Paneli Çıkış Akımı	(A)
I <sub>sh</sub>	Sızıntı Akımı	(A)
lux	Aydınlatma Yoğunluğu	(lümen.m <sup>-2</sup> )
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü	(-)
NSEB	Net Sıfır Enerjili Binalar	(-)
PO	Performans Oranı	(-)
R <sub>s</sub>	Güneş Hücresi İçindeki İç Direnç	(ohm)
R <sub>s</sub>	Tüketici Kaynaklı Direnç	(ohm)
R <sub>sh</sub>	Sızıntı Akımına Karşı Olan Direnç	(ohm)
SF	Solar Faktör	(-)
SGD	Soğutma Gün Derecesi	(°C.gün)
SÜO	Spesifik Üretim Oranı	(-)
ŞEE	Şebeke Etkileşim Endeksi	(-)
T <sub>h</sub>	Isıtma Dönemi için Eşik Sıcaklığı	(°C)
TMY	Tipik Meteorolojik Yıl	(-)
T <sub>o</sub>	Günlük Ortalama Dış Sıcaklığı	(°C)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü	(-)
U <sub>duvar</sub>	Duvar Isı Geçirgenlik Katsayısı	(W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> )

$U_{\text{pencere}}$	Pencere Isı Geçirgenlik Katsayısı	$(\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1})$
$U_{\text{taban}}$	Taban Isı Geçirgenlik Katsayısı	$(\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1})$
$U_{\text{tavan}}$	Tavan Isı Geçirgenlik Katsayısı	$(\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1})$
$V_d$	Diyot Voltajı	(V)
$\varphi_s$	Solar Faktör	(-)

### Alt İndisler

$V$	Voltaj	(V)
$R$	Direnç	(ohm)
$q$	Elektron Yüğü	(C)
$k$	Boltzman Sabiti	(-)
$n$	Diyot Faktörü	(-)
$d$	Mesafe	(m)
$T$	Kelvin Biriminden Sıcaklık	(K)

## 1. GİRİŞ

Günümüzde enerji ciddi önem arz etmekte ve devletler bunun için çözümler aramaktadır. Devletlerin yanı sıra hane halkları da bu konuda bir arayış içerisinde bulunmaktadır. Enerji sorununa yönelik çalışmalar öncelikle enerjinin tüketim kalemlerinin araştırılması ile başlanmıştır. Araştırmacılar bu kalemler arasında yeni çözümler üretmektedir. Bunlardan bir tanesi göze çarpan ve ciddi bir enerji tüketim kalemine sahip olan binalardır.

Enerjinin sürdürülebilir ve etkili bir şekilde kullanılması, küresel düzeyde önemli bir konu haline gelmiştir. Enerji talebinin artması, iklim değişikliği endişeleri ve enerji kaynaklarının sınırlı olması, binaların enerji performansının ve sürdürülebilir tasarım stratejilerinin daha fazla önem kazanmasına yol açmıştır. Bu bağlamda, binaların enerji etkinliği ve sürdürülebilirlik açısından optimize edilmesi hem çevresel etkileri azaltmak hem de enerji maliyetlerini düşürmek için kritik bir rol oynamaktadır.

Binalar global enerji tüketiminin %30'unu kapsarken global sera gazı emisyonunda %26'sından sorumludur (Chen, 2023). Binaların bu denli enerji tüketiminin sebebi insanların hayatının bir kısmının bu yapılarda geçmesi ve bina içerisindeki faaliyetleridir. Binaların enerji tüketimi incelenmeden önce bu yapıların kullanım amacına göre sınıflandırılması gerekmektedir. Bunlar Konut, Ticari, Endüstriyel, Altyapı, Eğitim ve diğerleri olarak 6 farklı sınıfta derlenmiştir (Finity, 2024).

Binaların kullanım amacına göre enerji tüketim sebepleri de değişmektedir. Örneğin, konut tipi bir binanın en büyük enerji tüketim kalemi iklimlendirme olurken (EIA, 2023), bir restoran binasının en büyük elektrik tüketim kalemi ekipman kaynaklı olabilmektedir (Vale, 2023). Bu tip ayrışmalar için binalar doğru bir biçimde sınıflandırılmalı ve geniş bir perspektifte bakarak araştırmalar yapılmalıdır.

Devletler bina kaynaklı elektrik tüketimini düşürmek için çeşitli metotlara başvurmuştur. Bunlardan ilki direktifler yayımlayarak binaların belli bir enerji verimliliği içerisinde tutulmasını amaçlamaktadır. Bunlara Avrupa Birliğinin yayınladığı "The Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)" (Center, 2020),

Amerika Birleşik Devletlerinin yayınladığı “Federal Building Energy Efficiency Rules and Requirements” (Laustsen, 2008), ve Türkiye’nin yayınladığı Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (Enerji, 2008) örnek olarak gösterilebilmektedir.

Bu direktiflerin amacı binaların enerji ihtiyaçlarını azaltmak ve enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Direktiflerin yanı sıra ülkeler kendilerine yeni hedefler koymakta ve bunlar için çaba göstermektedir. Örneğin NSEB (Net Sıfır Enerjili Bina) konsepti ortaya çıkarılmış ve bunun uygulanabilmesi için yeni araştırma dalları oluşturulmuştur. Bu konseptte bina üzerinde enerji dengesi analizi yapıldığında binanın şebekeden çektiği enerjinin sıfır olması hedeflenmiş ve dahası yapabiliyorsa şebekeye enerji sağlaması hedeflenmiştir.

Binalarda enerji verimliliğini arttırmak için öncelikle binanın doğru bir biçimde tanımlanması gerekmektedir. Bu sebeple araştırmacılar gelişen teknoloji ile binaların dijital ortamda modellenmesi kavramını ortaya çıkartmıştır. Bu kavram binanın enerji performansını etkileyecek tüm parametrelerin dijital ortamda oluşturulması ve simülasyon ile binanın enerji karakteristiğinin ortaya çıkarılmasını amaçlamaktadır. Bilgisayar ortamında oluşturulan modellerde enerji karakteristiğinin ardından model üzerinde iyileştirmeler yapılabilmekte ve bu iyileştirmelerin maliyet analizleri ile uygulanabilirliği analiz edilebilmektedir.

Bu çalışmada, Osmaniye Korkut Ata Üniversite Mühendislik Fakültesi binasının enerji modellemesi ve yenilenebilir enerji modellerinin kullanımı üzerine detaylı bir analiz gerçekleştirilmiştir. DesignBuilder yazılımı kullanılarak yapılan enerji modellemesi, binanın tasarım özelliklerinin enerji tüketimi üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Yapılan analizlerde, yalıtım kalitesi, pencerelerin konfigürasyonu, bina azimut açısı ve en/boy oranı gibi temel tasarım unsurlarının enerji performansını belirgin bir şekilde etkilediği görülmüştür.

Ek olarak, enerji modellemesi sonuçlarına göre dikkate değer bir bulgu da binanın soğutma ihtiyacının ısıtma ihtiyacından fazla olmasıdır. Bu durum, iklim değişkenlikleri ve mevsimlere bağlı olarak enerji talebindeki değişkenlikleri göstermektedir. Özellikle yaz aylarında artan soğutma ihtiyacı, iklimsel

değişkenliklere uyumlu tasarım stratejilerinin benimsenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda, bu çalışma sadece bina tasarımının değil, aynı zamanda enerji talebinin iklim koşullarına duyarlı bir şekilde yönetilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. Ayrıca, bina içi enerji kullanımının optimizasyonu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin bir şekilde entegrasyonu gibi stratejilerin, sürdürülebilir enerji uygulamalarının geliştirilmesinde kilit rol oynayabileceği düşünülmektedir. Enerji verimliliği ve sürdürülebilir tasarımın, küresel enerji sorunlarına yönelik etkili çözümler sağlama potansiyeli bulunmaktadır.

Bu çalışmanın bir diğer önemli sonucu, binanın enerji tüketim profilinin kullanım amacına göre belirlenmiş Isıl Bölgeler üzerinden detaylı bir şekilde analiz edilmesidir. Her bir ısıl bölge için özel çalışma çizelgelerinin eklenmesi, bina içindeki farklı bölgelerin enerji taleplerini ve bu taleplerin zaman içindeki değişimleri gösterilmiştir. Örneğin, ofis alanlarının farklı bir enerji tüketim profiline sahip olduğu, toplantı salonlarının ise daha farklı enerji profiline sahip olduğu belirlenmiştir. Bu, bina tasarımının bütünlüğü açısından önemli bir ayrıntıdır ve enerji yönetimi stratejilerinin belirlenmesinde rehberlik edebilmektedir.

Bu çalışmada ek olarak binanın sahip olduğu çatı alanına kurulabilecek güneş panelleri için senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryoların binanın enerji dengesi üzerindeki etkileri ortaya koyulmuştur.

### **1.1. Çalışmanın Kapsamı**

Bu çalışma, bina tasarımının enerji etkinliği ve sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesine odaklanan kapsamlı bir analizi içermektedir. Temelde, DesignBuilder ve PVsyst yazılımları kullanılarak yapılan enerji modellemesi, binanın çeşitli tasarım özelliklerinin enerji performansına olan etkilerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Enerji analizleri, bina ısı karakteristiğinin güneş paneli yerleşim tasarımındaki temel enerji dengesine katkı yapmaktadır.

Çalışmanın kapsamı aynı zamanda binanın farklı kullanım bölgelerine (ısıtıl bölge) yönelik enerji modellemesini içermektedir. Bu, ofis alanlarından konferans salonlarına kadar farklı bölgelerin enerji taleplerini belirleyerek, binanın içindeki enerji kullanım profillerinin anlamlandırılmasına yardımcı olmaktadır. Bu detaylı analiz, enerji yönetimi stratejilerinin belirlenmesi ve uygulanması için önemli bir araç özelliği sağlamaktadır.

Ayrıca, çalışma binanın elektronik ekipmanlarının enerji tüketimini değerlendirmekte ve bu ekipmanların enerji tüketimlerini düşürecek çözümler sunmaktadır. Elektronik ekipmanların enerji verimliliğinin artırılması, bina genelinde elektrik tüketimini azaltma potansiyeli sunmaktadır.

Bu çalışmada ek olarak binanın enerji ihtiyacının güneş panelleri tarafından karşılanması için güneş paneli kurulum senaryoları oluşturulmuş ve bu senaryolar değerlendirilmiştir. Güneş panelleri AKO (Alan Kaplama Oranı) değerlerine göre yerleştirilmiştir. Binanın güneş panellerinden elde ettiği enerji, binanın şebekeden çektiği enerji ve güneş panellerinin şebekeye verdiği enerji miktarları analiz edilerek görselleştirilmiştir.

## **2. Literatür Taraması**

Bu çalışmada bina enerji modellemesiyle birlikte analizi ve güneş panellerinin bina entegrasyonu ile enerji dengesine olan etkisi üzerine çalışma yapılmıştır. Bu sebeple literatür taraması da bu konuları incelemek üzere iki kısma ayrılmıştır.

Bina enerji performansı çalışmalarının incelenmesi için farklı metotlarla oluşturulmuş modeller ve analiz yöntemleri incelenmiş ve özetlenerek anlatılmıştır. Performansa etki eden etkenler bu çalışmalarda incelenmiş ve bu çalışma içerisinde elde edilen metotlar kullanılmıştır.

Güneş panellerinin binaya entegrasyonu için farklı bina tiplerine sahip makaleler incelenmiş ve metotlar analiz edilerek ortaya konmuştur. Çalışmalardan elde edilen gözlemler bu tezde de inceleme konusu olmuş ve sonuçlar ortaya konmuştur.

## 2.1. Bina Enerji Performansına Yönelik Yapılan Çalışmalar

Günümüzde artan enerji fiyatları sebebi ile çoğu sektörde olduğu gibi bina sektöründe de enerji maliyetleri ciddi bir ödeme kalemi haline gelmiştir. Bu sebeple binalarda enerji verimliliğine yönelik çalışmalar ön plana çıkmıştır. Binalarda enerjinin etkin kullanımını sağlamak için binanın enerji karakteristiğini anlamak kritik önem arz etmektedir. Ülkemizde ve dünyada bina enerji performansı ve bina karakteristik analizine yönelik önemli derecede çalışma yapılmıştır.

Kayın'ın (Kayın, 2019), yaptığı bir çalışmada, DesignBuilder yazılımı ile bina enerji performansı analizi yaparak binanın enerji ihtiyacı ve CO<sub>2</sub> salınımı hesaplanmıştır. Yapılan enerji analizinde binanın enerji ihtiyacı hesaplanmış ve bu değerler Türkiye'deki durumlar ile karşılaştırılmıştır. Binanın enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları modele eklenerek binanın enerji analizi gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak binada yapısal olarak enerji performansını iyileştirecek analizler yapılmış ve analiz sonuçlarına göre önerilerde bulunulmuştur.

Koç'un (Koç, 2019) yaptığı çalışmasında, binalarda yaygın olarak kullanılan beş farklı tip gölgelendirme yaklaşımı ile günışığı analizi için 1485 adet birbirinden farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar arasında bina günışığının bina enerji tüketimleri ve davranışları karşılaştırılarak sonuçlar analiz edilmiştir.

Saffar'ın (Saffar, 2022) gerçekleştirdiği çalışmada, iki katlı müstakil bir konutun Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina (NZEB) konseptine uygun benzetme yapılarak bina enerji performansı analiz edilmiştir. Ardından, elde edilen bina modeli için iki farklı iklim koşulunda binanın enerji karakteristiği simüle edilmiştir. Referans bina ve modellenmiş binanın enerji tüketim sonuçları analiz edilmiştir.

Eskin ve arkadaşları (Eskin, vd., 2017) yaptıkları çalışmada, İstanbul Üniversitesi'nin mühendislik fakültesinin enerji modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modelde binanın enerji ihtiyacı elde edilmiş ve bina davranışı takip edilmiştir. Yapılan çalışmada mevcut olan HVAC sistemlerinin ASHRAE 55 standardı (ASHRAE, 2013)

konfor sıcaklıkları için yeterli olup olmadığı değerlendirilmiştir. Bunun ardından VRF sistemleri modellenerek simülasyon altında ısıtma, soğutma ve enerji tüketimleri analiz edilmiştir.

Eskin'in (Eskin, 2011) yaptığı çalışmada, bir ofis binasının konumunun, iklim bölgesinin ve bina dış kabuğunun binanın ısı yüklerine etkisi incelenmiş ve bunun üzerine tablolar ile açıklanmıştır. Tablolarda yalıtım kalınlığı ele alınmıştır. 25mm'den 75mm'ye kadar olan yalıtımın ısıtma ve soğutma yüklerine olan etkisi incelenmiştir. Bunun yanı sıra bu yalıtıma sahip binaların İstanbul, Ankara, İzmir ve Antalya iklim koşullarındaki ısı yüklerine bakılmıştır. Yalıtımı arttırmanın en fazla Ankara iklimine sahip binada olduğu sonucuna varmıştır.

Özdemir'in (Özdemir, 2013) gerçekleştirdiği yüksek lisans çalışmasında, bir ofis binasının EnergyPlus yardımıyla enerji modeli oluşturulmuştur. Ofis binasının kullanım ve enerji karakteristikleri incelenmiştir. Binanın ısıtma ve soğutma sistemleri incelenmiş ve iyileştirme önerileri sunulmuştur. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanımının binanın enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak ısı pompasının klasik ısıtma yöntemlerine göre önemli ölçüde enerji tasarrufu sağladığı gözlemlenmiştir.

Boyano ve arkadaşları (Boyano, vd., 2013), İngiltere'de bulunan bir ofis binası için enerji modellemesi yapmış ve enerji tasarruf potansiyeli araştırmıştır. Bu araştırma esnasında farklı iklim bölgelerinde, aydınlatma, iklimlendirme, yalıtım ve bina yönelimi için farklı senaryolar oluşturulmuş ve senaryolar sonucunda binanın enerji tasarruf fırsatları sunulmuştur. Bu fırsatlar arasında iklimlendirme sisteminin daha verimli olanlar ile değiştirmenin ve yalıtımda yapılan iyileştirmelerin enerji tüketimini düşürdüğü gözlemlenmiştir.

## **2.2. Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Enerji Performansına Etkisine Yönelik Yapılan Çalışmalar**

Alakour'un (Alakour, 2022) yaptığı çalışmasında Karabük Üniversitesinde bulunan bina için Net Sıfır Enerjili Binalar (NSEB) konseptine uygun bir şekilde

iyileştirilmesine yönelik bir inceleme yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında bina enerji modeli oluşturulmuş ve gerçek tüketimlerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmaya ek olarak bina için ısı pompası ve fotovoltaik panel kullanımı da modele eklenerek enerji tüketim analizi yapılmıştır.

Altınöz ve Mıhlayanlar'ın yaptığı çalışmasında (Altınöz ve Mıhlayanlar, 2019) farklı kullanım amacı olan binalar seçilmiş ve bu binalar üzerinde yalıtım durumunun iyileştirilmesine ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıma yönelik senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryoların sonucunda bina enerji performansı incelenmiştir. Bina üzerine eklenen fotovoltaik panellerin bina enerji üretim ve tüketim dengesine olan etkisi analiz edilmiştir.

Yıldız'ın (Yıldız, 2017) yaptığı doktora çalışmasında, Erzurum Havalimanının enerji modeli oluşturulmuş, ardından gerçek tüketimleri ile oluşturulan enerji modeli kalibre edilmiştir. Modelin enerji tüketimi gerçek tüketimlere %11'lik bir sapma oranı ile yakınsamıştır. Bina'nın enerji tüketimlerini etkileyen faktörler için iyileştirme önerileri yapılmış ve bu iyileştirmelerin maliyetleri hesaplanmıştır. Binanın enerji ihtiyacının karşılanması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı da hesaba katılmış ve bu sistemlerinin maliyetleri hesaplanmıştır.

Hoseinzadeh ve arkadaşlarının (Hoseinzadeh, vd., 2021) Tahran şehrinde yaptıkları çalışmada, yirmi katlı bir ofis binasının enerji analizi yapılmış ve ortaya çıkan aydınlatma yükünün %20'lik kısmının Fotovoltaik paneller ile sağlanması hedeflenmiştir. Bu çalışmada 830 adet her biri 405 Watt olan paneller kullanılmıştır. Binanın aydınlatma yükünün aylık olarak maksimum %51,3 ve minimum %20'lik ihtiyacını karşılayabileceğini ortaya koymuştur.

Dehwah ve Asif (Dehwah ve Asif, 2019) yaptıkları çalışmada, Suudi Arabistan'da bulunan bir binanın enerji performansı incelenmiş ve binanın çatısına kurulacak Fotovoltaik paneller için elektrik üretim analizi yapılmıştır. Fotovoltaik panellerin elektrik üretimini ve panelin sağladığı kaçınacağı Güneş kaynaklı ısı kazanımını hesaplamak için iki farklı yazılım kullanılmıştır. PVSol ile elektrik üretimini

hesaplanmıştır. DesignBuilder ile hem enerji analizi yapılmış hem de güneş kaynaklı ısı kazanımının düştüğü ortaya çıkarılmıştır.

Taşkın ve Vardar (Taşkın ve Vardar, 2019) çalışmasında, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Amfi derslik binası çatısına güneş enerjisi sistemi kurma imkânı araştırılmıştır. Araştırma kapsamında, PV-SOL yazılımı kullanılarak 8 farklı senaryo oluşturulmuştur. Her senaryoda, güneş panellerinin sayısı, eğimi ve yönü gibi parametreler değiştirilmiştir. Senaryolardan elde edilen veriler ışığında, Amfi derslik binası çatısının güneş enerjisi üretimine uygun olduğu ve en fazla elektrik üretiminin temmuz ayında, en azın ise ocak ayında gerçekleştiği görülmüştür. Güneş panellerinin sayısının artmasıyla birlikte şebekeye iletilen toplam güç ve kaçınılan CO2 emisyonu da artmaktadır.

Erzurum ve Sayın (Erzurum ve Sayın, 2020) yaptığı çalışmasında Sivas'ta bir tavuk çiftliği binasının çatısına kurulu güneş enerjisi sistemini ve şebekeye elektrik üretme potansiyeli açısından incelenmiştir. Amaç, Sivas'ın güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek ve bu potansiyeli kullanarak elektrik üretmektir. Çatı tipi güneş panellerinin tasarımı da araştırmanın konusudur. Pvsyst simülasyon programı kullanılarak yapılan analizler, sistemin %87,3'lük bir performans oranı ile 111,312 kWh enerji üretebileceğini göstermiştir. Performans oranının yaz aylarında sıcaklıktan etkilendiği ve düştüğü, kış aylarında ise yükseldiği gözlemlenmiştir. Hesaplamalar, sistem yatırımının 12 yıl içinde geri ödeneceğini ortaya koymaktadır. Sistemin yüksek performans göstermesi, tavuk çiftliği binasının güneş enerjisi sistemleri için uygun olduğunu göstermektedir.

Çalık ve Emre (Çalık ve Emre, 2022) yaptığı bir çalışmasında Isparta'da bir kamu binasının çatısına kurulan 10 kW gücündeki güneş enerjisi santrali (GES) için bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, GES'in yıllık 45690 TL gelir sağlayarak 4,9 yıl içinde yatırım maliyetini amorti edebileceği belirlenmiştir. Bu tür yatırımların cazip bir seçenek olduğunu göstermektedir. Elektrik satış fiyatlarındaki artış ve vergi muafiyeti avantajı sayesinde, amortisman süresinin 4 yıldan kısa olabileceği öngörülmüştür. GES'in, yıllık elektrik ihtiyacını karşılayarak uzun vadede önemli tasarruflar sağlayacağı ve sera gazı emisyonlarını azaltarak daha

temiz bir çevreye katkıda bulunacağı saptanmıştır. Isparta'daki kamu binası GES simülasyonu, bu tür yatırımların hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağladığını ortaya koymaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinin kamu binaları ve konutlarda yaygınlaştırılmasıyla enerji maliyetlerinin düşürülmesine ve sürdürülebilir bir geleceğe katkı sağlanmasına yardımcı olabilmektedir.

Arslan ve Türkdoğan (Arslan ve Türkdoğan, 2022) yaptığı çalışmasında Yalova ilindi bulunan mühendislik fakültesi binasının çatısına güneş panelleri yerleşimi yapılmıştır. Güneş panelleri 19°, 21° ve 29° de sırasıyla 534509 ve 437 adettir. Bu tabloda kurulu güç sırasıyla 157 MWh, 151 MWh ve 131 MWh olarak hesaplanmıştır. Ek olarak elektrik üretimi için PVGIS ve PVWatts yazılımları kullanılarak iki farklı yazılımda aynı senaryolar oluşturulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. PVWatts yazılımında üretilen enerji daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Programları kamu binalarının güneş enerjisi potansiyeli, çeşitli çizim ve benzetim programları kullanılarak analiz edilmiştir. Mevcut ve geliştirilmiş mimari tasarımların elektrik üretim potansiyeli üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan tasarım değişiklikleri iki gruba ayrılmıştır: basit değişiklikler ve eğimli çatı kurulumu. Her iki grupta da yapılan değişiklikler, mevcut duruma göre enerji üretimini önemli ölçüde artırmıştır. Basit değişikliklerle modifiye edilen mimari planın enerji üretim potansiyelinde %242,82 artış gözlemlenmiştir, eğimli çatı inşası ile elde edilebilecek enerji potansiyelinin ise %592,48'e kadar ulaştığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, Yalova'daki kamu binalarının güneş enerjisi potansiyelinin oldukça yüksek olduğunu ve basit mimari değişikliklerle bile önemli ölçüde güneş enerjisi üretilebileceğini göstermektedir. Eğimli çatı kurulumu gibi daha kapsamlı değişiklikler ise güneş enerjisi üretiminde daha da büyük artışlar sağlayabilir.

### **3. MALZEME VE YÖNTEM**

Bu çalışmada fakülte binası gerçeğe uygun bir biçimde modellenmiş ve bu aşamalar bu ana başlık altında detaylı olarak açıklanmıştır. Binanın enerji performansına etki eden ve sonuçları etkileyecek parametreler tanımlanmış ve sebepleri ile açıklanmıştır. Güneş paneli modellemesi, parametrik çalışması ve yerleşimi detaylıca açıklanmıştır. Ayrıca PVsyst içerisinde modelin nasıl kurgulandığı aşama aşama gösterilmiştir. Bu ana başlık altında çalışmayı kapsayan etkenler detaylıca irdelenip gösterilmiştir.

#### **3.1. Çalışılan Bina Özellikleri**

Bu yüksek lisans çalışması kapsamında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi bünyesinde yer alan mühendislik fakültesi binasının enerji performansını belirlemek amaçlanmıştır. Mühendislik fakültesi binası, üniversite kampüsü içerisindeki en büyük bina olmakla birlikte toplam kullanım alanı 37721,81 m<sup>2</sup> ve kat yüksekliği 4,2 m'dir. Bina toplam 5 katlı olup kot farkı kullanılarak 3 cepheden giriş ve çıkış yapılabilmektedir. Binanın ön cephesi kuzeye saat yönünde 24° açı yapacak şekilde konumlanmıştır. Binanın yerleşim alanı 10130 m<sup>2</sup>'dir. Binanın kampüs içerisindeki konumu Şekil 3.1.'de görüldüğü gibidir. Bina 2014 yılında yapımı tamamlanmış ve TS 825 (TSE, 2008a) standartlarına uygun olarak tasarlanmıştır.



Şekil 3.1. Mühendislik Fakültesi Kuş Bakışı Görünümü

Binanın yapısı gereği ve kullanım şekline bağlı olarak cephe açıklıkları değişkenlik göstermektedir. Binanın toplam cephe alanı 19824,42 m<sup>2</sup>'dir. Binanın yönelim açısı, kot farkları, cephe açıklıkları, geometrik şekli ve çatısı Şekil 3.2.'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Fakülte Binası İzometrik Görünüm (Klima, 2021)

Bina bir eğitim binası olduğu için yüksek pencere duvar oranına sahiptir. Binanın yönlerine göre duvar ve pencere oranları Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir. Binanın çevresinde yüksek katlı bir bina veya yapı bulunmamaktadır. Bu nedenle enerji simülasyonunda çevre şartı olarak gölgelendirme yapılmamıştır.

Çizelge 3.1. Bina Cephe Duvar, Pencere Alanları ve Duvar/Pencere Oranları

	Toplam	Kuzey	Doğu	Güney	Batı
Cephe Yüzeyi Alanı [m <sup>2</sup> ]	19824,42	4618,08	5400,11	4752,79	5053,43
Pencere Alanı [m <sup>2</sup> ]	4710,26	1866,22	896,73	1150,09	797,22
Pencere/duvar oranı [%]	23,76	40,41	16,61	24,20	15,78

### 3.2. Enerji Performans Simülasyon Yazılımı

Binalarda enerji performans modeli, içerisinde enerji tüketimini etkileyen parametre ve hesaplamaların dahil olduğu sayısal bir model olarak ortaya çıkmaktadır. Bu model

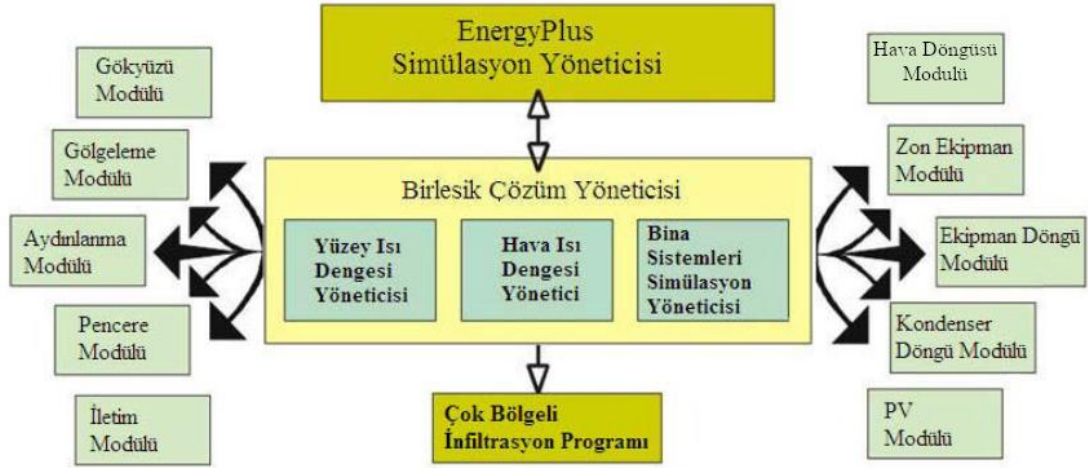
gerçek ya da gerçeğe yakın varsayımlara dayalı parametreler ile oluşturulmaktadır. Sayısal model çeşitli iklim ve çevre koşulları altında simüle edilmekte ve sonuçları analiz edilerek yorumlanmaktadır. Elde edilen analizler çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları, performans analizi, enerji kimlik belgesi, iyileştirme çalışması, yenilenebilir enerji yatırımı için maliyet ve geri ödeme analizi vb. çalışmaları kapsamaktadır.

Enerji analiz ve simülasyon için yerli ve uluslararası standartlara uygun sayısal analiz ve modelleme gerekmektedir. Türkiye için ulusal olarak geliştirilen ve TS EN ISO 13790 standardı baz alınarak oluşturulan Bep-Tr hesaplama metodu kullanıcılara sunulmuştur. Bu hesaplama yöntemi Türkiye koşulları ve malzeme kütüphanesi için özelleştirilmiştir (Atmaca, 2010). Bu yazılımın binalarda enerji kimlik belgesi oluşturulması için kullanılması zorunlu hale gelmiştir (Harputlugil, 2013).

Uluslararası ölçekte kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılan ASHRAE 209 (Kolderup, 2018) ve ASHRAE 140 (Judkoff ve Neymark, 2006) standartları bunlardan birkaçıdır. Bu standartlar, ısı konfor, HVAC, aydınlatma, doluluk oranı, elektrik kullanımı, ısı bölgeleme, soğutma çevrimleri, nem ve ısı transferi vb. sistem ve alt sistemlerinin hesaplamalarını tanımlamaktadır. Bu standartları kullanarak hesaplama yapan ve uzmanlar tarafından yaygın olarak kabul gören yazılımlar geliştirilmiştir. EnergyPlus (Energy, 2012), TRNSYS (Klein, 1988), OpenStudio (Guglielmetti, vd., 2011), e-Quest (Hirsch, 2018) ve DesignBuilder (Builder, 2023) bu yazılımlara örnektir.

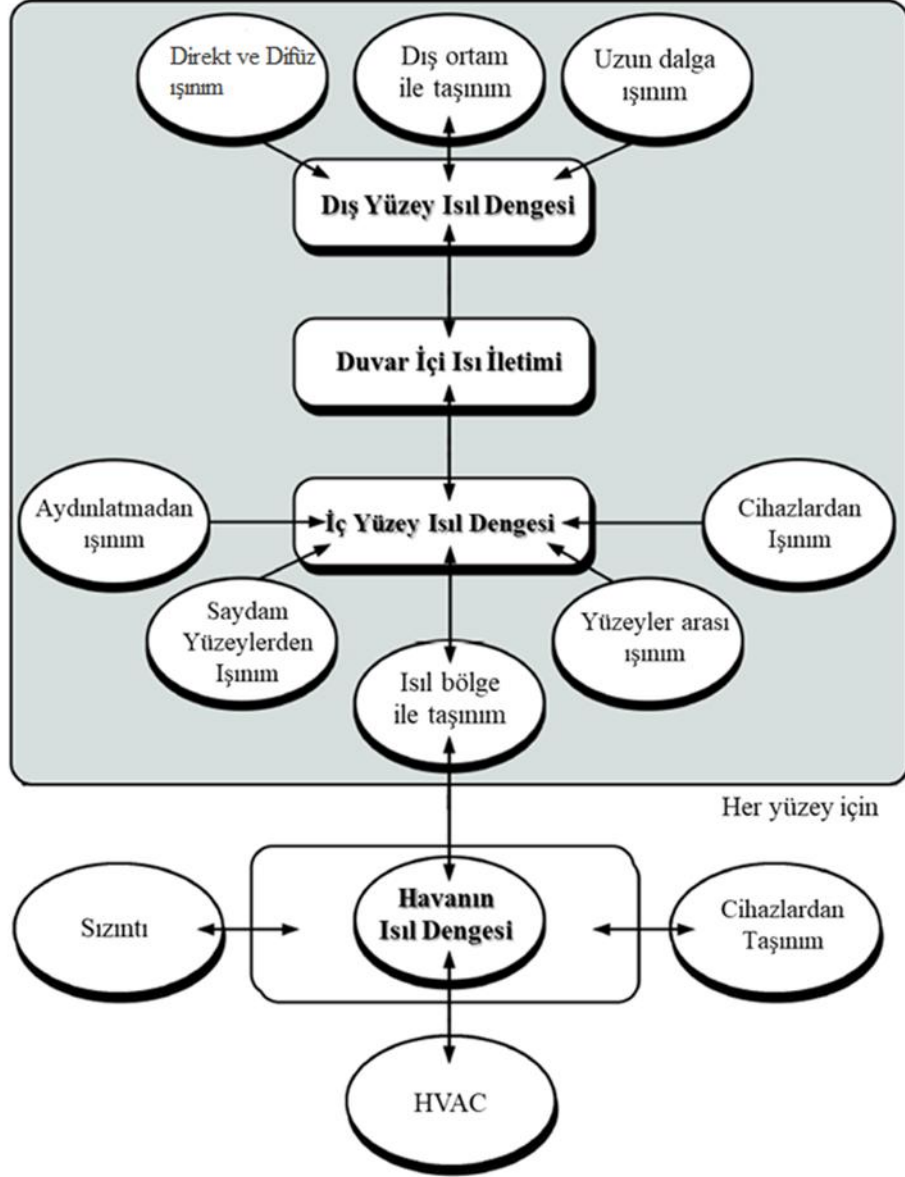
EnergyPlus yazılımı Amerikan Enerji Bakanlığı (DOE) tarafından geliştirilmiş bir yazılımdır (DOE, 2023). Bu yazılım, binalarda enerji performansı analizi yapmak ve enerji tasarruf potansiyellerini kullanıcıya göstermektir. EnergyPlus çok gelişmiş bir yazılım olmakla birlikte binalarda ısı denge, ısı talebi ve tüketimleri hesaplamak için birden fazla seçenek sunmaktadır. İklimlendirme, aydınlatma, elektrik kullanımı, infiltrasyon vb. sistemlerinin tasarımı ve çalıştırılma prensipleri bu yazılım aracılığıyla sunulmaktadır.





Şekil 3.4. EnergyPlus Simülasyon Yöneticisi Çalışma Mimarisi (Aktacir vd. , 2011)

Simülasyon yöneticisi birden fazla modülü kontrol etmek için tasarlanmıştır. Bu yapı binanın enerji performansını etkileyen birbirinden bağımsız ya da bağımlı parametrelerin etkilerini düzgün bir şekilde analiz edilmesi için oldukça uygun koşullar sağlamaktadır. Bir modülün çıktısı diğer bir modüle iletilebilir ya da aynı veri ve parametreler farklı modüllere dağıtılabilir. Simülasyon yöneticisi ortaya çıkan çözümün uygun olup olmadığını değerlendirmekte ve eğer uygun değilse problemi uygun olacak şekilde sistemleri organize etmektedir. Bu kontrol şeması Şekil 3.4.'de görülmektedir.



Şekil 3.5. ASHRAE Isıl Denge Metodu Şeması (Acar, 2023)

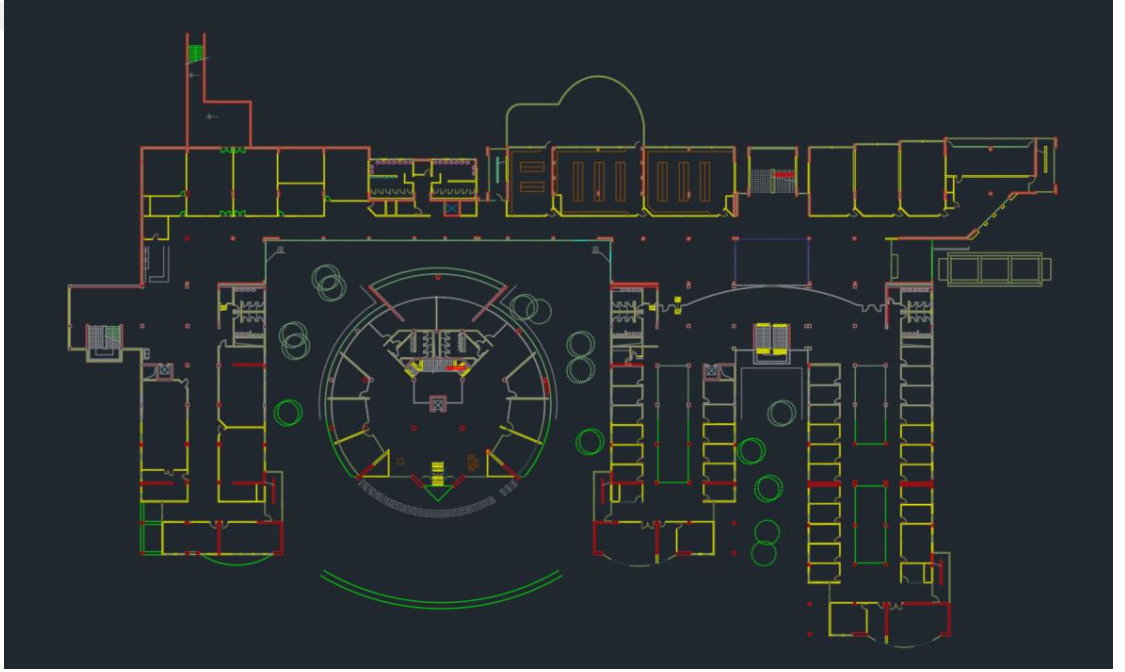
EnergyPlus, ASHRAE Isıl Denge metodunu kullanarak bina içerisinde bulunan ısı bölgeleri arasında bir denge denklemi oluşturur. Her bir ısı bölgesi için Şekil 3.5.'de görülen ısı denge algoritması çalıştırılmaktadır.

### 3.3. Enerji Modelleme Aşamaları ve DesignBuilder Yazılımı

Binalarda enerji modelleme araçlarını kullanabilmek için öncelikle bina için bir saha etüdü yapılmalıdır. Bu etüt esnasında bina enerji performansına etki eden ya da etki

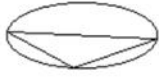
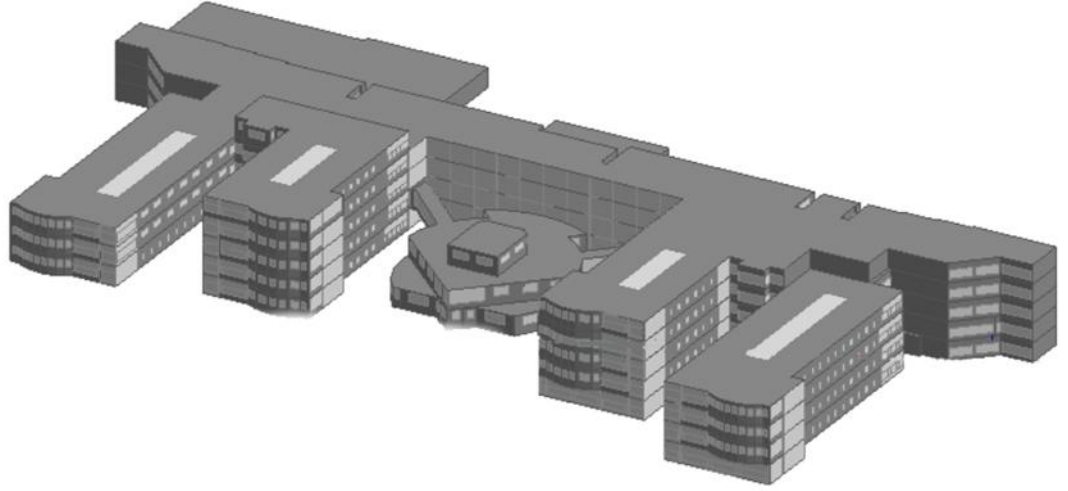
etmesi muhtemel olan parametre ve veriler toplanarak analiz edilmelidir. Bu çalışmada, fakülte binasının enerji tüketimi üzerinden performansı analiz edilecektir. Bu sebeple HVAC sistemi de dahil olmak üzere binanın enerji tüketimine etki edecek tüm elemanları model içerisinde yer almaktadır.

DesignBuilder yazılımı içerisinde binanın tasarlanması için binanın 2 boyutlu teknik çizimine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple fakülte binasının 2 boyutlu teknik çizimi DXF formatında DesignBuilder içerisine eklenmiştir. 2 boyutlu çizim içerisinde, kat planları, pencereler, oda sınırları, kullanım alanı bilgileri ve ısı bölge isimleri belirtilmelidir. Zemin kat planının teknik çizimi Şekil 3.6.'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Fakülte Binası Zemin Kat Teknik Çizimi

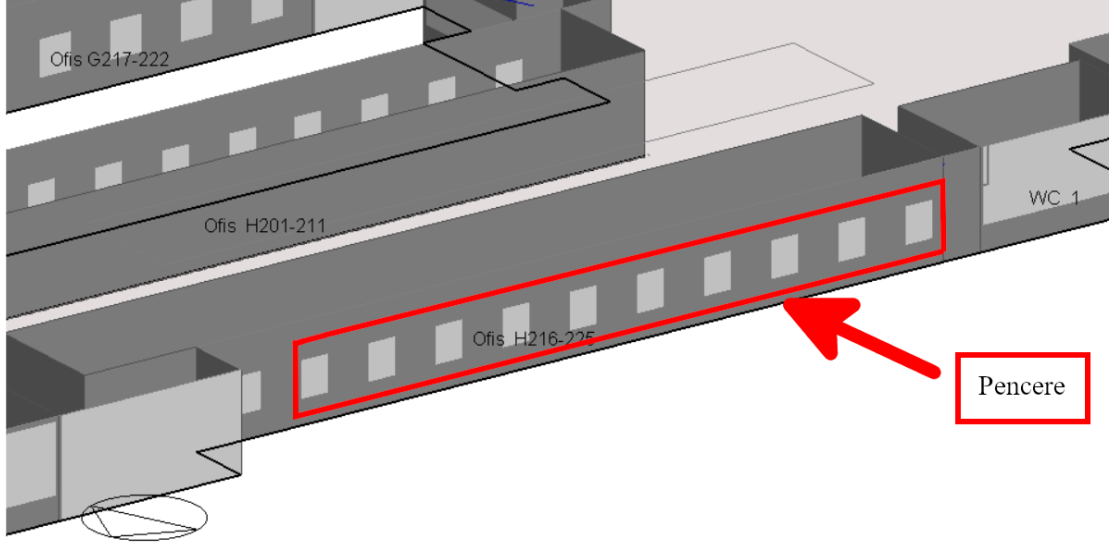
Binanın 2 boyutlu kat planı çizimleri DesignBuilder içerisinde konumlandırıldıktan sonra her bir kat bir önceki katın üzerine gelecek şekilde kat yüksekliği boyunca yükseltilir ve model 3 boyutlu hale getirilir. Oluşturulan model binanın gerçek oryantasyonunun uygun olarak bir biçimde döndürülür. Fakülte binasının 3 boyutlu olarak DesignBuilder içerisindeki görünümü Şekil 3.7.'de görülmektedir.



Şekil 3.7. Fakülte Binası DesignBuilder içerisinde 3B Görünümü

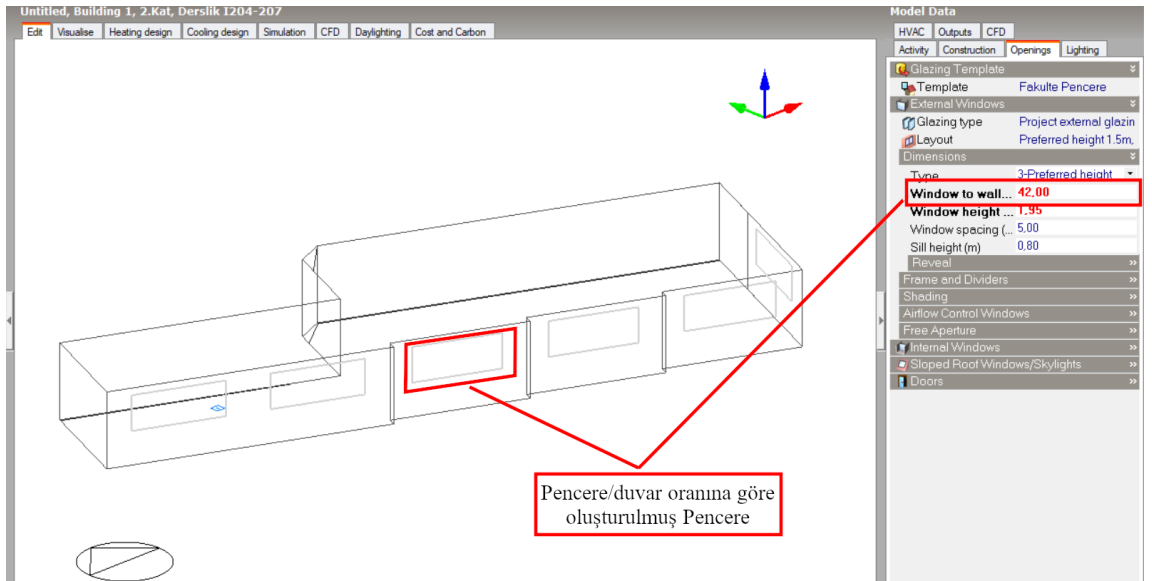
Binanın 3 boyutlu olarak oluşturulmasının ardından binanın içerisinde bulunan ve farklı kullanım şekli olan bölümler ısı bölgeleme yaklaşımı ile ayrılır. Bu metot simülasyon süresini büyük ölçüde kısaltmaktadır. Buna ek olarak bina içerisindeki ısı bölgelerinin karakteristik yapısının analiz edilmesinde yardımcı olmaktadır. Isıl bölgelere ayrılmış 3.Kat Şekil 3.38.'de görülmektedir. Her bir ısıl bölgenin kendine özgü doluluk oranı ve çalışma zaman çizelgesi bulunabilir. Bu çalışmada, Derslik, Ofis, Laboratuvar, WC, Koridor ve Toplantı Salonu olmak üzere 6 farklı ısıl bölge şeması oluşturulmuştur. Örneğin, Laboratuvar için oluşturulan çalışma çizelgesi derslik ile aynı fakat içi ısıl kazançları farklıdır. Çalışma zaman çizelgeleri Başlık 3.8 altında detaylı olarak açıklanmıştır.

Fakülte binasının her bir katı için ısıl bölgeler oluşturulmasının ardından, Pencereler duvarlar üzerinde teknik çizime ve gerçeğe uygun bir biçimde çizilir. Binanın güney cephesi hariç tüm pencereleri teknik çizimi ile aynı konumdadır. Bu gösterim Şekil 3.8.'de görülmektedir.



Şekil 3.8. Pencere Konum ve Boyut Gösterimi

Güney cephede bulunan ısııl bölgelerin pencereleri DesignBuilder içerisinde pencere/duvar oranına göre düzenlenmiştir. Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi ikinci katta ve güney cephede bulunan I204-207 Dersliklerinin Pencereleri bu orana göre oluşturulmuştur. Teknik çizim içerisinde, kat yüksekliği, duvar uzunluğu, pencere yüksekliği, pencere uzunluğu bilgileri alınarak pencere/duvar oranı hesaplanmıştır.



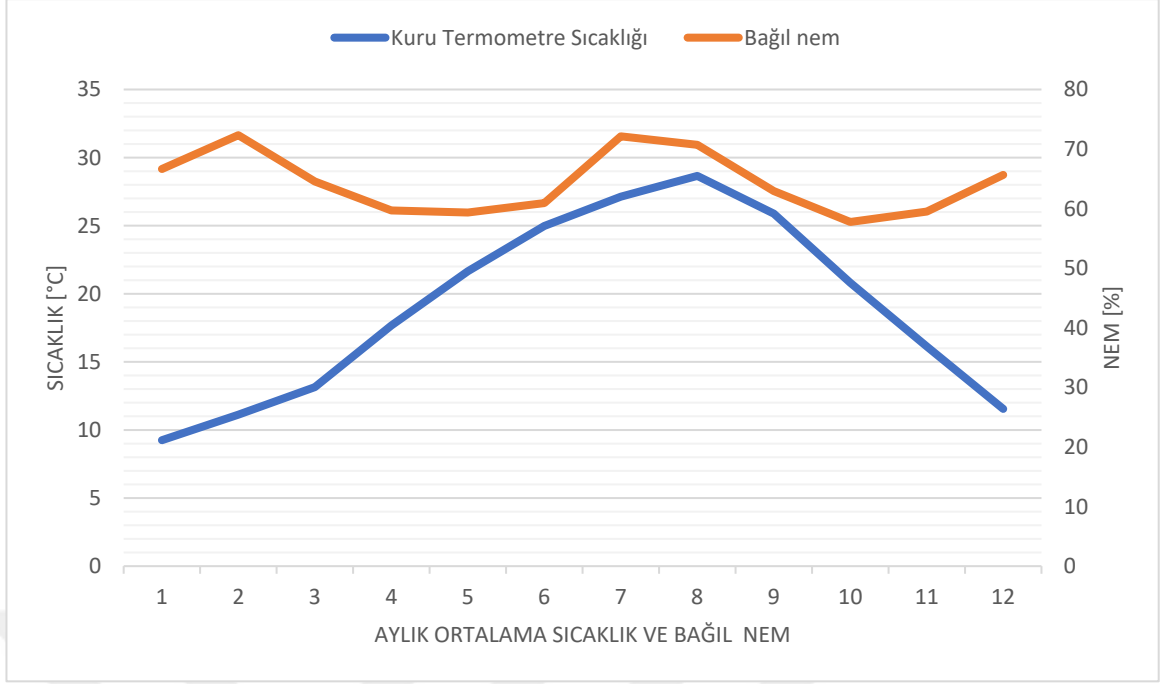
Şekil 3.9. Pencere/duvar Oranına Göre Oluşturulmuş bir Pencere

DesignBuilder içerisinde binada kullanıldığı gibi VRF sistemi tanımlanmıştır. Bina kuzey ve güney ısıtıl grubu olarak ikiye ayrılmış ve HVAC sistemi öyle tanımlanmıştır.

### 3.4. İklim Girdileri

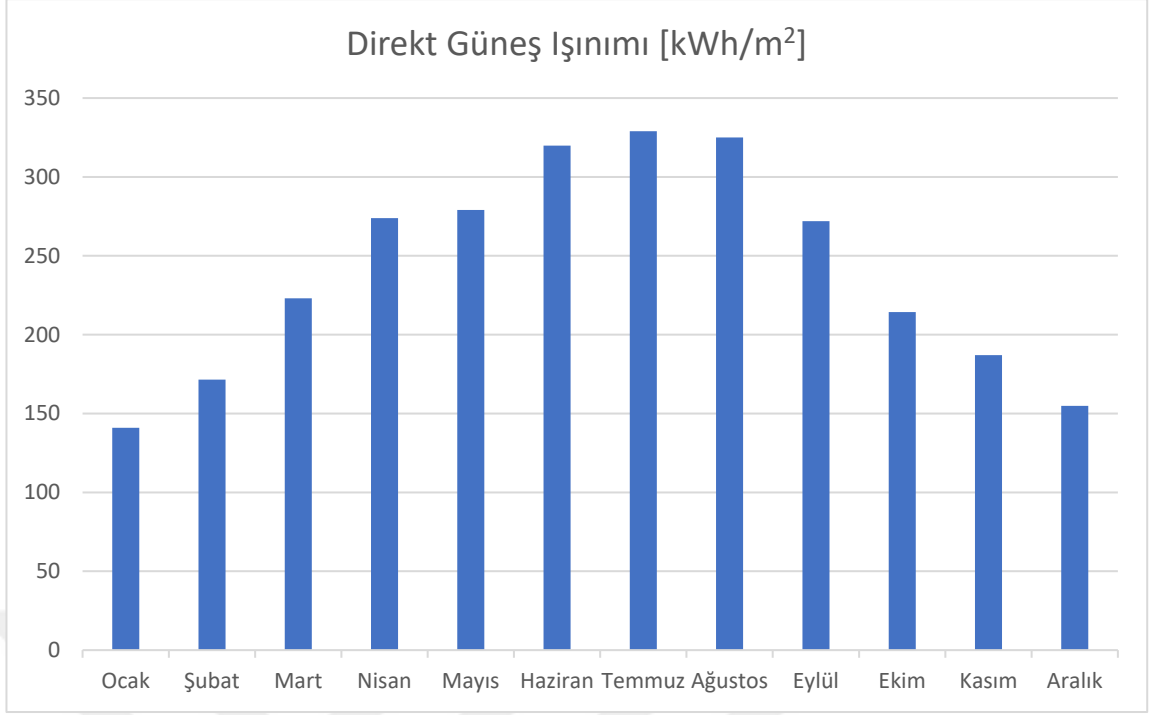
Bina enerji simülasyon yazılımları, binanın bulunduğu coğrafi iklim koşullarını kullanmaktadır. İklim koşulları yıldan yıla değişkenlik gösterdiğinden simülasyon sonuçları da değişmektedir. Bu veriler için uzun yıllar en çok rastlanan iklim koşulları belirlenmektedir. Dünya genelinde bina enerji performansı değerlendirmelerinde kullanılan meteorolojik veriler Tipik Meteorolojik Yıl (TMY) verileridir (Crawley, vd., 1999). TMY'ler seçilen en az 10 yıllık süre aralığında veriler değerlendirilir. Bu veride 10 yıllık bir zaman dilimi için 12 ay belirlenir. Bu aylar içerisinde 10 yıllık zaman diliminde kendi ayını temsil eden bir ay seçilir. Temsil eden ayın saatlik iklim verilerinin toplandığı derlenmiş bir iklim verisidir. Örneğin 2010-2020 yılları arasında bir TMY veri seti oluşturulmak istendiğinde 2012 yılının ocak ayı 10 yıllık ocak ayının iklimini temsil edebilirken şubat ayı için 2019 yılı seçilebilir. Bu veri seti 8760 saatlik ve bir yılın tamamını kapsayacak şekilde içerisinde sıcaklık, bağıl nem, direkt, difüz güneş ışınımı vb. parametrelerini içermektedir (DesignBuilder, 2022). EnergyPlus TMY 2 formatında olan ve .epw dosya (Climate, 2023a) formatındaki iklim verilerini kabul etmektedir.

Osmaniye'de bulunan fakülte binası için Osmaniye'nin TMY veri setine ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için Climate.OneBuilding (Climate, 2023b) organizasyonun Osmaniye için hazırlamış olduğu TMY veri seti kullanılmıştır. Bu veri setinin aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem grafiği Şekil 3.10.'da görülmektedir.



Şekil 3.10. Osmaniye İli Aylık Ortalama Sıcaklık ve Bağıl Nem Grafiği

Binalar için güneş ısı kazanımı da önemli bir parametredir. Binalar direkt ya da dolaylı olarak güneşe maruz kalmaktadır. Fakülte binası güney cephesi yüksek pencere/duvar oranına sahip olduğundan kayda değer miktarda güneş ısı kazanımı elde etmektedir. Aylık toplam direkt güneş ışınımı dağılımı Şekil 3.11.'de görülmektedir.

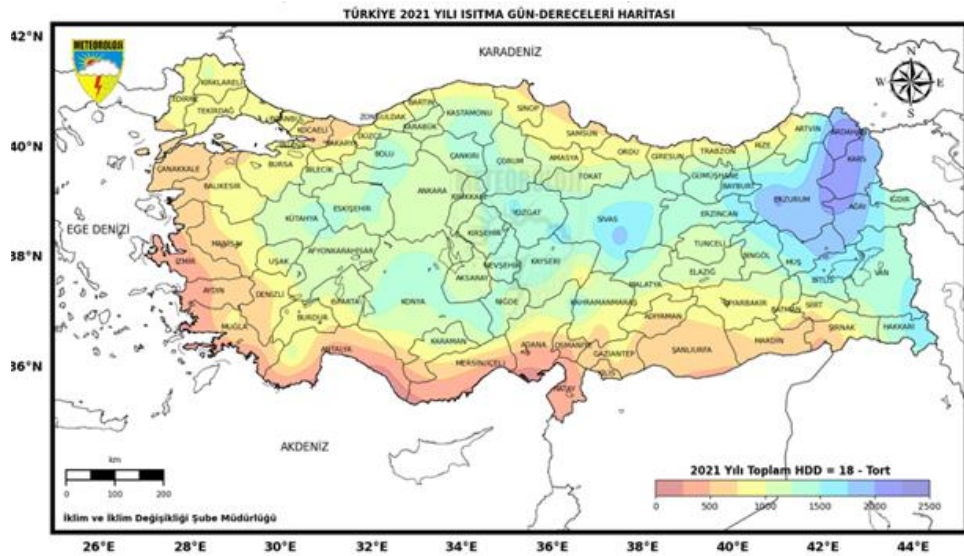


Şekil 3.11. Osmanliye İli m<sup>2</sup>'ye Düşen Aylık Toplam Direkt Güneş Işınımı

Isıtma Gün Derecesi (IGD) ve Soğutma Gün Derecesi (SGD) var olan iklim koşullarında binanın ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının ne kadar olabileceğini anlamak için iyi bir göstergedir (Uçardağ, 2023). Bu değerler, referans sıcaklıktan günlük ortalama sıcaklık değeri çıkartılarak bulunur. Türkiye için bu durum, eğer günlük ortalama sıcaklık 15 °C'nin altında ise baz sıcaklık değeri olan 18 °C'den çıkartılarak o günün ısıtma gün derecesi bulunmaktadır (Sensoy, 2007). Isıtma gün derecesi denklem (3.1)'de görüldüğü gibidir. Yüksek ısıtma gün derecesi, ısıtma ihtiyacından yüksek olduğu görülmektedir. Osmanliye ili için TMY iklim verisine göre aylık ısıtma gün dereceleri Çizelge 3.2.'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. TMY Verisine göre Osmaniye Aylık Toplam Isıtma ve Soğutma Gün Dereceleri

Aylar	Aylık Toplam Soğutma Gün Derecesi	Aylık Toplam Isıtma Gün Derecesi
Ocak	0	271,2
Şubat	0	192,5
Mart	0	138,3
Nisan	1,8	18
Mayıs	26,6	0
Haziran	89,5	0
Temmuz	158,8	0
Ağustos	206,3	0
Eylül	116,4	0
Ekim	6,7	0
Kasım	0	43,8
Aralık	0	187,8



Şekil 3.12. Türkiye 2007-2021 Yılları Ortalama Isıtma Gün-Dereceleri (MGM, 2022)

Türkiye’de 2021 yılı için ısıtma gün derecesi ortalaması Şekil 3.12.’te görülmektedir. Isıtma Gün Derecesi hesabı için, günlük ortalama dış hava sıcaklık değeri MGM tarafından belirlenen Eşik Sıcaklık değerinden çıkarılır ardından aylık, günlük, mevsimlik ve yıllık bazlarda toplanarak binanın ihtiyaç duyacağı enerji hakkında bir bilgi edinilir. denklem (3.1) üzerinde IGD toplam ısıtma gün derecesini, N toplam gün sayısını,  $T_h$  Isıtma Dönemi için Eşik Sıcaklığı(18°C),  $T_o$  Günlük Ortalama Dış Sıcaklığı temsil etmektedir.

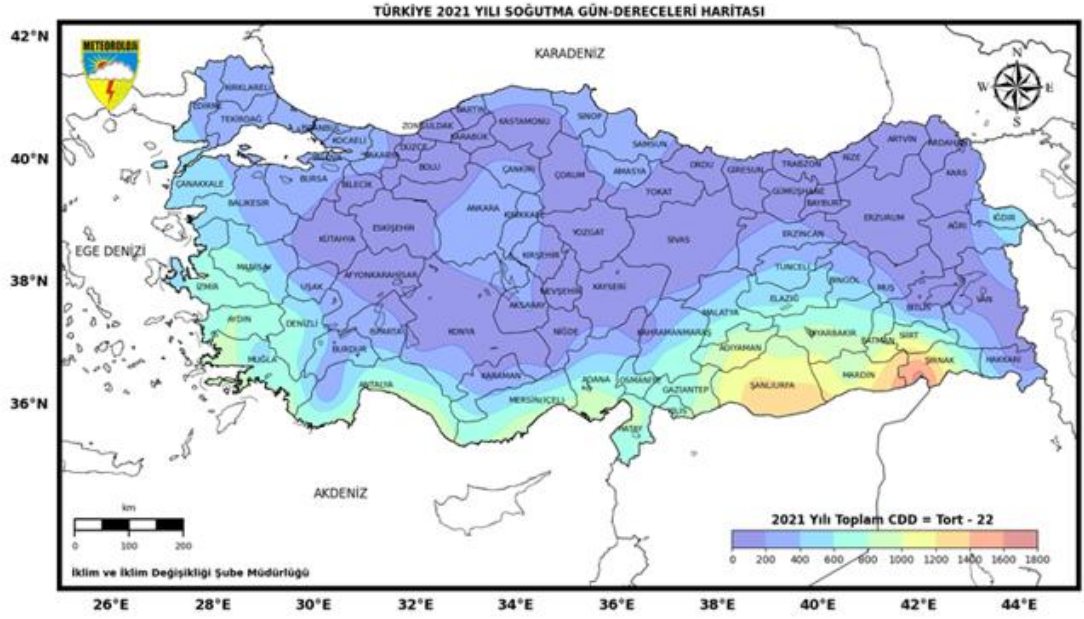
$$IGD(T_h) = \sum_1^N (T_h - T_o) \quad (3.1)$$

Soğutma Gün Derecesi hesabı için denklem (3.2)’de görüldüğü gibi Günlük Ortalama Dış Ortam Sıcaklığı  $T_o$ , Soğutma Dönemi için Eşik Sıcaklığı  $T_c$  değerinden çıkarılır ve istenilen M gün kadar bu değer toplanır.

$$SGD(T_c) = \sum_1^M (T_c - T_o) \quad (3.2)$$

Soğutma gün derecesi, binalarda soğutma ihtiyacının yoğunluğu ile ilgili yol gösterici olmaktadır. Osmaniye’de bulunan binalar için soğutma ihtiyacı ciddi bir enerji tüketim kalemi konumundadır. Osmaniye’nin de içinde bulunduğu Akdeniz ikliminde bulunan binalarda, soğutma ihtiyacına yönelik bina için yapılan iyileştirmeler, binanın toplam enerji ihtiyacını ciddi bir oranda azaltacağı görülmektedir (Yörük, 2014).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yapılan ve Şekil 3.13.’te görülen Türkiye Soğutma Gün Derecesi haritası üzerinden yapılan analizler sonucunda Osmaniye ilinde bulunan binaların ciddi miktarda soğutma ihtiyacı olduğu görülmektedir.



Şekil 3.13. Türkiye 2021 Yılı Soğutma Gün-Dereceleri (MGM, 2022)

Osmaniye ilinin TMY verilerinden hesaplanan soğutma gün derecesi hesaplamalarında MGM tarafından belirlenen baz sıcaklık 22 derece (Şensoy, vd., 2007) olarak alınmıştır. Osmaniye ili için TMY verileri kullanarak aylara göre Toplam Isıtma Gün Dereceleri Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir. Soğutma gün derecesi hesabı denklem (3.2) üzerinde gösterilmiştir.

Osmaniye, Akdeniz ikliminde olup, Köppen-Trewartha iklim sınıflandırmasına göre de subtropikal kuru yaz iklimi Akdeniz iklim kuşağı içerisinde bulunmaktadır (Bölük ve Kömüşcü, 2018). Köppen-Trewartha iklim sınıflandırması Şekil 3.14.'de görülmektedir.

## Köppen - Trewartha İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi

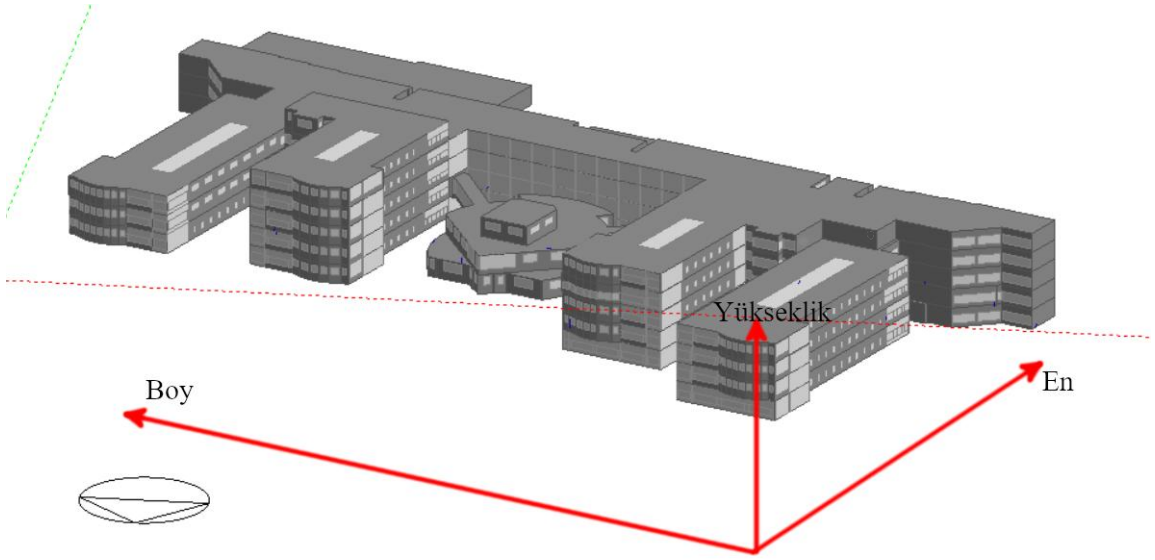


Şekil 3.14. Köppen-Trewartha İklim Sınıflandırması (Bölük ve Kömüçü, 2018)

Köppen-Trewartha iklim sınıflandırması, iklimleri 6 iklim grubuna ayırmaktadır. Bu iklim grupları A, B, C, D, E ve F olarak sınıflandırılmıştır. İklim sınıflandırmaları farklı tip hava koşullarına göre sıcaklık ve yağışın birçok yılı kapsayan ortalamalarına göre sınıflandırılmaktadır. Osmaniye ise Cs-Subtropikal kuru yaz iklimi Akdeniz iklim kuşağında bulunmaktadır. Bu iklim kuşaklarına bakarak binaların ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçları karşılaştırılabilmekte ve yorumlanabilmektedir.

### 3.5. Geometrik Girdiler

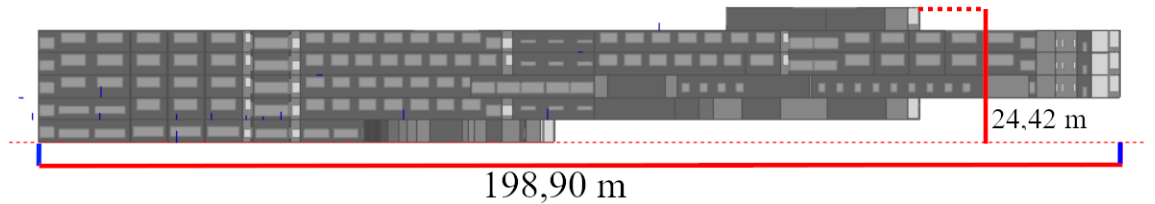
Binanın geometrik formu, oryantasyonu, hacim/yüzey alanı ve en boy oranı binanın enerji tüketimine ciddi miktarda etki etmektedir (Olgay, 2015). Binaların sahip olduğu geometrik düzen binanın içerisinde bulunduğu çevre koşulları ile doğrudan etkileşimde bulunmaktadır. Fakülte binası yatay mimari şeklinde tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Bu fakülte binasının boyunun yüksekliğinden fazla olduğunu göstermektedir. Binaların en, boy ve derinlik eksenleri Şekil 3.15.'de görülmektedir.



Şekil 3.15. Fakülte Binası En Boy Şekil Boyutsal Gösterimi

Jazayeri yaptığı çalışmasında, bir binanın aynı hacimde farklı boy/yükseklik oranlarında enerji tüketiminin nasıl değişeceği incelenmiştir. Çalışma sonucunda, yüksek boy/yükseklik oranına sahip örneklemelerde daha az enerji tüketimi ortaya çıkmıştır (Jazayeri ve Aliabadi, 2018). Yüksek boy/yükseklik oranı olan binalarda binanın ısı kazancı daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte ısıtma ihtiyacı azalırken, soğutma ihtiyacı artmaktadır.

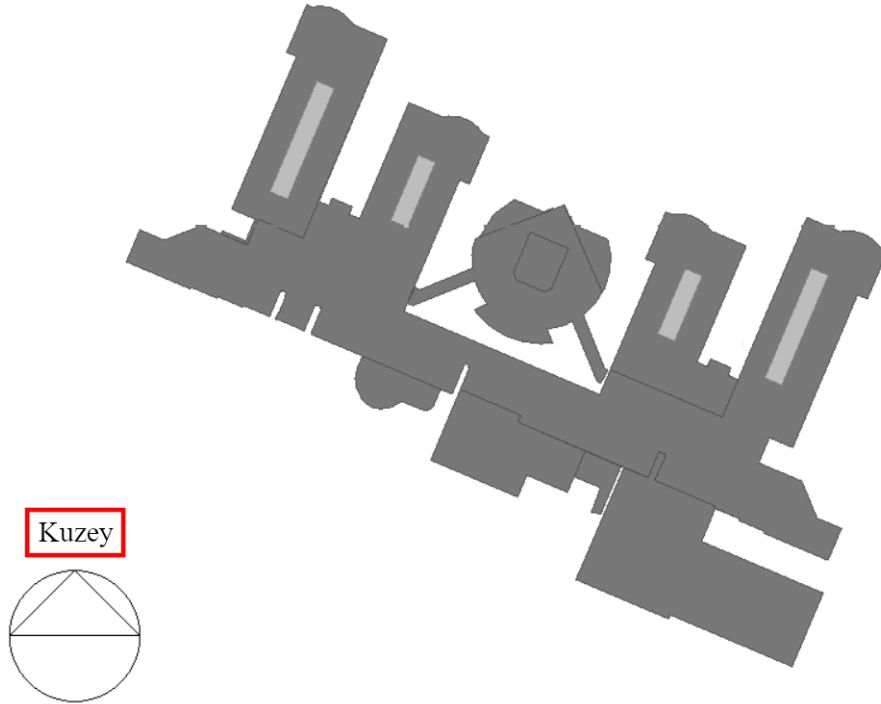
Fakülte binası toplam 198,90 m uzunluğa ve 24,42 m yüksekliğe sahiptir. Fakülte binasının boy/yükseklik oranı 8,14'dür. Bu sonuç ile fakülte binasının yüksek boy/yükseklik oranına sahip olduğu görülmektedir. Fakülte binasının önden görünüşü yükseklik ve boy bilgileri Şekil 3.16.'da görülmektedir.



Şekil 3.16. Fakülte Binası Boy ve Yükseklik Boyutları (Önden Görünüm)

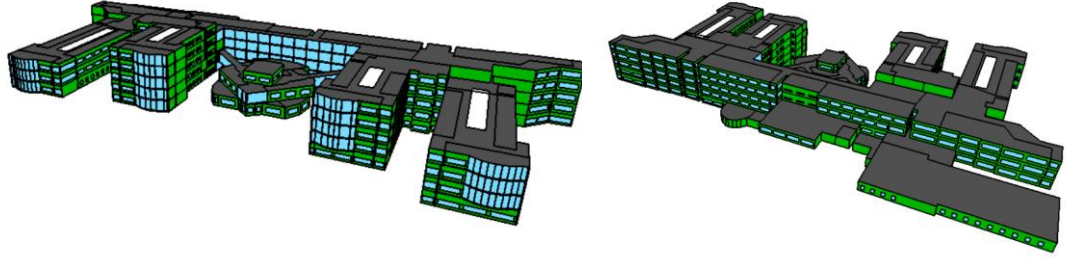
Binanın boyutsal oranlarının yanı sıra binanın oryantasyonu da bina enerji tüketimine ciddi miktarda etki etmektedir. Bina oryantasyonunun tüketime ne kadar etki edeceği binanın konumuna bağlıdır (Lapisa, 2019). Kuzey yarım Küre içerisinde binalar daha çok güney cephesinden güneş ısıl kazanımı elde ederken, Güney Yarım Kürede ise binalar kuzey cephesinden daha fazla güneş ısıl kazanımı elde etmektedir.

Bu çalışmada binanın oryantasyonun binanın enerji performansına olan etkisi için değişiklik yapılmamıştır. Binanın ideal yükünün bulunması için binanın şimdiki olağan hali olan ön cephesi Kuzey'in saat yönünde 24° döndürülmüş olarak tasarlanmıştır. Bina oryantasyonu DesignBuilder Şekil 3.17.'de görülmektedir.



Şekil 3.17. DesignBuilder İçerisinde Oluşturulmuş Fakülte Binası Oryantasyonu

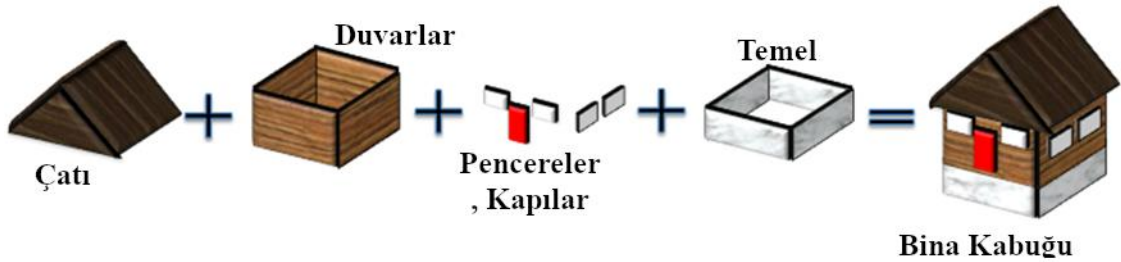
Fakülte binasının arka cephesinde derslikler bulunmaktadır ayrıca binanın en çok güneş ısıl kazanımı, güney cephesinde olmaktadır. Derslikler yaz aylarında aktif olarak kullanılmamaktadır.



Şekil 3.18. Bina Ön (Solda) ve Arka Cephesi (Sağda)

### 3.6. Bina Kabuğu ve Isıl Geçirgenlik Katsayısı (U-Değeri)

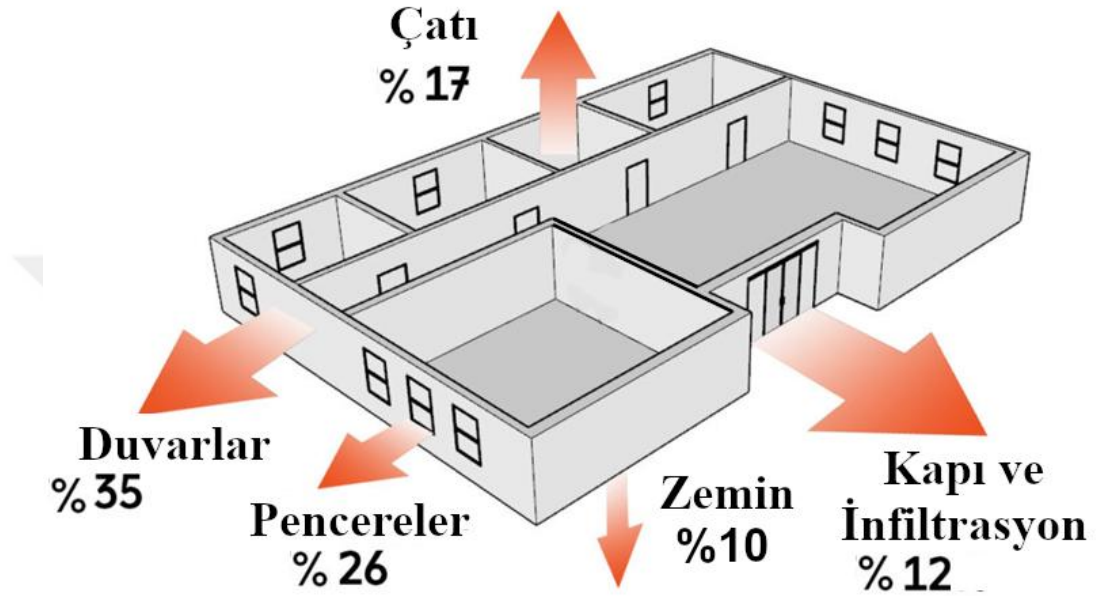
Bina kabuğu binanın çevre ile etkileşime giren ve binanın dış ortam ile iç ortamını ayıran yapıların tamamına verilen isimdir (Mirrahimi, vd., 2016). Bina kabuğu dış ortam ile girdiği etkileşim sonucunda bina içerisinde gerçekleşecek değişikliklerin anlaşılması ve tahmin edilmesi için gerçeğe uygun bir biçimde modellenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada bina kabuğu dış duvarlar, pencere, çatı ve zemin olarak dört ana başlık altında toplanmıştır. Bu etkenler Şekil 3.19.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.19. Bina Kabuk Komponentleri (Musa, 2015)

Bir binada enerji tüketimine ve enerji kayıplarına sebep olan etkenlere bakıldığında, bina kabuğunun bu etkenlerin en büyüğü olduğu görülmektedir (Li, 2011). Bina kabuğu farklı iklim koşullarında farklı tepkiler vermektedir (Ralegaonkar ve Gupta, 2010). Örneğin, soğuk iklim bölgelerinde binalarda ısı yalıtımın sıcak ya da ılıman iklimlere göre çok daha fazla önem arz etmektedir. Soğuk iklim bölgelerinde bina kabuğu kötü olması halinde binanın çok fazla ısı kaybetmesine sebep olmaktadır. Feng ve arkadaşları soğuk iklim bölgesinde yaptığı bir çalışmada düşük yalıtımlı bir binanın ısı kaybının %86'sının iletim yolu ile bina kabuğundan olduğunu tespit etmiştir (Feng, vd., 2016).

Bina kabuğu sebebiyle ısı kaybı temsili olarak Şekil 3.20.'de gösterilmektedir. Bu gösterim binanın kabuk vasıtasıyla ısı kaybının nerelerden olduğunu göstermektedir. Bu gösterim üzerinde gerçek değerler girilerek de daha doğru bir anlatıma erişebilir. Bunun için sonuçlar kısmında bu gösterimden yararlanılmıştır.

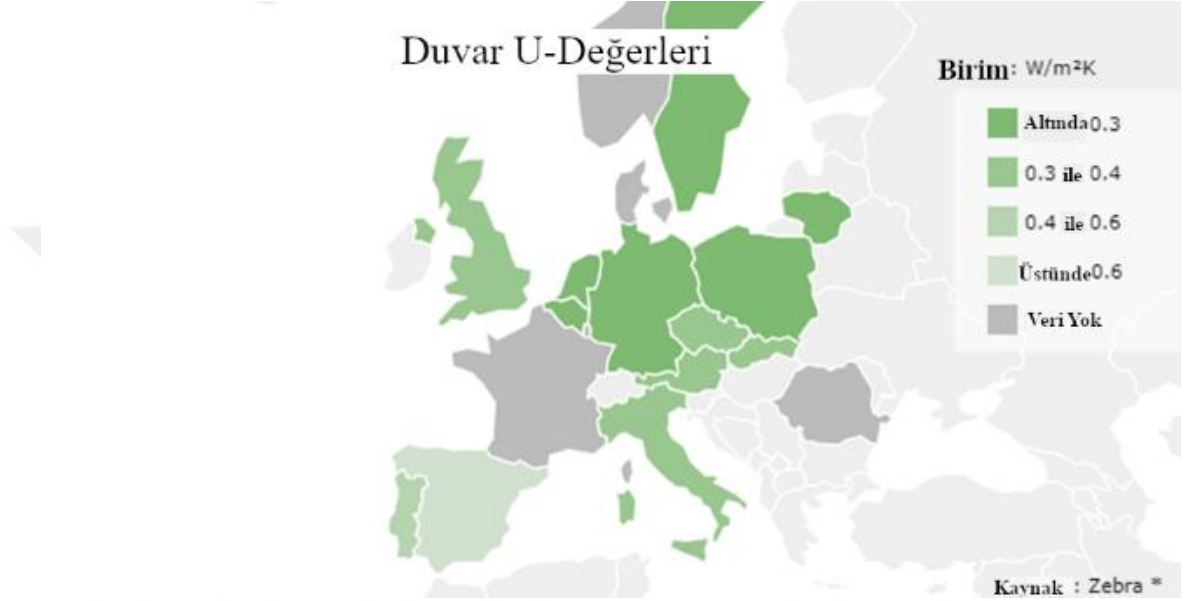


Şekil 3.20. Bina Kabuğu Komponentleri ve Isı Kaybı Gösterimi (Dawsonmetal, 2022)

Bina kabuk elemanlarının ısı geçirgenliği binanın ısı karakteristiğinin anlaşılması için ciddi önem arz etmektedir. Kabuk elemanlarının her biri farklı malzeme, katman kalınlığı ve saydamlık gibi özelliklere sahiptir. Bu özellikler, binalara farklı ısı karakteristیکler kazandırmaktadır. Bu sebeple kabuk elemanlarının ısı karakteristiğinin analizi için ısı geçirgenlik değeri (U-değeri) tanımı ortaya çıkartılmıştır.

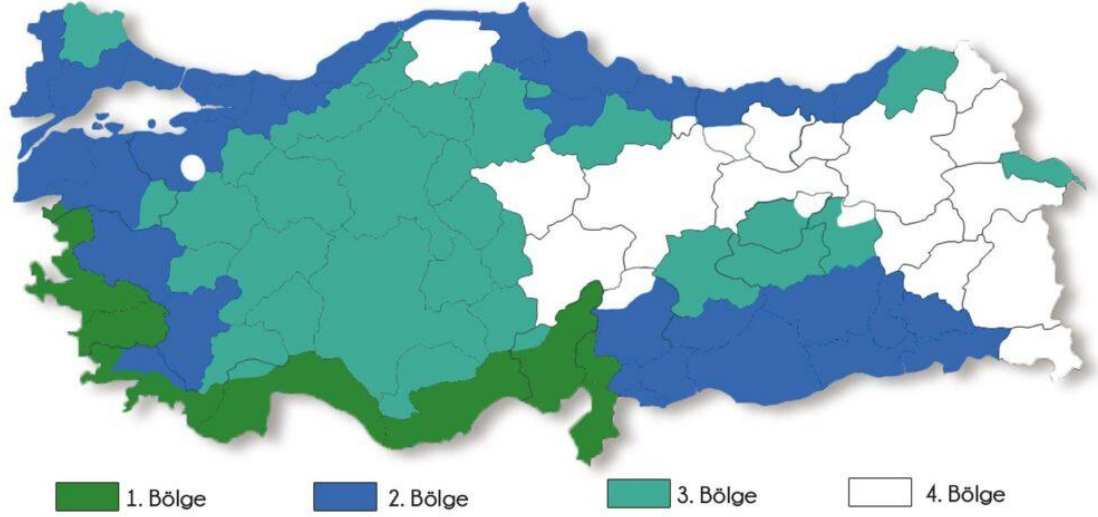
U-değeri kabuk elemanın iç ve dış ortam sıcaklıklarının farkı sonucunda  $m^2$  başına kabuk elemanın bina ile dış ortam arasında ne kadar ısı transferi yapacağı bilgisini vermektedir (Designingbuildings, 2023). Yüksek U-değeri daha fazla ısı transferine neden olurken, düşük U-değeri ise daha düşük bir ısı transferine sebep olmaktadır.

Her ülke kendisi için farklı ısı geçirgenliklere sahip regülasyonlar yayınlamaktadır. İngiltere için bina regülasyonlarının L Kısmı (Regulations, 2016), Amerika Birleşik Devletleri için ASHRAE 90.1 (Standard, 2004) ve Türkiye için TS 825 (TSE, 2008b). Ülkelerin bulunduğu konum ve iklim kaynaklı olarak yayınladığı standartların harita üzerinden karşılaştırılmış hali Şekil 3.21.'de görülmektedir.



Şekil 3.21. Avrupa Ülkeleri U-değeri Standart Değerleri (ZEBRA, 2015)

Türkiye için durum 4 farklı bölgeye ayrılmış ve bu bölgeler için kabul edilebilir U-değerleri Türk Standartları Enstitüsü (TSE, 2023) tarafından belirlenmiştir. Her bir bölge için bina kabuk elemanlarına yönelik U-değerleri oluşturulmuştur. TS 825'e göre  $U_{duvar}$ ,  $U_{tavan}$ ,  $U_{taban}$  ve  $U_{pencere}$  olmak üzere 4 farklı kabuk elemanı seçilmiştir. Seçilen bilgiler için U-değerleri Şekil 3.22.'de verilmiştir.



	$U_{\text{duvar}} (W/m^2K)$	$U_{\text{tavan}} (W/m^2K)$	$U_{\text{taban}} (W/m^2K)$	$U_{\text{pencere}} (W/m^2K)$
1. Bölge	0,70	0,45	0,70	2,4
2. Bölge	0,60	0,40	0,60	2,4
3. Bölge	0,50	0,30	0,45	2,4
4. Bölge	0,40	0,25	0,40	2,4

Şekil 3.22. Türkiye U-değeri Kabul Edilebilir Sınır Standart Değerleri (Enerji, 2023)

### 3.6.1. Duvarlar

Duvarlar, bina kabuğu içerisinde en fazla yüzey alanına sahip elemanlardır. Binalarda birden fazla duvar tipi bulunabilmektedir. Bu duvar tipleri, duvarın sahip olduğu katmanların kalınlık ve malzeme çeşitliliği ile birbirinden ayrılmaktadır. Farklı duvar tipleri farklı ısı ve fiziksel karakteristiği barındırmaktadır.

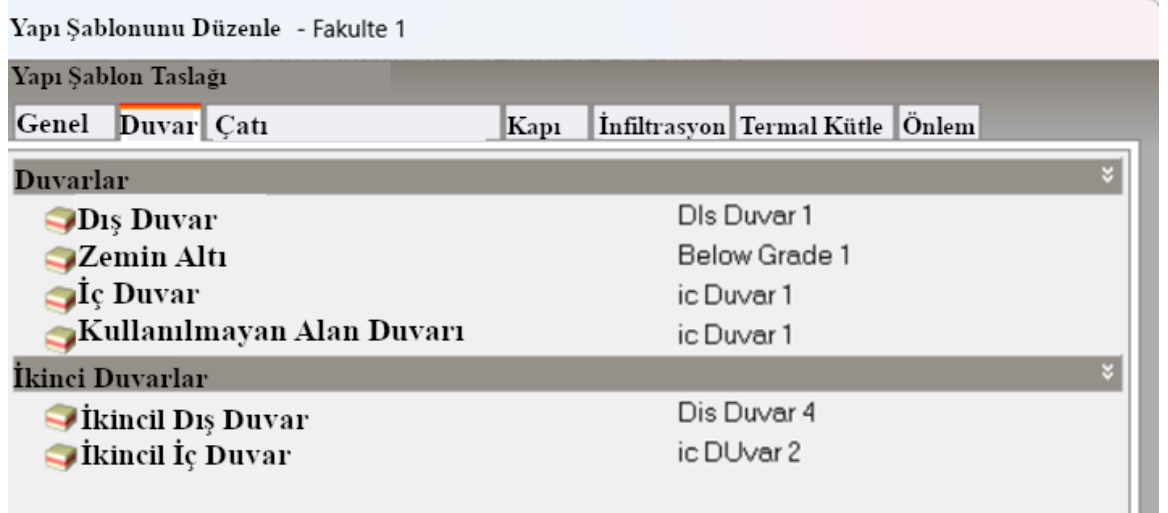
Fakülte binasının Şekil 3.23.'de görüldüğü üzere turuncu ve gri renkte iki farklı tip duvarı bulunmaktadır. Gri görünümlü duvar ana dış duvar olarak kabul edilmiş olup, turuncu renkli duvar ise DesignBuilder içerisinde "Sub-Surface" kısmından ikincil duvar olarak eklenmiştir.



Şekil 3.23. Fakülte Binası Dış Görünüşü (OKÜ, 2020)

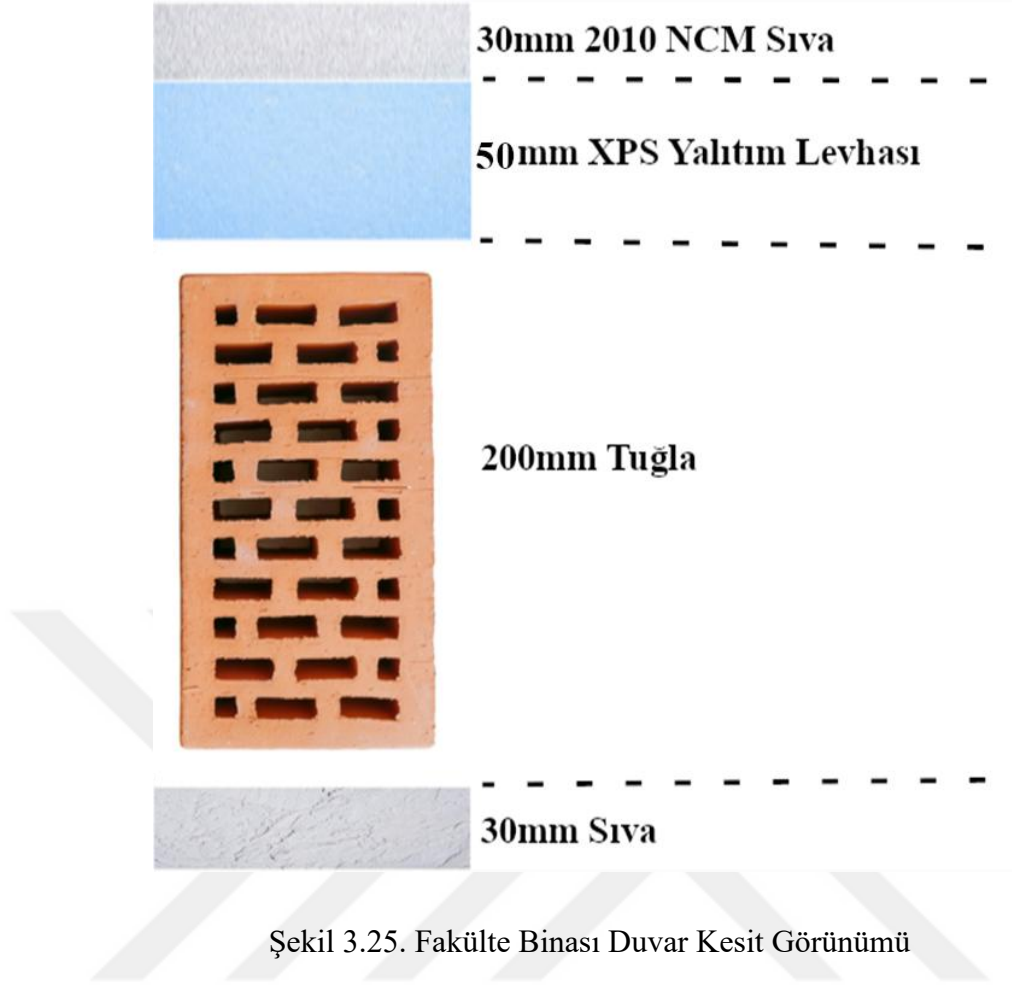
Duvarların DesignBuilder içerisinde gerçek binaya uygun olarak tanımlanması için 2 boyutlu teknik çizimden yararlanılmış ve yapılan gözlemler sonucunda gerçeğe uygun olarak modellenmiştir.

İki farklı dış duvar Şekil 3.24.'de anlaşıldığı gibi DesignBuilder içerisinde tanımlanmıştır. Gri dış duvarın U-değeri 0,505 iken turuncu dış duvarın U-değeri 0,479 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler TS825 ile karşılaştırıldığında standardı karşılamaktadır.



Şekil 3.24. DesignBuilder İçerisinde Yapı Tanımlama Arayüzü

Duvarın kesit görseli DesignBuilder içerisinde anlaşılması zor biçimde temsil edilmektedir. Bu sebeple GIMP (Team, 2023) yazılımı kullanılarak kesit görseli katman dokuları kullanılarak yeniden resmedilmiştir. Bu gösterim Şekil 3.25.'de görülmektedir.

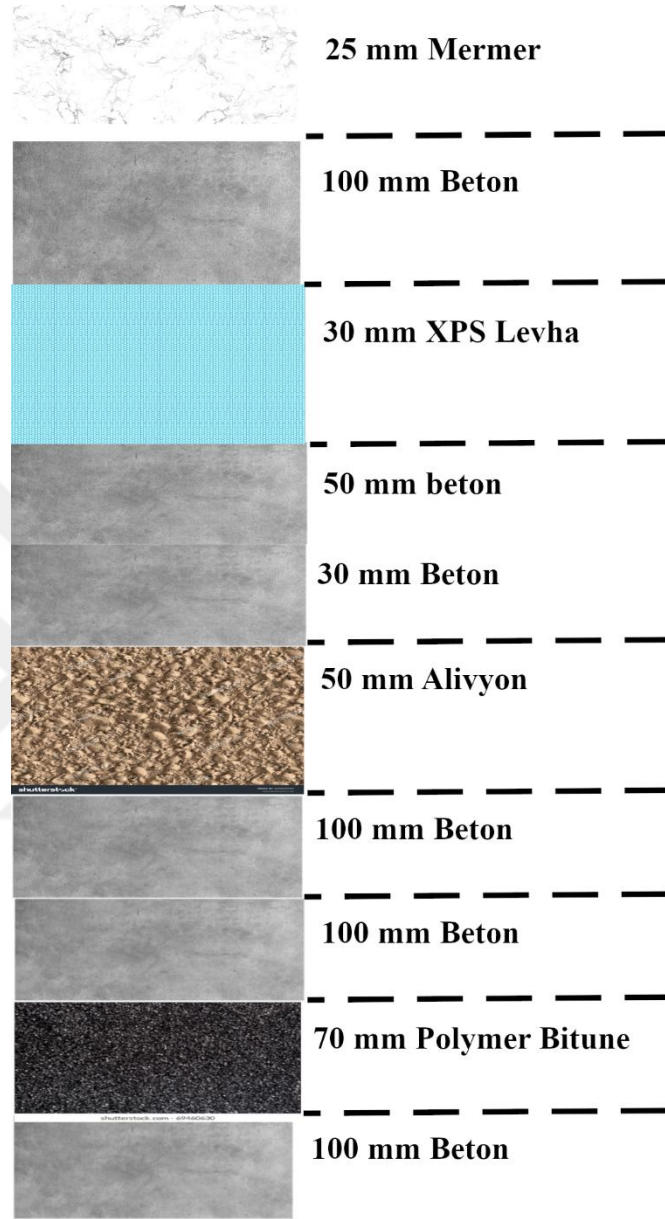


### 3.6.2. Zemin

Türkiye’de bulunan modern binaların enerji analizi yapılırken genelde zemin ihmal edilen bir bölümdür. Bunun birkaç sebebi bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi binalar yapılırken deprem yönetmeliklerine uygun bir biçimde yapılması gerekmektedir. Deprem yönetmeliğine göre yapılan binalar zemin kısmında ciddi miktarda beton kullanmaktadır. Bu sebeple, zeminin kesit alanı incelendiğinde yüksek katman kalınlıklarına sahip betonlara rastlanılmaktadır, dolayısıyla zeminler düşük U-değerine sahip olmaktadır.

Fakülte binasının zemin elemanının kesit görünümü Şekil 3.26’da görülmektedir. DesignBuilder içerisinde hesaplanmış olan U-değeri  $0,665 W/m^2 - K$ ’dir. TS 825 standardına göre birinci bölgede bulunan fakülte binası için  $U_{taban}$  sınır değeri 0,7

$W/m^2 - K$ 'dir. Görüldüğü üzere bina tabanı standartlara uygun olarak tasarlanmış ve inşa edilmiştir.



Şekil 3.26. Bina Zemin Kesit Görünümü

### 3.6.3. Çatı

Çatı, yüksek döşeme alanına sahip binalarda önemli miktarda ısı kaybına sebep olmaktadır. Bu sebeple Yeşil Çatı (Saadatian, vd., 2013), Beyaz Çatı (Hildebrandt, vd., 1998) ve Serin Çatı (Konopacki, vd., 1998) konseptleri ortaya çıkmıştır. Bu konseptler

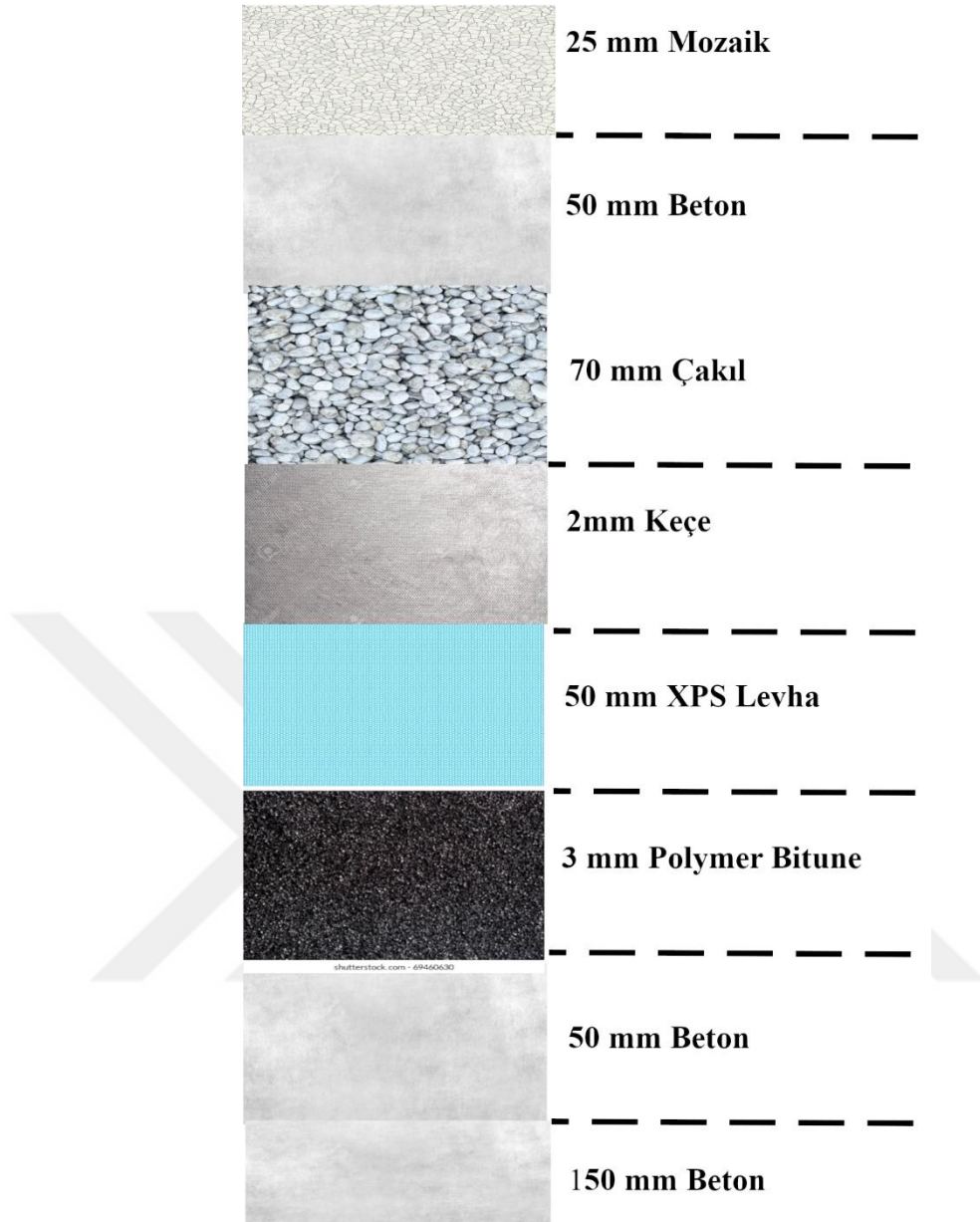
normal çatılara karşın enerji verimliliğini yükseltmek ve ısı kaybını düşürmek için ortaya çıkarılmıştır.

Şekil 3.27’de görüldüğü gibi fakülte binası tasarlanırken düz çatı şeklinde tasarlanmış ve uygulanmıştır. Çatı üzerinde çeşitli katmanlar bulunduğundan sıradan çatılara göre enerji performansının daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 3.27. Fakülte Binası Yukardan Görünüşü

Çatı kesit görünümü Şekil 3.28’de görüldüğü gibidir. Çatının U-değeri  $0,45 \text{ W/m}^2 - \text{K}$ ’dir. TS 825 standardına  $U_{\text{tavan}}$  sınır değeri  $0,45 \text{ W/m}^2 - \text{K}$  değeriyle aynı olup standartlara uygun olarak tasarlanmıştır.



Şekil 3.28. Bina Çatı Kesit Görünümü

#### 3.6.4. Pencereleler

Pencereler, binalardaki ısı kaybının toplamda yaklaşık %20 ile %40'ından sorumludur (Lee, vd., 2013). Bu makalede pencerelerin binayı etkileyen iki temel faktörüne değinilmiştir. Bunlar, pencerenin tipi (tek cam, çift cam vb.) ve pencere/duvar oranı.

Fakülte binasında pencereler, Çift Cam penceredir. DesignBuilder içinde Şekil 3.29.'da gösterildiği gibi tanımlanmıştır. Pencerelerin yerden yüksekliği ve pencere çerçevesi de bu kısım içerisinde tanımlanabilmektedir.

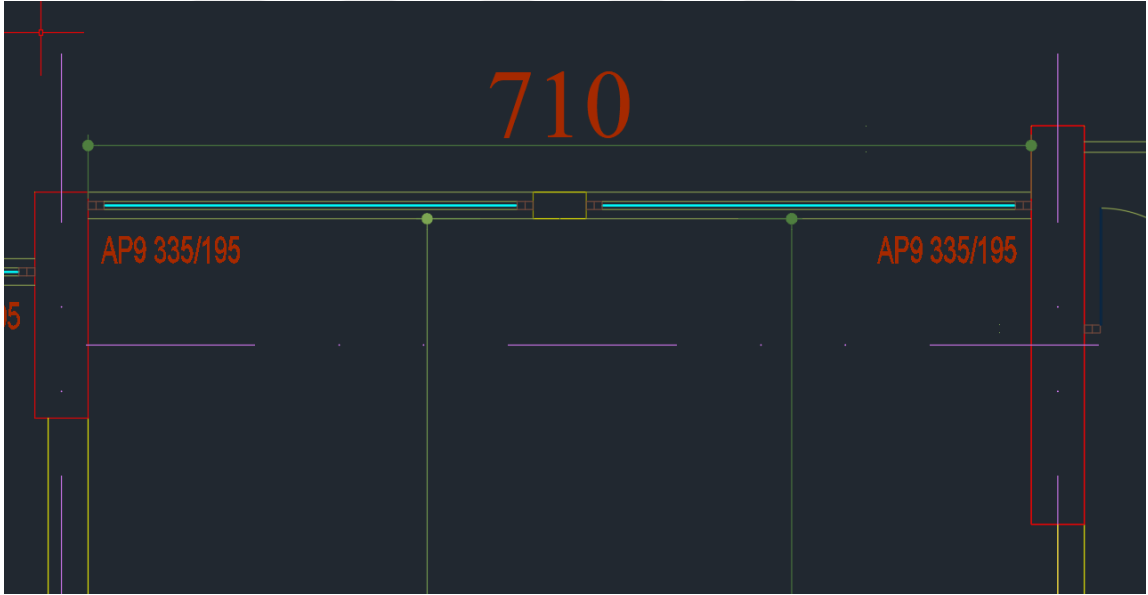


Şekil 3.29. Fakülte Binası için DesignBuilder İçerisinde Cam Tipi Belirleme Bölümü

Pencere/duvar oranı kullanarak pencere tanımlama işlemi, bina enerji modelleme esaslarına göre kabul edilebilir bir yaklaşım konumundadır. Bu yaklaşım sayesinde her bir pencerenin teker teker tanımlanmasındansa o yüzey için pencere/duvar oranı tanımlanarak modellenmesi uygun görülmüştür. Fakülte binasının modellenmesi esnasında binanın güney cephesinde bulunan derslikler haricinde tüm pencereler teknik çizime uygun olarak çizilmiştir.

Derslikler içerisinde çok fazla ve farklı boyutta pencereler içermektedir. Modelleme aşamasında binanın teknik çizimi göz önüne alınarak pencereler için bir pencere/duvar oranı belirlenmiş ve Güney cephesinde bulunan pencereler bu orana göre tanımlanmıştır. Pencere/duvar oranı belirtilirken pencerenin yerden yüksekliği iç aydınlanma için önem arz ettiğinden, yine aynı değerler teknik çizim içerisinde alınmıştır.

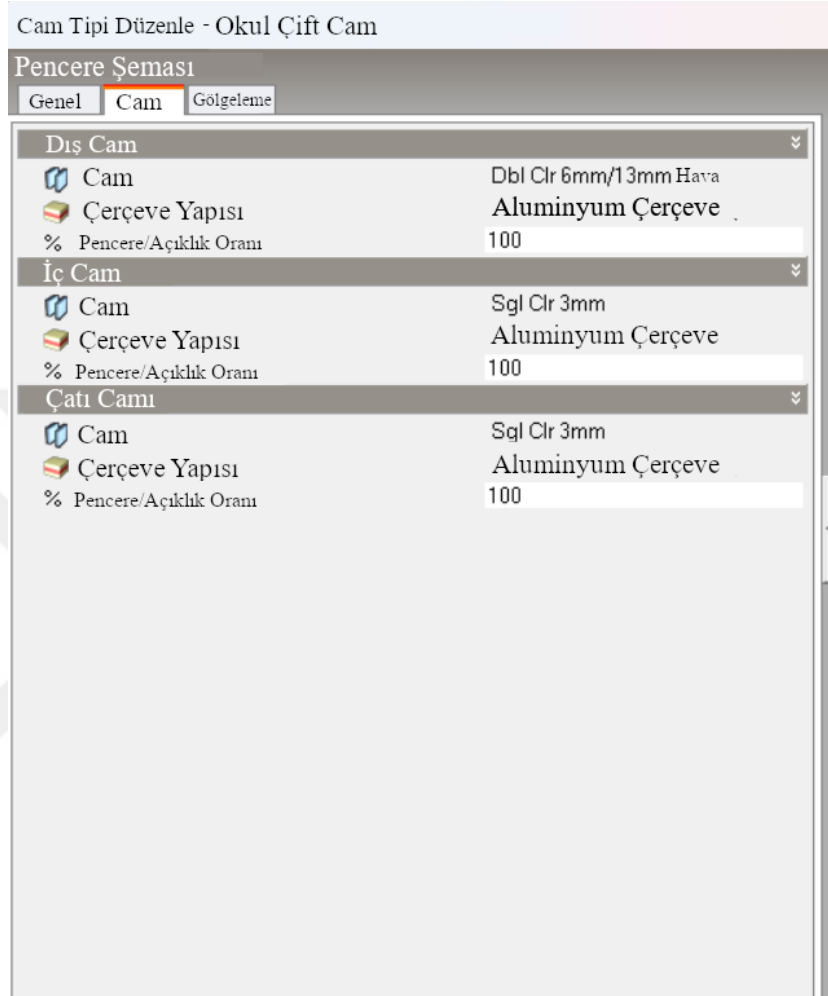
Şekil 3.30.' da güney cephesinde bulunan bir dersliğin teknik çiziminden bir görüntü alınmıştır. Duvarın toplam uzunluğu 7,1 m'dir, toplam kat yüksekliği 4,2 m'dir. Duvar içerisinde 2 adet, eni 3,25 m ve yüksekliği 1,95 m olan pencereler görülmektedir. Pencerelerin toplam alanı 13,06 m<sup>2</sup>'dir duvarın toplam alanı ise 29,92 m<sup>2</sup>'dir. Pencere/duvar oranı hesaplama işlemi toplam pencere alanının toplam duvar alanına bölünmesi ile elde edilmektedir. Bu işlem sonucuna göre %43 değerinde bir pencere/duvar oranı elde edilmiştir.



Şekil 3.30. Güney Cephesinden Bulunan Bir Pencerenin Teknik Resimde Görünümü

Pencereler malzemeleri ve cam sayısı da pencerenin ölçüleri kadar önem arz etmektedir. Pencereler modern mimarilerde en az çift cam olarak tasarlanmaktadır. Fakülte binasında bulunan pencereler, Çift Cam ve Alüminyum çerçeveye sahip pencerelerden oluşmaktadır. DesignBuilder içerisinde pencere ve pencere çerçevesi

ayarlamak için “Openings” kısmından tanımlanmıştır, bu kısım Şekil 3.31.’de gösterilmiştir. Pencerelelerin U-değeri DesignBuilder içerisinde  $2,665 \text{ W/m}^2 - K$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.31. Cam Tipi Düzenleme Kısmı

### 3.7. Isıl Bölgeleme

Isıl Bölge tanımı, ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2016) standardı içerisinde tanımlanmıştır. Bina içerisinde aynı veya benzer kullanım koşullarında olan hacimler için kullanılmaktadır. Örneğin, fakülte içerisinde aynı cepheye bakan, aynı katta olan ve birbirlerine bitişik biçimde duran ofis odaları tek bir ısı bölge olarak tanımlanmıştır. Her bir ısı bölge tek bir termometreye sahip olmakta ve bölgenin sıcaklığı o termometreye göre ayarlanmaktadır (Shin ve Haberl, 2019).

Fakülte binası için 6 farklı ısı bölge tipi seçilmiştir. Bunlar; derslik, laboratuvar, ofis, koridor,wc ve toplantı salonu. Her bir ısı bölge kendine özel kullanım çizelgelerine sahiptir. Fakülte binası ısı bölgeleme için kullanım tipine göre seçilmiş ve her bir tip için DesignBuilder içerisinde şema oluşturulmuştur. DesignBuilder içerisinde Aktivite sekmesinin altında şema oluşturulmuş ve ısı bölge tipleri düzenlenmiştir. Şekil 3.32.'de DesignBuilder içerisinde bulunan Aktivite sekmesi görülmektedir.



Şekil 3.32. DesignBuider İçerisinde Bulunan Aktivite Sekmesi

Aktivite sekmesi içerisinde bina içerisinde bulunan her bir mahal ya da ısı bölge için parametreler tanımlanmaktadır. Bunun için ısı bölge tipine göre ya da seçilen özel mahaller için aktivite şablonları oluşturulmaktadır. Fakülte binasından bulunan her ısı bölge tipinin kendine özel aktivite şablonu bulunmaktadır. Aktivite şablonu içerisinde, insan kaynaklı iç ısı kazançlar, mahal kullanım oranı, ekipman kaynaklı diğer iç ısı kazançlar (bilgisayar, ofis ekipmanları vb.) ve parametrelerin kullanım saati, kullanımı yoğunluğu ve tarih çizelgeleri bu başlık altında tanımlanmaktadır.

Doluluk yani metrekare başına düşen insan miktarı binalarda insan kaynaklı iç kazançların anlaşılması ve değerlendirilmesi için önemli bir parametre konumundadır. Birimi insan/m<sup>2</sup> olan bu parametre DesignBuilder içerisinde bulunan Aktivite şablonu seçildikten sonra çıkan Aktivite Şablonu Düzenleme ekranında “Occupancy” sekmesi altında görünmekte ve değeri ayarlanmaktadır. Şekil 3.33.’de görüldüğü üzere Derslik şablonu altında insan kullanımına bağlı parametreler girilmektedir.

Kullanım Deytaları

Genel İç Kazançlar **Kullanım** Diğer Kazançlar Sıcak Su Çevre Kontrolü

Kullanım Detayları

**Yoğunluk** 0,2900

**Örtülü Oran** 0,5000

**Metabolik Isı**

**Metabolik Oran** Oturur Vaziyette

**Metabolik Faktör** 0,90

**İş Profili**

**Açık** 9:00

**Kapalı** 16:00

Gün/Hafta 5

**Çizelge**

**Çizelge** Derslik 1

Şekil 3.33. DesignBuilder İçerinde Ayarlanan İnsan Yoğunluğu Sekmesi Görünümü

Her bir ısıl bölge için oluşturulmuş Doluluk oranı Çizelge 3.3.'de görülmektedir. Bu değerler ASHRAE 90.1 standardına göre, insan/m<sup>2</sup> hesabı yapılarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.3. Isıl Bölge Tiplerine Göre Doluluk Oranları

Isıl Bölge Tipi	Doluluk Oranı [ <i>insan/m<sup>2</sup></i> ]
Derslik	0,2034
Ofis	0,1030
Koridor	0,1065
Laboratuvar	0,2313

Metabolik Faktör ve insan aktivitesi şablon içerisinde mahal kullanım alanına göre düzenlenmiştir. Buna göre, derslik, ofis, laboratuvar için Sakin Oturma ayarlanırken, Koridor için ise Ayakta Bekleme/Yürüyüş seçeneği seçilmiştir. Bu parametre, insan kaynaklı iç kazancın kişinin yaptığı aktiviteye değişimini temsil etmektedir.

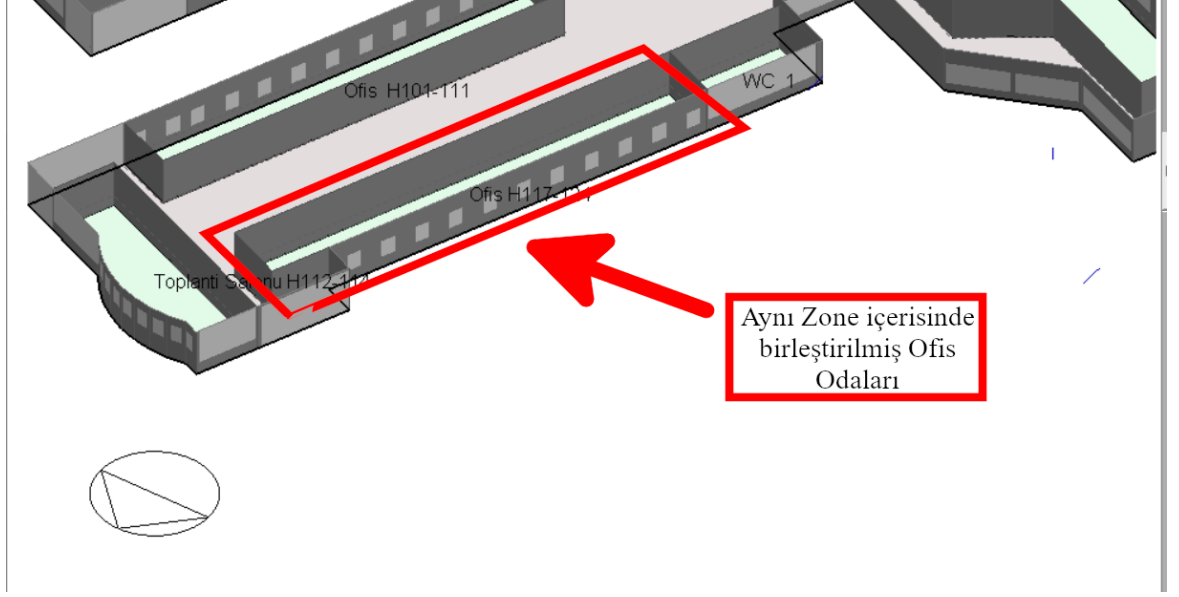
Fakülte binası içerisinde sıcak su hiç kullanılmadığından DesignBuilder içerisinde pasif konumuna getirilmiştir. Bu sebeple hesaplamalara katılmamıştır.

Diğer iç kazançlar kısmı ısıl bölge içerisindeki elektronik ya da çeşitli iç kazançları temsil etmesi için kullanılmaktadır. Bu kazançlar, bilgisayar, ofis ekipmanı, yemek servisi kaynaklı iç kazanç, üretim, genel aydınlatma olarak listelenmektedir. Fakülte binası içerisinde listede bulunan tüm parametreler aktif değildir. Çizelge 3.4.'de ısıl bölge tipine göre elde edilen iç kazançlar görülmektedir.

Çizelge 3.4. Isıl Bölge Tiplerine Göre Diğer İç Kazançlar

<b>Isıl Bölge Tipi</b>	<b>Ekipman Kaynaklı İç Kazanç [<math>W/m^2</math>]</b>
<b>Derslik</b>	4,74
<b>Ofis</b>	11,99
<b>Koridor</b>	0
<b>Laboratuvar</b>	27,81
<b>WC</b>	0
<b>Toplantı Salonu</b>	4,74

Isıl Bölgeler, oluşturulması hedeflenen binalarda hesaplamaları ve sonuçları analiz etmeyi kolaylaştırmak amacıyla da kullanılmaktadır. Bu sebeple Şekil 3.34.'de görüldüğü üzere birinci katta bulunan, yan yana ve aynı cepheye bakan ofis odaları tek bir ısı bölge altında birleştirilmiştir. Aynı işlem diğer ısı bölge tipleri için de çeşitli kat ve konumlarda uygulanmıştır.



Şekil 3.34. Tek bir ısı bölge içerisinde birleştirilmiş ofis odaları

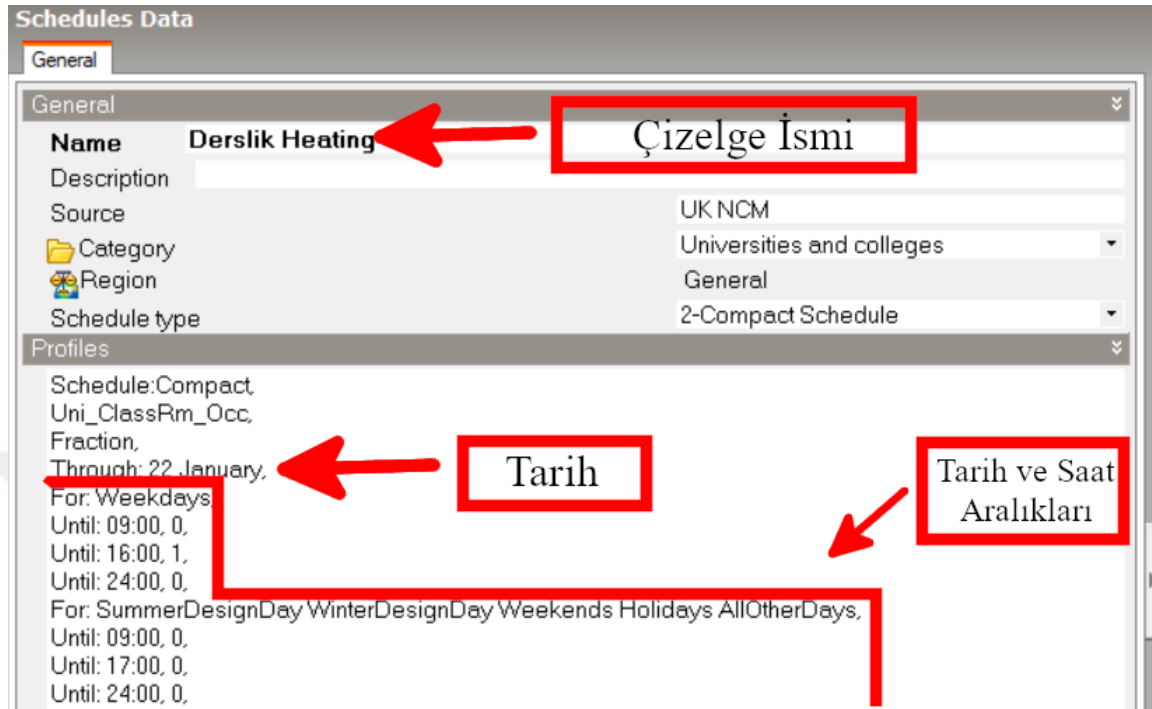
### 3.8. Çalışma Zaman Çizelgeleri

Fakülte binası diğer binalar gibi çalışma zaman çizelgelerine sahiptir. Bu çizelgeler, binanın kullanım karakteristiğini yansıtmaktadır. Örneğin, sabah saat 11:00'de dersliklerin 1,0 olan doluluk oranı ile gece 04:00'de 0,0 olan doluluk ve kullanım oranı aynı değildir. Binalarda bu tarz saatlik ve gün kaynaklı (hafta içi/hafta sonu) kullanımların gerçek kullanıma göre düzgün bir biçimde tanımlanması gerekmektedir. Bu tanımlar, DesignBuilder içerisinde "Schedule" kısmından her bir ısı bölge için ayrı ayrı tanımlanmaktadır.

DesignBuilder modeli içerisinde oluşturulmuş olan her bir ısı bölge tipinin kendine has kullanım çizelgesi bulunmaktadır. Dolayısıyla bu kullanım çizelgeleri "Activity" sekmesi altındaki ısı bölge şemalarında tanımlanmaktadır.

Çizelge tanımlama işlemi DesignBuilder içerisinde bulunan "Compact Schedule" opsiyonu kullanılarak tanımlanmıştır. Şekil 3.35.'de görüldüğü gibi saatlik bazda değerlerin ne kadar olacağı tanımlanabilmektedir. Bununla birlikte, belirlenen tarih aralıkları ile saatlik ayarlar gruplandırılabilir. DesignBuilder içerisinde daha

önceden tanımlanmış olan “SummerDesignDay”, “WinterDesignDay”, “Weekends” ve “Holidays” gibi önceden tanımlanmış tarihler de eklenmiştir.



Şekil 3.35. DesignBuilder İçerisinde Çizelge Tanımlama Arayüzü

### 3.8.1. Faal Kullanım Çizelgesi

Faal kullanım çizelgesi tanımlanmış olduğu Isıl bölgenin belirlenen saat ve tarih aralığında hangi değerde dolu olduğunu belirtmek için kullanılmaktadır.

### 3.8.2. Isıtma Çizelgesi

Isıtma çizelgesi tanımlanmış olduğu ısı bölge için belirlenen saat ve tarih aralığında ısı bölgenin hedeflenen konfor sıcaklığını tanımlamak için kullanılmaktadır. Tüm ısı bölgelerin ısıtması için hedeflenen konfor sıcaklığı 22°C olarak belirlenmiştir. Isıtma tarihi aralığı TMY verilerine göre EnergyPlus tarafından otomatik olarak belirlenmesi tercih edilmiştir. Tarih aralığı için sadece derslikler ve laboratuvar için okulun tatil olduğu dönemlerde kapalı olacak şekilde ayarlanmıştır.

### **3.8.3. Soğutma Çizelgesi**

Soğutma çizelgesi tanımlandığı ısıtıl bölge için tanımlanan tarih ve saat aralığında kaç derecede tutulacağını tanımlamak için kullanılmaktadır. Tüm ısıtıl bölgeler için hedeflenen konfor sıcaklığı 24°C olarak tanımlanmıştır. Derslikler ve laboratuvarlar için soğutma sistemi kapalı olarak tanımlanmıştır.

### **3.8.4. Aydınlatma Zaman Çizelgesi**

Aydınlatma çizelgesi tanımlandığı ısıtıl bölge için belirlenen tarih ve saat aralığında aydınlatma miktarını tanımlamak için kullanılmaktadır. Derslik, ofis ve toplantı salonları için hedeflenen aydınlatma miktarı 500 lux olarak tanımlanmıştır. Koridor ve WC'ler için aydınlatma yoğunluğu 100 lux olarak tanımlanmıştır. Aydınlatma çizelgesi için tarih ve saat aralıkları faal kullanım çizelgesi ile aynı olarak tanımlanmıştır. Ek olarak her bir ısıtıl bölgede ışık sensörü olduğu bilgisi DesignBuilder içerisinde tanımlanmıştır.

Tüm ısıtıl bölgeler için tanımlanan saat aralıkları Çizelge 3.5.'de verilmiştir. DesignBuilder içerisinde de bu şekilde tanımlanmış olup bu değerler yapılan saha gözlemleri sonucunda elde edilmiştir.

Çizelge 3.5. Çizelgelerin Tanımlanan Saat Aralıkları

Isıl Bölge Tipi	Isıtma	Soğutma	Faal kullanım	Aydınlatma
Ofis	8:00-17:00	8:00-17:00	8:00-17:00	8:00-17:00
Derslik	9:00-16:00	Yıl Boyunca Kapalı	9:00-16:00	9:00-16:00
Laboratuvar	9:00-16:00	Yıl Boyunca Kapalı	9:00-16:00	9:00-16:00
Koridor	8:00-17:00	8:00-17:00	8:00-17:00	8:00-17:00
WC	8:00-17:00	8:00-17:00	8:00-17:00	8:00-17:00

Tarih aralıkları Çizelge 3.6.'da gösterilmektedir. Çizelgelerde kapalı olarak tanımlanan tarihler okulun yarı yıl tatilinde olduğu zamana denk gelmektedir. Ek olarak ofis ısı bölgesinde bulunan doluluk oranı 15 Haziran ile 19 Eylül arasındaki tarih aralığında 1,0 değerinden 0,4 değerine düşürülmüştür.

Çizelge 3.6. Çizelgelerin Tanımlanan Tarih Aralıkları

Isıl Bölge Tipi	Isıtma	Soğutma	Faal kullanım	Aydınlatma
Ofis	Hafta sonları hariç tüm yıl boyunca açık.	Hafta sonları hariç tüm yıl boyunca açık.	Hafta sonları hariç tüm yıl boyunca açık.	Hafta sonları hariç tüm yıl boyunca açık.
Derslik	Hafta sonları ve 22 Ocak ile 15 Şubat tarihleri arası hariç tüm yıl boyunca açık.	Yıl Boyunca Kapalı	Çalışma aralığı 19 Eylül ile 15 Haziran tarih aralığı içerisinde açık fakat hafta sonları ve 22 Ocak ile 15 Şubat, tarihlerinde kapalı.	Çalışma aralığı 19 Eylül ile 15 Haziran tarih aralığı içerisinde açık fakat hafta sonları ve 22 Ocak ile 15 Şubat, tarihlerinde kapalı.
Laboratuvar	Hafta sonları ve 22 Ocak ile 15 Şubat tarihleri arası hariç tüm yıl boyunca açık.	Yıl Boyunca Kapalı	Çalışma aralığı 19 Eylül ile 15 Haziran tarih aralığı içerisinde açık fakat hafta sonları ve 22 Ocak ile 15 Şubat, tarihlerinde kapalı.	Çalışma aralığı 19 Eylül ile 15 Haziran tarih aralığı içerisinde açık fakat hafta sonları ve 22 Ocak ile 15 Şubat, tarihlerinde kapalı.
Koridor	Hafta sonları hariç tüm yıl boyunca açık.	8:00-17:00	Çalışma aralığı 19 Eylül ile 15 Haziran tarih aralığı içerisinde açık fakat hafta sonları ve 22 Ocak ile 15 Şubat, tarihlerinde kapalı.	Hafta sonları hariç tüm yıl boyunca açık.
WC	Hafta sonları hariç tüm yıl boyunca açık.	8:00-17:00	Çalışma aralığı 19 Eylül ile 15 Haziran tarih aralığı içerisinde açık fakat hafta sonları ve 22 Ocak ile 15 Şubat, tarihlerinde kapalı.	Hafta sonları hariç tüm yıl boyunca açık.

### 3.9. Aydınlatma Girdileri

Aydınlatma girdileri DesignBuilder içerisinde “Lighting” sekmesi altında düzenlenmektedir. Bu bilgilerin gerçek bina bilgileri ile örtüşmesi, aydınlatma sisteminin bina enerji karakteristiği üzerindeki etkisinin analizi için ciddi önem arz etmektedir. Fakülte binasında floresan lambalar kullanılmaktadır, bu lambalar gömme aydınlatma olacak şekilde tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bu aydınlatma biçimi Şekil 3.36.’da gösterilmektedir.



Şekil 3.36. Gömme Aydınlatma

DesignBuilder içerisinde fakülte binasının aydınlatma biçimini temsil edecek ve “Okul Aydınlatma” adında bir Şablon oluşturulmuştur. Bu şablon üzerinden birimi  $W/m^2 - Lux$  olan aydınlatma yükü bilgisi girilmektedir. Aydınlatma için bilgiler girildikten sonra aydınlatmanın gerçek kullanım ile örtüşebilmesi için aydınlatmanın EnergyPlus tarafından kontrol edilmesine olanak sağlayan “Lighting Control” opsiyonu aktif edilmiştir. Bu opsiyon vasıtası ile binanın aydınlatma kullanımı belirlenen saatler aralığında iç ortamın aydınlık seviyesine göre otomatik açılıp kapanacak şekilde kontrol edilmesini sağlamaktadır.

Aydınlatma Şablonu	
Şablon	Okul Aydınlatma
Genel Aydınlatma	
<input checked="" type="checkbox"/> Açık	
Normalize Güç	0,94
Çizelge	Derslik 1
Aydınlatma Tipi	Askıda
Dönüş Hava Oranı	0,000
Işınım Oranı	0,420
Görünüm Oranı	0,180
Konveksiyon Oranı	0,400
Aydınlatma Kontrolü	
<input checked="" type="checkbox"/> Açık	
Sensör Yüksekliği	0,80
Kontrol Tipi	1-Linear
Min. Çıkış Oranı	0,100
Min. Giriş Oranı	0,100
Işıltı	>>
Aydınlatma Alanı 1	>>
Aydınlatma Alanı 2	>>
Görev ve Aydınlatma Görünümü	
<input type="checkbox"/> Açık	
Dış Aydınlatma	
<input type="checkbox"/> Açık	
Maliyet	
	>>

Şekil 3.37. DesignBuilder Aydınlatma Girdileri

Aydınlatma yükleri her bir ısıl bölge tipi için özel olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken örnek sınıf, ofis ve koridor alanları seçilmiş ve bu ofis odalarındaki lamba ve m<sup>2</sup> bilgilerine göre değerler oluşturulmuştur. Bu hesaplama sonucu Çizelge 3.7.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Isıl Bölge Tiplerinin Aydınlatma Yükleri

Isıl Bölge	Aydınlatma Yüğü [ $W/m^2 - 100Lux$ ]
Ofis	1,8
Sınıf	2,52
Laboratuvar	2,52
Koridor	0,62
WC	0,62
Toplantı Salonu	1,8

Çizelge 3.7.'de gösterilen değerler, DesignBuilder aydınlatma girdisini kullanıcıdan farklı bir yöntem ile almaktadır. Bu yöntem  $m^2$  başına 100 lux aydınlatma değerinde aydınlatmanın kaç Watt tükettiğini anlatmaktadır. O yüzden birimi [ $W/m^2-100lux$ ]'dur.

### 3.10. Elektriksel Girdiler

Fakülte binasının enerji tüketimine etki eden bir parametre de eğitim ve araştırma amaçlı kullanılan elektriktir. Bu elektrik, bilgisayar ve genel ofis ekipmanları olarak ikiye ayrılabilir. Binanın sahip olduğu ısıl bölge tiplerine göre  $m^2$  başına farklı miktarlarda enerji tüketimleri olmaktadır. Bu bilgiler yapılan gözlemler ve varsayımlar eşliğinde hesaplanmış ve ortaya çıkarılmıştır.

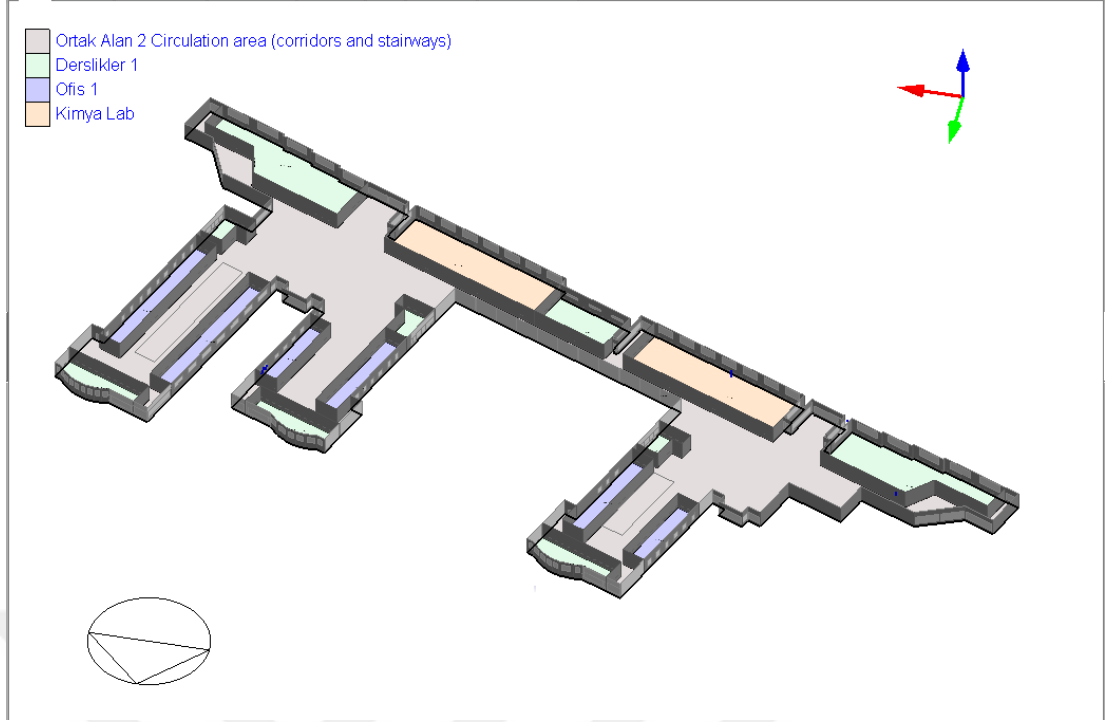
Tüm ısıl bölgelerin elektriksel girdileri ASHRAE 90.1'den alınmış ve değerler DesignBuilder içerisinde bu şekilde girilmiştir. Koridor için aydınlatma ve ısınma harici bir elektrik ihtiyacı olmayacak biçimde tasarlanmıştır. Isıl bölge tiplerine göre olan elektrik yükleri Çizelge 3.8.'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.8. Isıl Bölge Tiplerine Göre Elektrik Yükleri

Isıl Bölge Tipi	Elektrik Yüğü [ $W/m^2$ ]
Ofis	11,99
Sınıf	4,74
Laboratuvar	27,81
Koridor	0
WC	0
Toplantı Salonu	4,74

### 3.10.1. Kimya Laboratuvarı

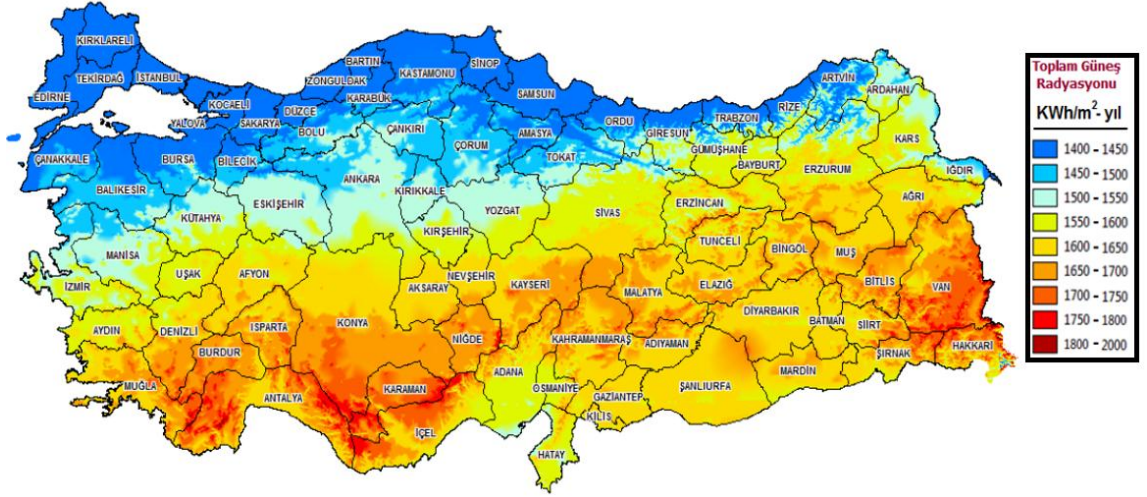
Fakülte binası içerisinde bulunan kimya laboratuvarı diğer laboratuvarlardan farklı bir konumdadır. Bunun sebebi oda içerisinde çeker ocak bulunmasıdır. Bu çeker ocak oda içerisinde saatte yaklaşık 1000 m<sup>3</sup>'lük bir havayı dışarı atmaktadır. Bu durum oda içerisindeki hava akışı ve dolayısıyla enerji tüketimini etkilemektedir. DesignBuilder içerisinde bu durum saatte 1,82 kere içerideki havanın değişime uğrayacağı biçimde tanımlanmıştır. Çalışma zaman çizelgesi ise derslik zaman çizelgesi ile aynıdır. Laboratuvarlar 3.katta bulunmaktadır. Üçüncü kat Şekil 3.38.'de gösterilmiştir.



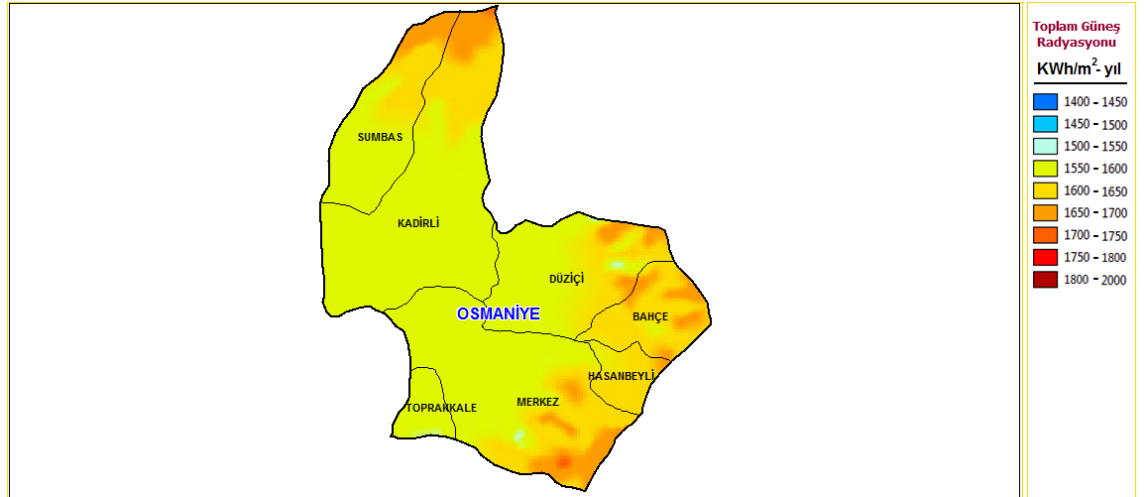
Şekil 3.38. Fakülte Binası Üçüncü Kat İzometrik Görünümü

### 3.11. Osmaniye İli Güneş Işınımı Kaynaklı Enerji Kazanımı

Türkiye'nin yıllık  $m^2$  başına düşen Güneş ışınımı kaynaklı enerji kazanımı Şekil 3.39.'da verilmiştir. Osmaniye ili güneş enerjisi potansiyeli bakımından Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin ardından ikinci sırada yer alan Akdeniz Bölgesinde bulunmaktadır. Türkiye'nin yıllık toplam ortalama güneşlenme süresi 2640 saat/yıl, günlük ortalaması ise 7,2 saattir. Osmaniye yıllık toplam ortalama güneşlenme süresi 2861 saat/yıl ve Osmaniye'de günlük ortalama güneşlenme süresi ise 7,8 saat ile Türkiye ortalamasının üzerinde bulunmaktadır (Doğaka 2017). Osmaniye'nin genelindeki toplam ışınım miktarı 1500- 1650  $kWh/m^2$ -yıl aralığında bulunmakla birlikte yer yer 1900  $kWh/m^2$ -yıl değerlerine de ulaşmaktadır. Bu dağılım Şekil 3.40.'da gösterilmiştir.

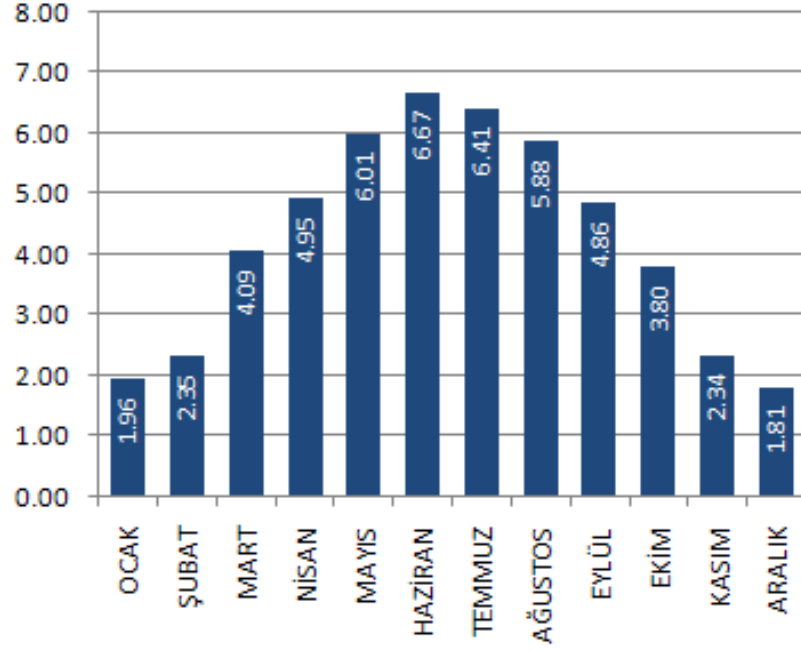


Şekil 3.39. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (ETKB, 2022)



Şekil 3.40. GEPA Osmaniye Güneş Enerji Potansiyeli (GEPA, 2017)

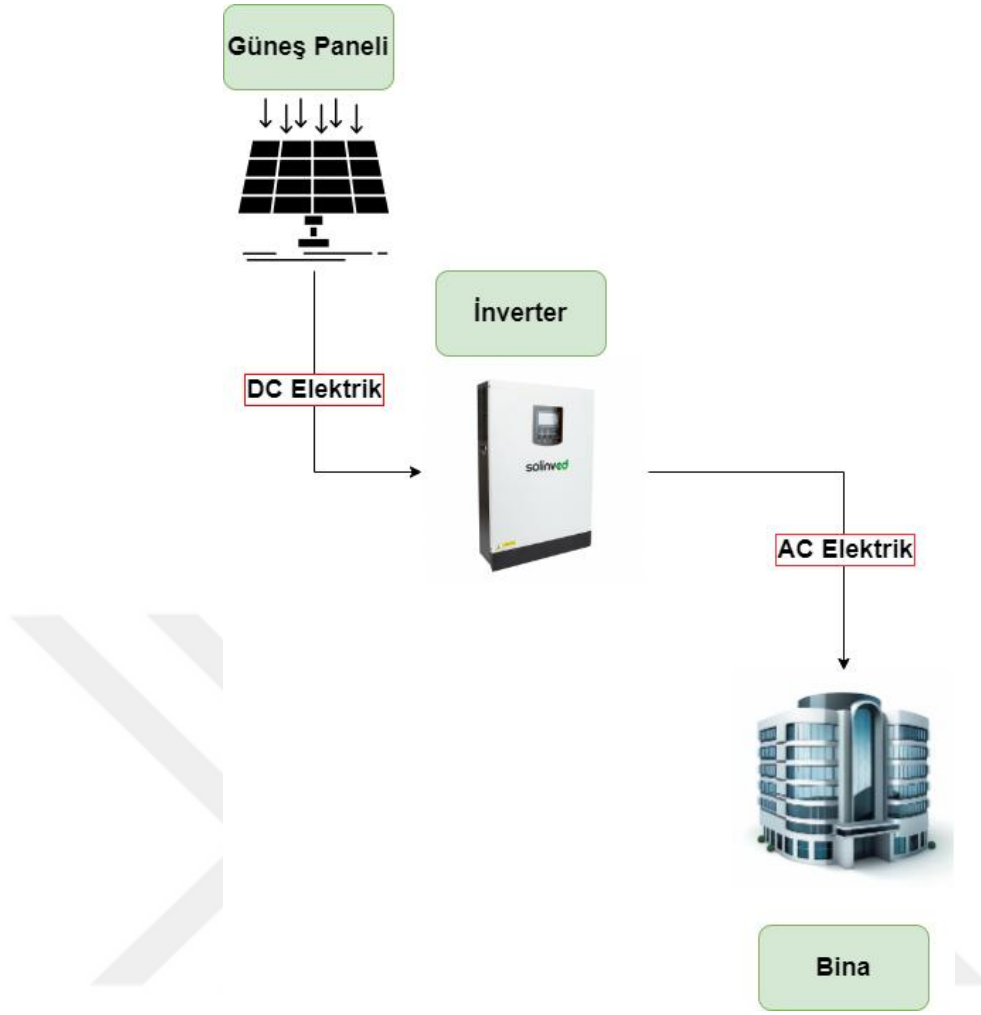
Osmaniye ilinin ay bazında güneş ışınımı değerleri ise Şekil 3.41.'de verilmiştir. Mart ayından başlayarak Ekim ayına kadar önemli miktarda ışınımına sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.41. Osmaniye Ortalama Global Işınım Değerleri (kWh/m<sup>2</sup> – gün)  
(GEPA, 2017)

### 3.12. Elektrik Enerjisi Üretimi

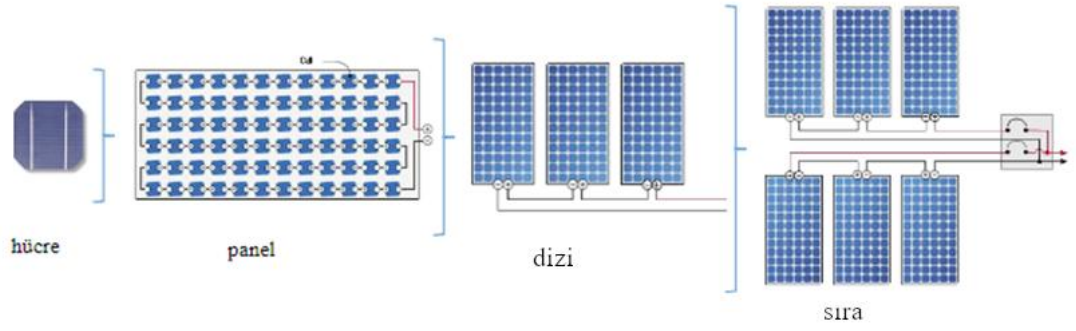
Güneş ışınımdan elektrik enerjisi üretim sisteminin depolama yapılmayacaksa iki ana modülü bulunmaktadır. Bunlar DA (Doğru Akım) çıktısına sahip fotovoltaik (FV) panel ve bu çıktıyı AA (Alternatif Akım)'ya çevirerek kullanıma hazırlayan İnverterdir. Şekil 3.42.'de güneş paneli sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.42. Fakülte Binası İçin Oluşturulmuş Taslak Elektrik Üretim Bağlantı Şeması

### 3.12.1. Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik (FV) paneller, direkt güneş ışığından elektrik enerjisi üretmek için kullanılır. Bu paneller, toplu olarak belirli bir voltajda elektrik üreten birbirine bağlı birden çok hücre içerir. Fotovoltaik panellerin doğası gereği doğru akımda çalışmaktadır. FV hücrelerinin çoğunluğu kristal silikon kullanılarak üretilir. FV hücreleri, belirli bir voltaj sınırı içinde, güneş ışınımı yoğunluğuyla orantılı bir elektrik akımı üretmektedir (Manwell, 2004). Fotovoltaik paneller kendi içerisinde daha küçük boyutlarda olan güneş hücrelerinden oluşmaktadır. Bu hücrelerin her biri düşük miktarda voltaj ve akım üretmektedir. Bu sebeple bu hücreler seri bir biçim birbirlerine bağlanarak güneş panellerini oluşturmaktadır. Bu durum Şekil 3.43.'de gösterilmektedir.

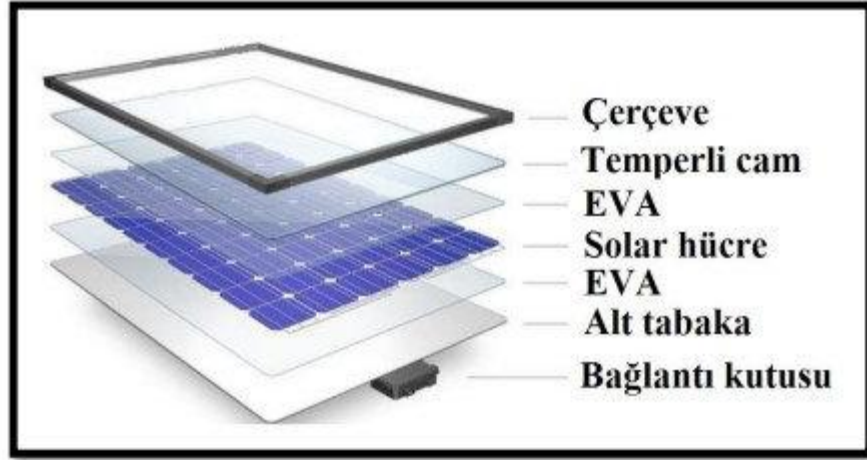


Şekil 3.43. Fotovoltaik Panel Hücreleri (Demiryürek, 2018)

FV birkaç parçadan oluşmaktadır. Bunlardan en önemlisi fotovoltaik hücrelerdir. Diğer bileşenler, güneş panelinin performansını ve daha uzun ömürlü olmasını sağlamak için tasarlanmıştır (Iberdola, 2023). Bu parçalar;

- Güneş Paneli: Güneş panelleri, fotovoltaik hücreleri veya modülleri metalik iletkenler ile birbirine bağlayarak oluşturulmaktadır. Bu hücreler, güneş ışınımı etkisine maruz kaldıklarında elektrik üretme kabiliyetine sahip cihazlardır.
- Kapsülleme Katmanları: Güneş panelleri, etilen ve vinil asetat gibi farklı bileşiklerden oluşan bir polietilen türü olan EVA plastiğinden yapılmış koruyucu bir tabaka içermektedir. Bu malzeme, güneş hücrelerini etkili bir şekilde koruyan mükemmel ısı yalıtkanı görevi görmektedir. Yalıtım özelliklerine rağmen EVA plastiği, güneş ışığının fotovoltaik hücrelere geçişine izin vererek, güneş enerjisinden verimli bir şekilde yararlanmasına izin vermektedir.
- Panel Çerçevesi: Tipik olarak, güneş panellerinin çerçeveleri, hafif tasarım ve dayanıklılık arasında denge sağlamak için alüminyum kullanılarak yapılır. Bu çerçeve, panelin eğim ve yön gibi faktörlerin belirlenmesinde yardımcı rol oynamaktadır. Çerçeve, FV hücrelerinin darbe, doğa olayları ve diğer fiziksel koşullar altında bir bütün olarak kalabilmesini sağlamaktadır.

Fotovoltaik Panellerin katmanlı bir biçimde görünüşü Şekil 3.44.'de gösterilmiştir. Bu katmanlar sayesinde Fotovoltaik Paneller uzun yıllar boyunca hizmet edebilmektedir.



Şekil 3.44. Fotovoltaik Panel Katmanlı Görünümü (SolarAVM, 2021)

Fotovoltaik Paneller yapısı bakımından 3 ana tipe ayrılmaktadır (Leonard, 2019).

Bunlar;

- **Monokristal Güneş Paneli:** Monokristal güneş hücreleri, yüksek saflıkta silikon kullanılarak üretilmektedir. Bu hücreler, düzgün renkleri ve tekdüze görünüşleri ile ayırt edilebilmektedir. Bu tutarlı görünüm, kullanılan silikonun yüksek saflığının göstermektedir. Monokristal güneş panelleri, silindirik külçelerin dört kenarlı parçalara kesilmesiyle üretilmektedir. Bu süreç, verimli monokristal güneş panelleri ile sonuçlanan en yüksek kaliteli silikon malzemenin kullanılmasına izin vermektedir.
- **Polikristal Güneş Paneli:** Silikon tabanlı güneş hücrelerinin üretiminde, tek bir silikon kristali yerine bir araya getirilmiş birden çok silikon parçası kullanılmaktadır. Bu paneller, polikristal paneller olarak adlandırılmaktadır, çünkü silikon yapısı birden çok kristalden oluşmaktadır. Çok sayıda kristalin bulunması, güneş hücresinin elektron hareketi için sınırlı bir alan sağlamaktadır. Bu sebeple, polikristal panellerin verimliliği, monokristal panellere kıyasla daha düşük olmaktadır (YILMAZ, 2021).

- İnce Film Güneş Paneli: İnce film güneş panelleri, bir veya daha fazla ince fotovoltaiik malzeme katmanının bir alt tabaka üzerine biriktirildiği bir işlemle oluşturulmaktadır. Bu biriktirme tekniği, geleneksel kristal silikon hücrelere kıyasla çok daha ince bir profile sahip güneş pillerinin üretilmesine olanak tanımaktadır.

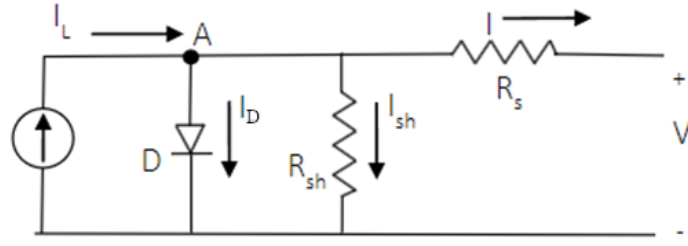
Bu Güneş Paneli tiplerinin birbirilerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Kullanıcı kendi ihtiyacına göre panel tipini seçip uygulamaya geçmektedir. Panel tipinin sahip olduğu hücre tipleri Şekil 3.45.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.45. Güneş Paneli Hücre Tipleri (SolarAVM, 2023)

### 3.12.2. Fotovoltaiik Panel Parametreleri

Fotovoltaiik Güneş Panellerinin elektrik üretim miktarlarını hesaplanabilmesi için bir modelleme yöntemine ihtiyaç duyulmuştur (Altaş, 1998). Lorenzo tarafından 1994 yılında tanımlanan, fotovoltaiik hücrelerin eşdeğer devre modeli Şekil 3.46.'da gösterilmiştir. Bu modelde, bir akım kaynağı, akım kaynağına paralel bir diyot ve bir topraklama direncinden oluşmaktadır bunlara ek olarak tamamına seri bağlı bir iç direnç bulunmaktadır (Şahin ve Okumuş, 2013).



Şekil 3.46. Fotovoltaik Panel Eşdeğer Devresi (Bolat, vd., 2020)

Şekil 3.46.'deki Akım ( $I$ ) Güneş Panelinden dış devreye aktarılan akımı temsil etmektedir. Bu akış, güneş panelinin elektrik üretimini ifade etmektedir. Diyot Akımı ( $I_D$ ) eşdeğer devredeki diyot, güneş panelinin iç yapısında bulunan p-n birleşimini temsil etmektedir. Diyot Akımı, bu birleşimden geçen elektriği ifade etmektedir. ( $I_0$ ) D diyotunun ters doyma akımını temsil etmektedir. İç direnç ( $R_s$ ) Güneş Panelinin içindeki dirençleri ve bağlantı elemanlarını temsil etmektedir. Bu dirençler, güneş panelinin içsel kayıplarını ve dirençli davranışını göstermektedir. Paralel olarak bağlı olan ( $R_{sh}$ ) güneş panelinin sızıntı akımına karşı oluşturduğu direnci temsil etmektedir. Bu direnç, güneş panelinin yüzeyinden veya arka kısmından kaynaklanan akım sızıntılarını ifade etmektedir.  $I_0$  diyot ters doyma akımını temsil etmektedir (Bayrak ve Cebeci, 2012).

Kirchoff Akım Yasasını kullanarak A noktası üzerinde inceleme yapıldığında;

$$I_L = I_D + I_{sh} + I \quad (3.3)$$

A noktasına giren ve çıkan akımlar eşitlenmiş olmaktadır. Diyot üzerindeki akım ve gerilimi hesaplandığında;

$$V_d = V + R_s \cdot I \quad (3.4)$$

$$I_D = I_0 \left( e^{\frac{q \cdot V_d}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) = I_0 \left( e^{\frac{q \cdot (V + R_s \cdot I)}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklem içerisinde bulunan,  $T$ : Kelvin biriminde sıcaklık,  $k$ : Boltzman sabiti ( $1,38 \times 10^{-23}$ ),  $n$ : diyot faktörü,  $q$ : elektron yükü ( $1,6 \times 10^{-19}$ )

<sup>19</sup>C) alınarak hesaplanmaktadır (Bayrak ve Cebeci, 2012). Şekil 3.46.'deki diyot elamanına paralel olarak yerleştirilen  $R_{sh}$  direnci üzerinden geçmekte olan akım miktarı hesaplandığında;

$$I_{sh} = \frac{V_d}{R_{sh}} = \frac{V+R_{sh} \cdot I}{R_{sh}} \quad (3.6)$$

Şeklinde ifade edilebilmektedir. Denklem (3.5) ve denklem (3.6) denklem (3.4) içerisinde yerine konular ve denklem (3.7) oluşturulmaktadır.

$$I = I_L - I_0 \left( e^{\frac{qV_d}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V+R_s \cdot I}{R_s} \quad (3.7)$$

Denklem (3.6) içerisinde diyota paralel olan direnç  $R_{sh}$  çok küçük olduğu için ihmal edilebilmektedir. Bu sebeple denklem (3.7) içerisindeki  $V$  yalnız bırakıldığında;

$$V = \frac{n \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln \left[ \frac{I_L + I_0 - I}{I_0} \right] - R_s \cdot I \quad (3.8)$$

Denklem (3.8) ile Güneş Panelinin sisteme sağladığı potansiyel gerilim değeri ortaya çıkarılmaktadır. Denklem (3.7) için yine aynı eşitliğe sahip;

$$I = I_L - I_D = I_L - I_0 \cdot \left( e^{\frac{qV}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (3.9)$$

Denklem (3.9) oluşturulabilir. Bu sayede kısa devre akımı yani  $V=0$  durumundaki ve açık devre gerilimi yani  $I=0$  durumundaki, akım ve potansiyel gerilimler elde edilebilmektedir.

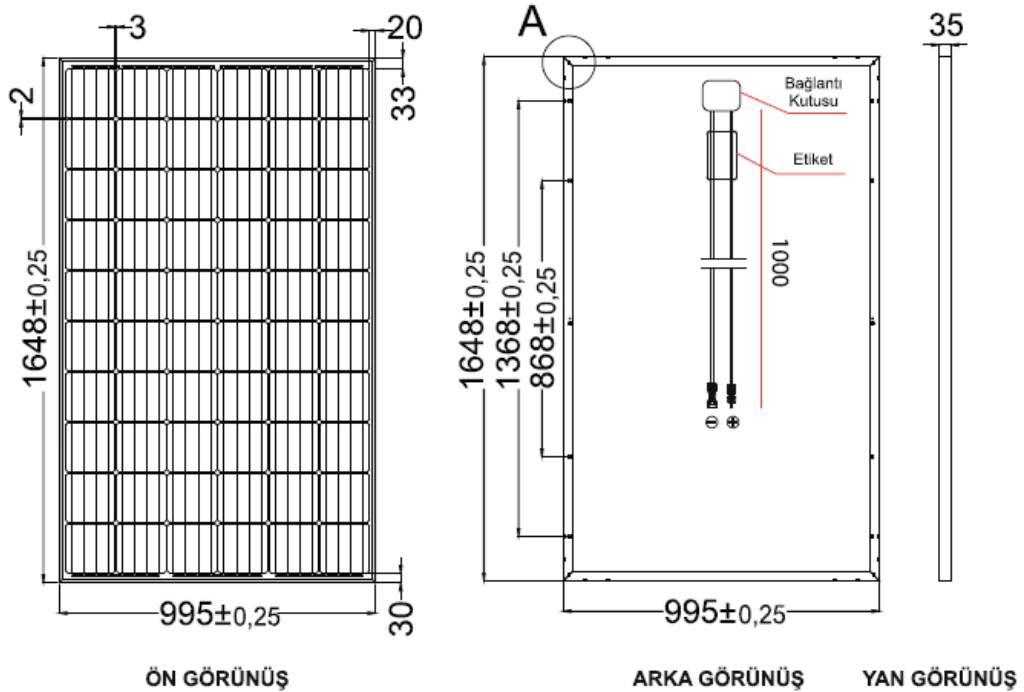
### 3.12.3. Fakülte Binasında Kullanılan Güneş Paneli

Fakülte binası için yapılan çalışmada CW Enerji markalı CWT300 60PM kodlu 300 Wp elektrik üretim kapasitesine sahip paneller tercih edilmiştir.

Çizelge 3.9. Fakülte Binasında Tercih Edilen Güneş Panelinin Etiket Değerleri

Model Tipi	CWT300 60PM
Maksimum Güç ( $P_{maks}$ )	300 Wp
Modül Verimliliği	18,30
Maksimum Güç Gerilimi ( $V_{mp}$ )	32,64 V
Maksimum Güç Akımı ( $I_{mp}$ )	9,20 A
Açık Devre Gerilimi ( $V_{oc}$ )	38,94 V
Kısa Devre Akımı ( $I_{sc}$ )	9,83 A
Güç Toleransı	0~+5W
Maksimum Sistem Anma Gücü	1000V DA
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 ~+85°C
Güvenlik	C Sınıfı
Maksimum Seri Sigorta Akımı	15A/20A

Güneş hücresi 156,75 mm x 156,75 mm ölçülerinde olup 60 adet hücreye sahiptir. Güneş Panelinin ön ve arkadan görünüşü Şekil 3.47.'de görülmektedir.



Şekil 3.47. Güneş Paneli Ön ve Arkadan Görünüşü (Enerji, 2020)

### 3.12.4. Fakülte Binası Güneş Paneli Yerleşimi

Güneş panellerinin yerleşim yeri olarak fakülte binasının çatısı belirlenmiştir. Bu yaklaşım binalarda güneş enerjisinden elektrik üretim yaklaşımlarından birisi konumundadır (GAMAK, 2023). Bu seçim binanın kullanımını etkilememekle beraber, güneş ışınımı sebebi ile binanın çatı bölgesinden aktarılan ısı kazanımı da düşürmektedir.

Fakülte binası birden fazla bloktan oluşmaktadır. Bulunduğu yer koşulları sebebi ile bloklar farklı yüksekliklere sahiptir. Şekil 3.48.'de bu yükseklik farkları görülmektedir. Binanın çatı kısmında bulunan klima santralleri panel yerleşimi esnasında alan hesabı, gölgelenme ve diğer hesapların basitleştirilmesi maksadıyla ihmal edilmiştir.

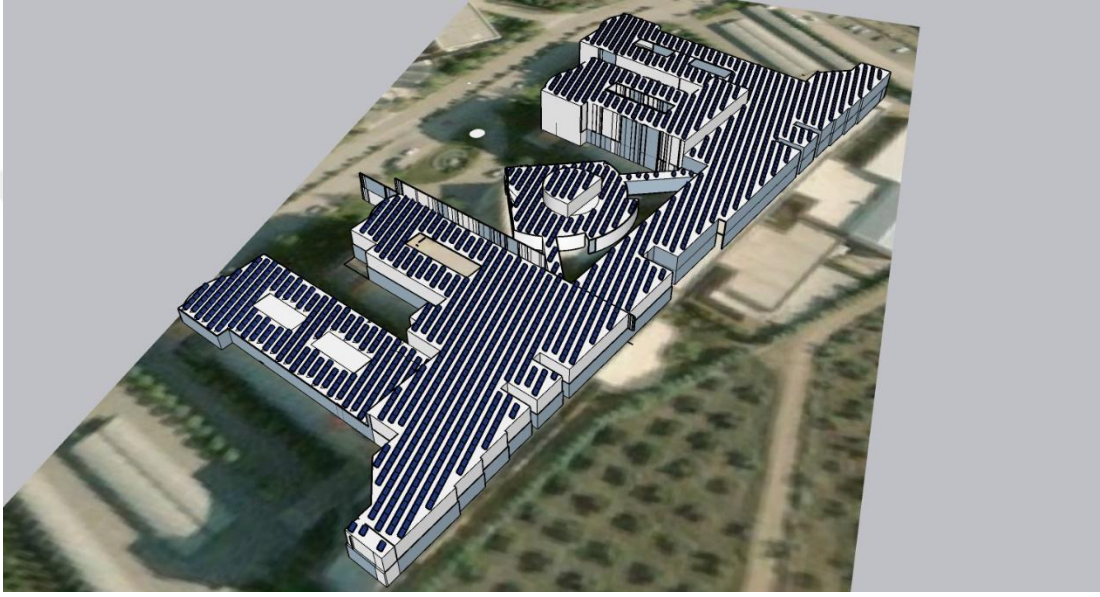


Şekil 3.48. Mühendislik Fakültesi Binası İzometrik Görünüm (OKÜ, 2023)

Fakülte binasının güneş paneli yerleşimini hızlı ve doğru bir biçimde yerleştirme yapılması için SketchUP (SketchUP, 2023) yazılımı üzerindeki Skelion (Skelion,

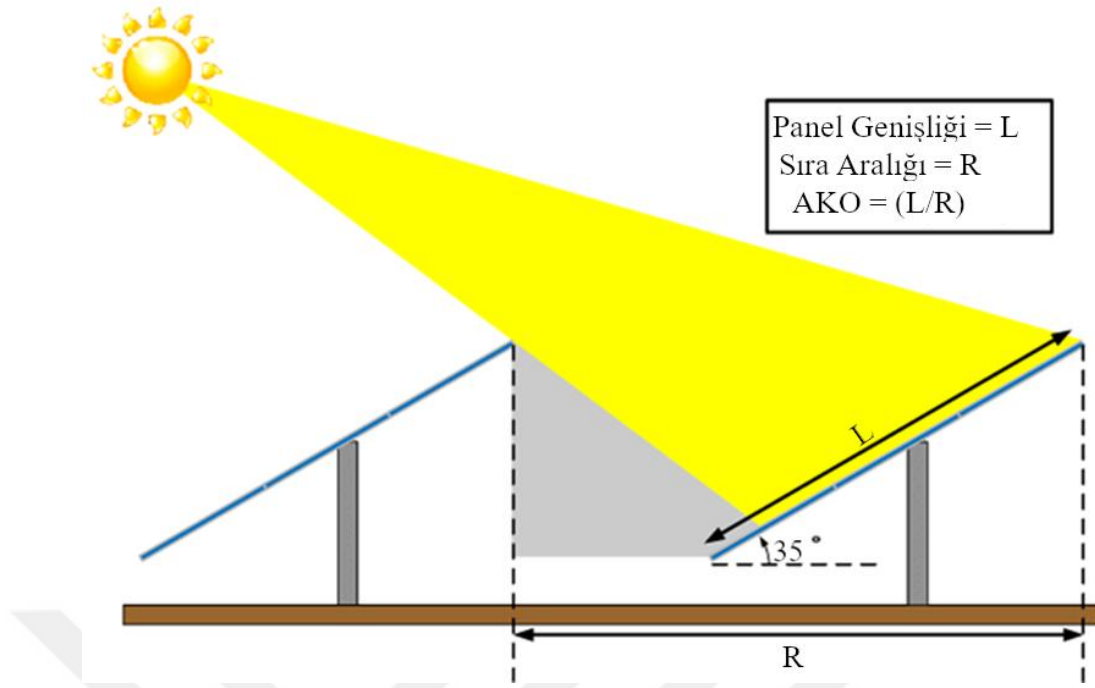
2023) eklentisi ile yapılmıştır. SketchUP yazılımı 3 boyutlu modelleme aracı işlevi görmektedir. Skelion, SketcUP üzerinde çalışan binalar ve GES'ler için tasarlanmış bir güneş paneli yerleşim ve hesaplama eklentisi görevini yerine getirmektedir.

Fakülte binası SketchUP yazılımı üzerinden 3 boyutlu modeli oluşturulmuş ve bu model üzerinde panel yerleşimi yapılmıştır. Şekil 3.49.'da görüldüğü gibi güneş panelleri yerleştirilmiştir.



Şekil 3.49. Fakülte Binası SketchUp Ortamında Güneş Paneli Yerleşimi

Güneş panellerinin yerleşiminde azimut açısı  $0^\circ$  (Güney Yönünde Paralel) ve Tilt açısı  $35,0^\circ$  olarak ayarlanmıştır. Paneller arası dikey mesafeler için belirlenen alan kaplama oranına (AKO) göre senaryolar oluşturulmuştur. AKO, panel genişliğinin sıra aralığına bölümü ile hesaplanan bir gösterge konumundadır. AKO hesabı Şekil 3.50.'de gösterilmiştir.



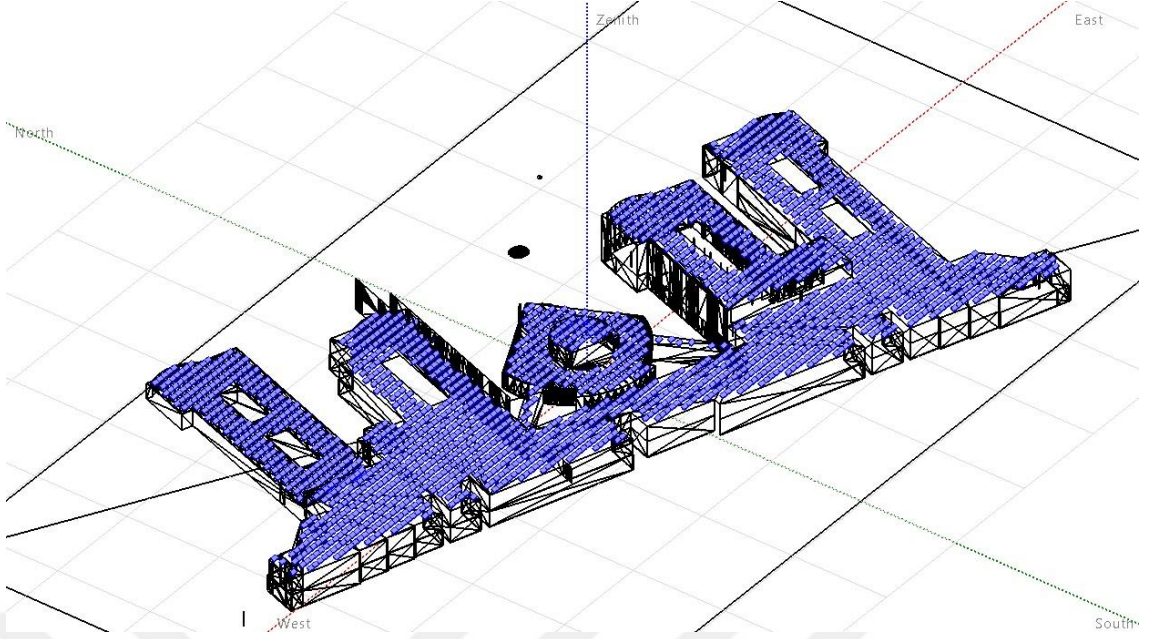
Şekil 3.50. AKO Hesabı Gösterimi (Deline, vd., 2014)

AKO değerlerine göre oluşturulmuş senaryolar Çizelge 3.10.'da gösterilmiştir. AKO aralığı %31'den %62'ye kadar artırılarak toplamda 7 senaryo oluşturulmuştur.

Çizelge 3.10. AKO Değerleri ve FV Panel Sayıları

AKO	FV Panel Sayısı	Sıra Aralığı(m)
%62	2718	1,66
%55	2503	1,81
%49	2245	1,99
%45	2038	2,21
%4	1824	2,49
%35	1579	2,84
%31	1360	3,32

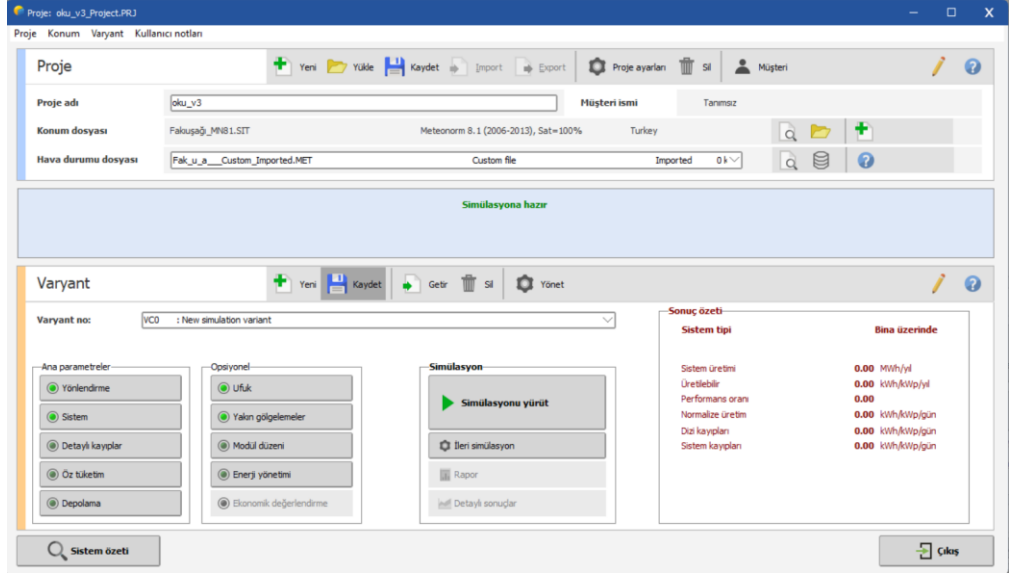
Güneş Panellerinin toplam elektrik üretiminin doğru bir biçimde hesaplanabilmesi için Pvsyst yazılımı kullanılmış ve bunun üzerinden simülasyonlar yapılmıştır. Pvsyst içerisinde panel yerleşimi Şekil 3.49.'daki 3 boyutlu modeli üzerinde gösterilmiştir. Bu 3 boyutlu model üzerinde gölgelenme hesabı yazılım üzerinden yapılmıştır. Bu gösterim Şekil 3.51.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.51. Fakülte Binası PVsyst Ortamında Güneş Paneli Yerleşimi

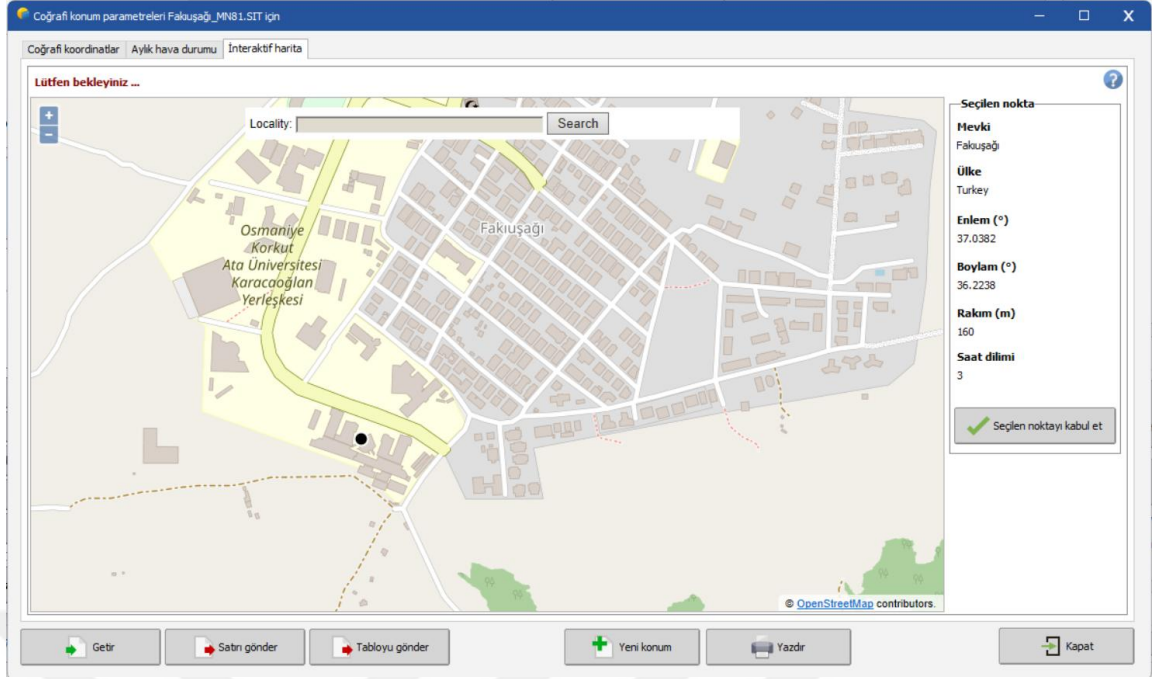
### 3.12.5. Güneş Enerji Simülasyonu

Fakülte binasının güneş paneli yerleşiminin 3 boyutlu modeli PVsyst ortamına aktarılmıştır. İçeri aktarılan 3 boyutlu model üzerinde PVsyst içerisinde güneş panellerinin azimut ve eğimleri doğru bir biçimde adreslenmiştir. Bunun için öncelikle “Şebekeye Bağlı” isimli boş bir şablon oluşturulmuştur. Bu şablonda oluşturulan projede, simülasyonda üretilen enerjinin ne kadarının kullanılacağını, arta kalan enerjinin ne kadarının şebekeye verileceğini ve tüketimin üretimden fazla olduğu durumlarda şebekeden ne kadar enerji alınacağı hesaplanabilmektedir. PVsyst üzerindeki proje penceresi Şekil 3.52.’de gösterilmektedir.



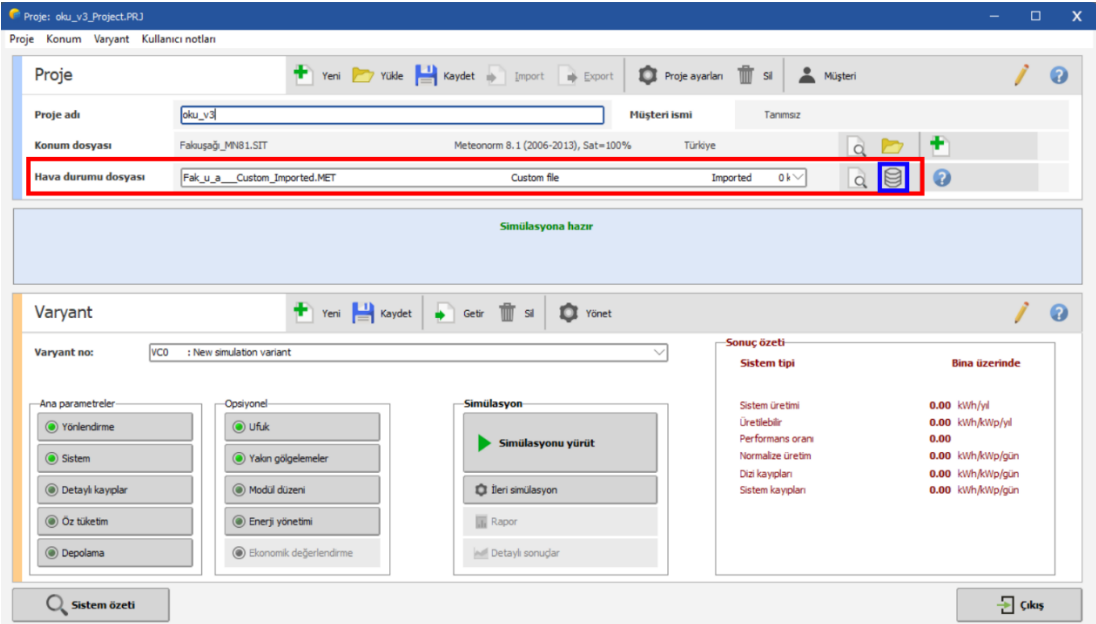
Şekil 3.52. PVsyst Proje Penceresi

Fakülte binası için yeni oluşturulan projede, pencere içerisinde” Proje Adı” için “oku\_v3” isimlendirmesi yapılmıştır. PVsyst içerisinde güneş panellerinin doğru bir enerji üretim simülasyonu yapılabilmesi için projenin konumu ve iklim verileri girilmiştir. Bunun için Fakülte binası Osmaniye ilinin Merkez ilçesindeki Fakuşağı semtinde bulunduğundan PVsyst üzerinde de bu konum girilmiştir. Google Maps üzerinden koordinat verileri alınmış ve PVsyst üzerinde girilerek konum doğruluğu teyit edilmiştir. Şekil 3.53.’de siyah nokta binanın konumunu göstermektedir.



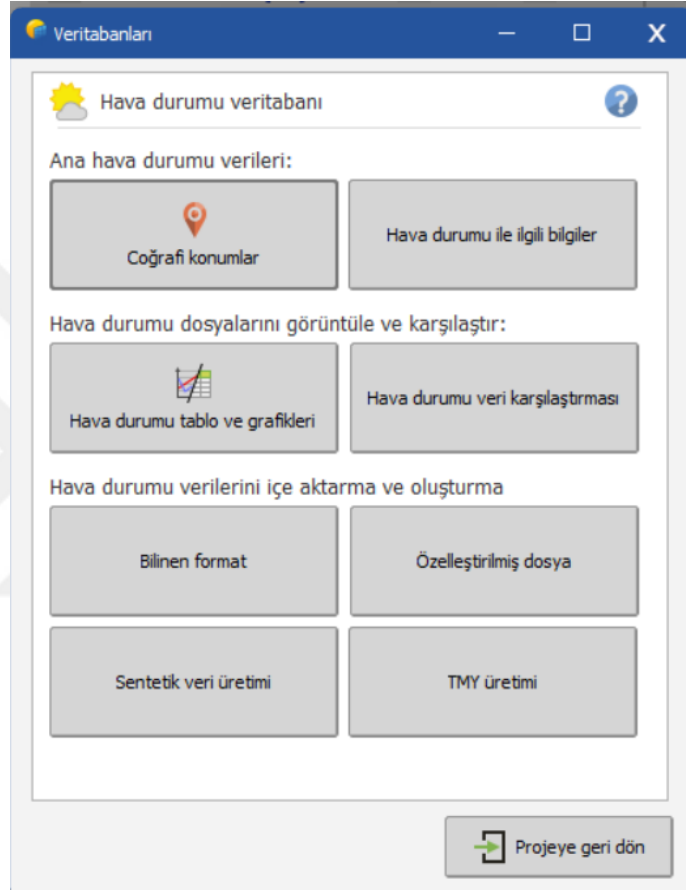
Şekil 3.53. Fakülte Binasının PVsyst İçerisindeki Konum Bilgileri

Bina konumu PVsyst üzerinde doğru bir biçimde girilmesinin ardından iklim verileri de eklenmesi gerekmektedir. İklim verilerinin eklenmesi için PVsyst içerisinde Hava Durumu Veri Tabanına iklim verileri eklenmesi hedeflenmiştir. Şekil 3.54.'de mavi kutu içerisinde Veri Tabanı simgesine tıklanılarak PVsyst'in iklim verilerinin olduğu havuza erişilmektedir.



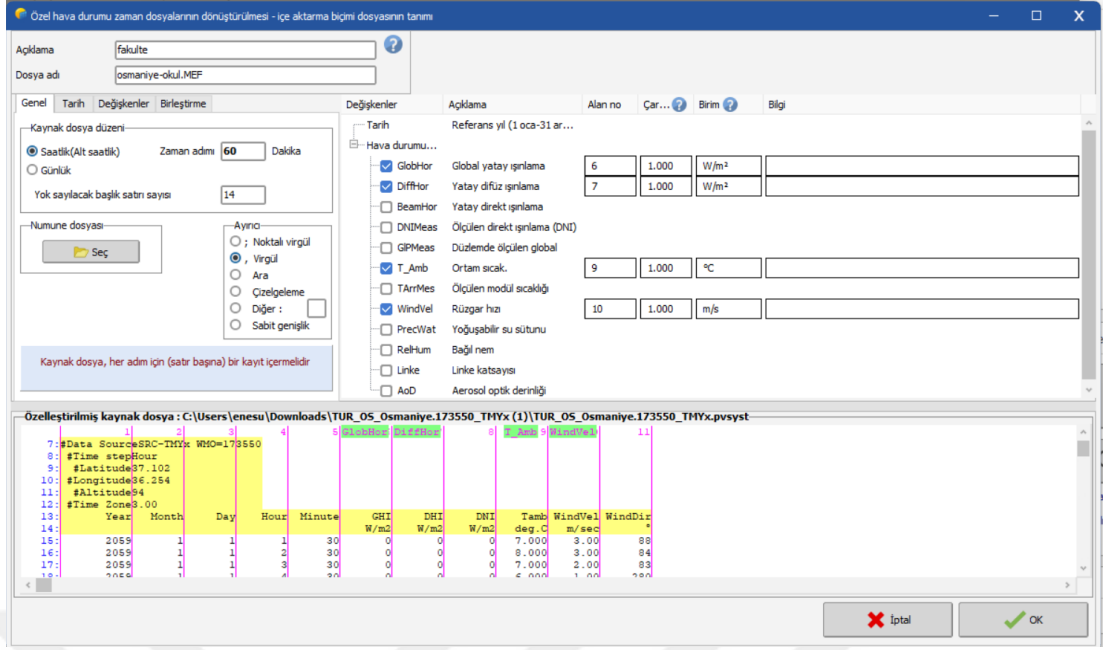
Şekil 3.54. PVsyst İklim Veri Tabanı

Veri tabanına eklenecek olan iklim verilerinin DesignBuilder içerisindeki iklim verileri ile uyumu için Şekil 3.55.'deki Özelleştirilmiş Dosya seçeneği seçilmiş ve buradan pvsyst Formatlı iklim verisinin düzenlenip PVsyst için uygun hale getirilmesi hedeflenmiştir. Bu dosya DesignBuilder içerisinde kullanılan EPW dosyasıyla aynı iklim verilerine sahiptir. Dolayısıyla hem DesignBuilder simülasyonu için kullanılan hem de PVsyst içerisinde kullanılan iklim verilerinin aynı olması sağlanmıştır.



Şekil 3.55. PVsyst İklim Veri Tabanı Seçim Penceresi

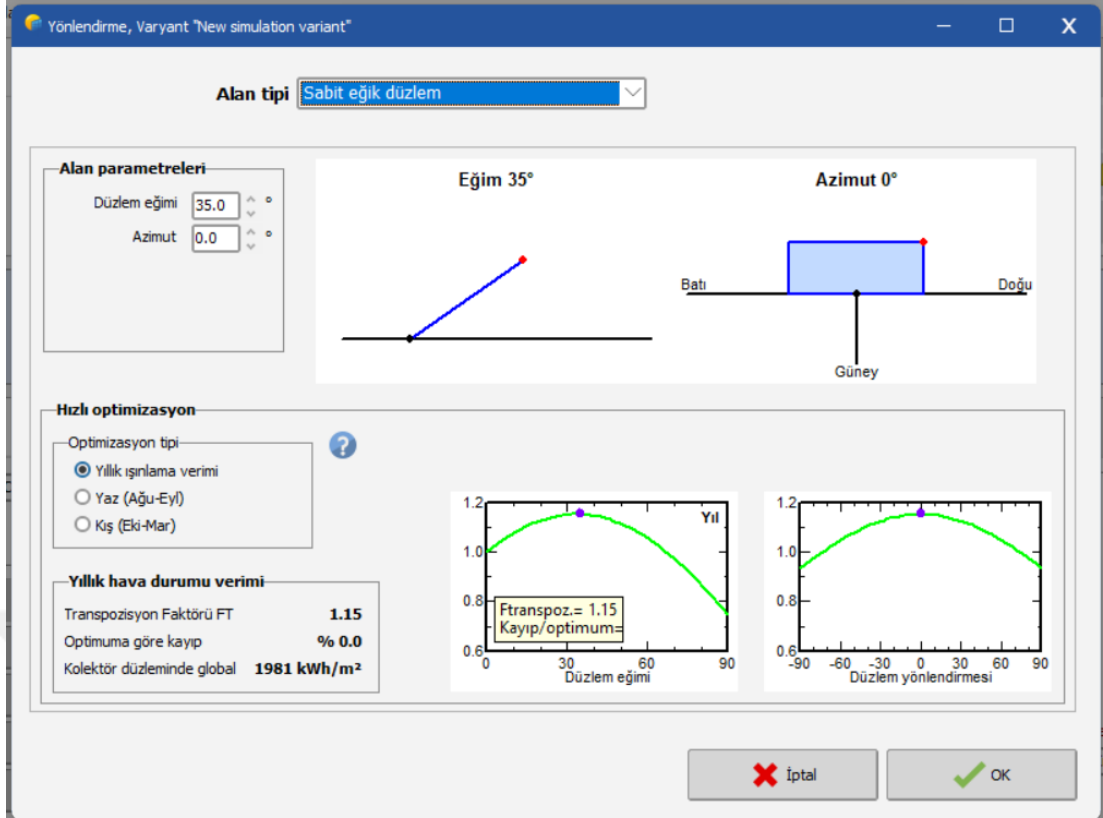
PVsyst içerisinde pvsyst formatlı iklim verisi düzenlenerek yazılımın algılayacağı şekilde veri dosyası içerisindeki başlıkların seçilmesi gerekmektedir. Bu sebeple dosya PVsyst içerisine .csv formatlı hava durumu verileri dosyası eklenmiş ve dosya içerisindeki kolon başlıkları eklenmiş ve PVsyst içerisinde adreslenmiştir. Şekil 3.56.'de de görüldüğü üzere Pvsyst yazılımının hesaplamalar için kullanacağı başlıklar burada veri dosyasında seçilmiş ve zaman formatı seçilmiştir.



Şekil 3.56. PVsyst İklim Verisi Tanımlama Penceresi

### 3.12.5.1. Yönlendirme

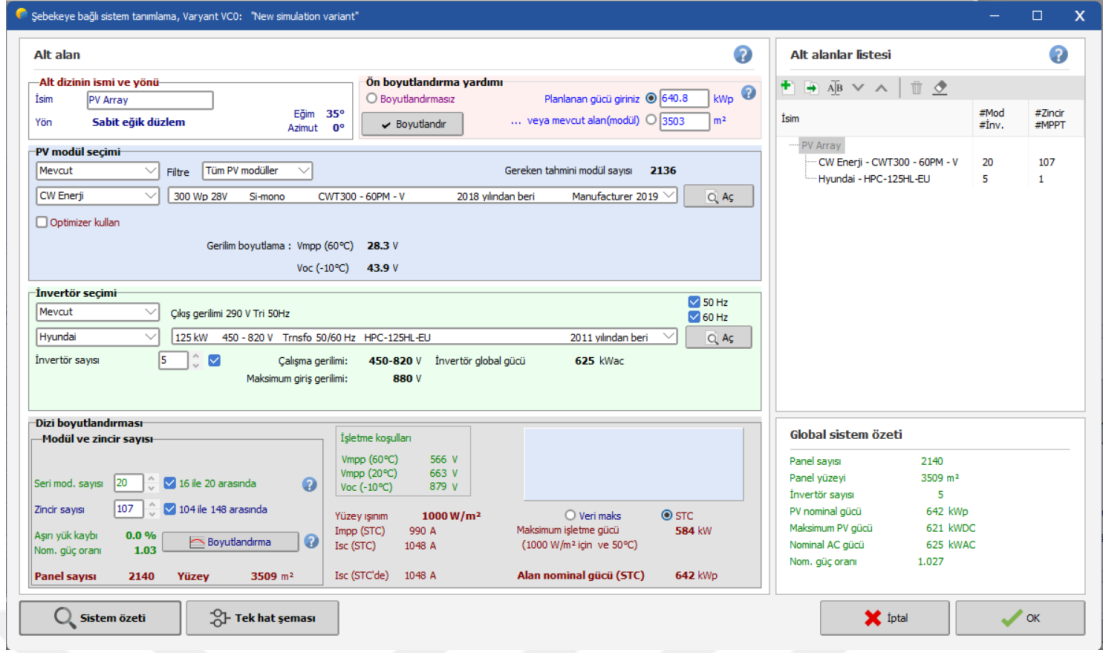
PVsyst içerisinde konum ve iklim verilerinin girilmesinin ardından güneş panellerinin Azimut ve Tilt açılarının girilmesi gerekmektedir. Bu sebeple PVsyst içerisinde Ana Parametreler altında yönlendirme başlığı altında veriler girilmiştir. Şekil 3.57.'de görüldüğü üzere Azimut açısı  $0^{\circ}$  ve Panel Tilt Açısı  $35^{\circ}$  olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.57. PVsyst Güneş Paneli Yönlendirmesi

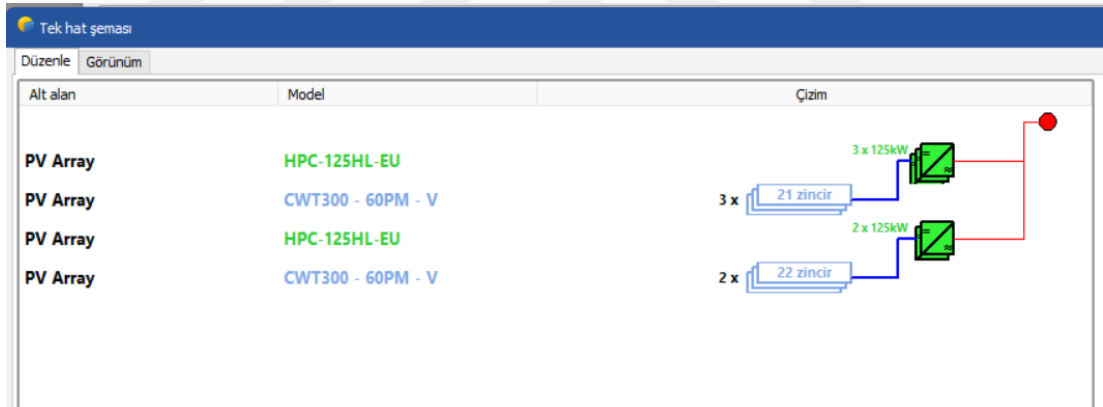
### 3.12.5.2. Sistem

PVsyst içerisinde Sistem sekmesi altında güneş panelleri marka, model, güç ve toplam üretim kapasitesi tanımlanmaktadır. Güneş panelleri DA elektrik üretmektedir. DA tip elektrik ev kullanımı için doğrudan uygun olmadığından bu elektrik tipi evlerde kullanılan AA tip elektriğe dönüştürülmelidir. Bu sebeple sistem içerisinde inverterin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Sistem sekmesi altında Hyundai marka 125kW HPC-125HL-EU model İnverter seçilmiştir. Sistemin inverter sayısı, güneş panellerinin seri ve paralel bağlantı sayıları PVsyst içerisinde boyutlandır fonksiyonu ile otomatik olarak seçilmiştir. Şekil 3.58.'de görüldüğü gibi inverter ve güneş panellerinin seri ve paralel miktarları boyutlandırılmıştır. Farklı senaryolar için farklı seri ve paralel konfigürasyonları oluşturulmuştur. Bu konfigürasyonlar PVsyst içerisinde tanımlanmıştır.



Şekil 3.58. PVsyst Sistem Penceresi

PVsyst üzerinde ayarlanmış olan Sistemin özeti Şekil 3.59.' de gösterilmektedir.

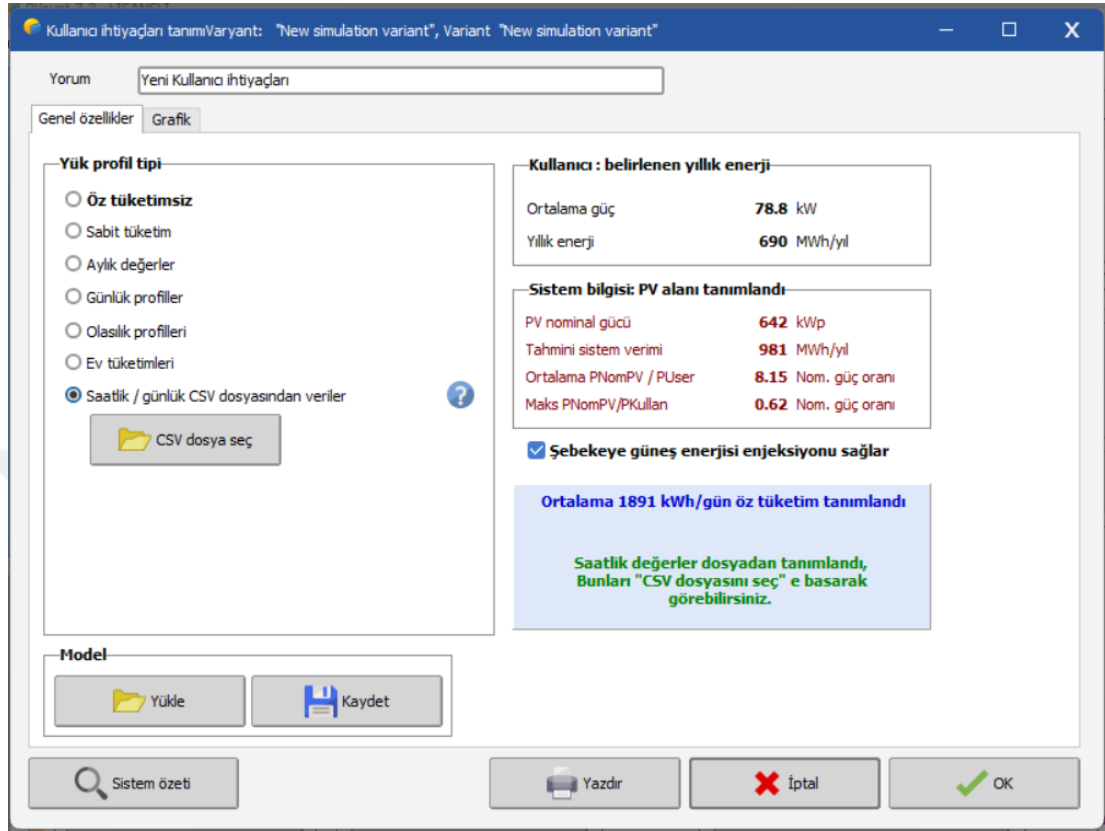


Şekil 3.59. PVsyst Sistem Tek Zincir Diyagramı

### 3.12.5.3. Öz Tüketim

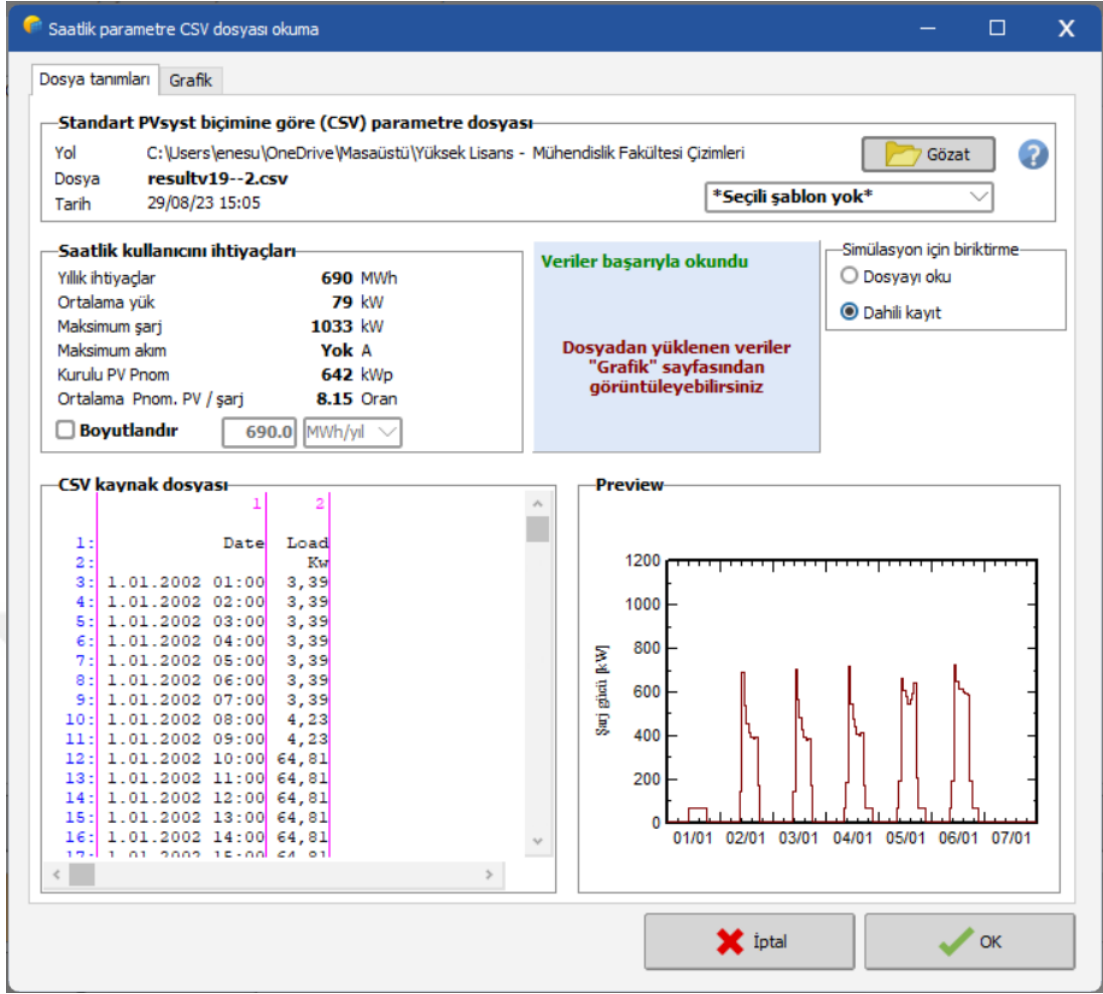
Yıllık toplam üretilen, tüketilen ve şebekeye verilen enerji miktarlarının doğru bir biçimde hesaplanması için DesignBuilder içerisindeki enerji tüketim değerlerinin PVsyst içerisinde düzgün bir biçimde tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışmada DesignBuilder içerisinde bulunan Toplam Elektrik Tüketimi saatlik formatta alınarak CSV dosyasına yazılmış ve bu dosya PVsyst içerisindeki Öz Tüketim başlığı altında

tanımlanmıştır. Şekil 3.60.' da görüldüğü gibi Saatlik/ günlük CSV dosyasından veriler butonu seçilip CSV dosyasının tanımlanması hedeflenmiştir.



Şekil 3.60. PVsyst Öz Tüketim Penceresi

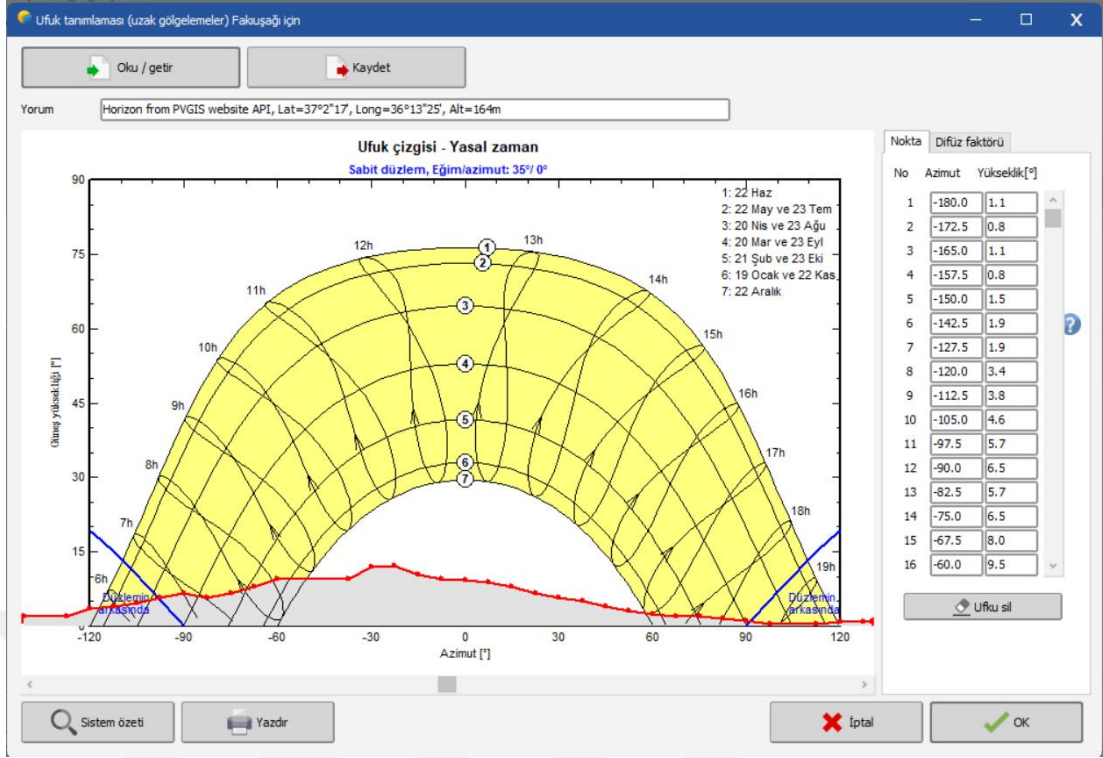
CSV dosya seç opsiyonu seçilmesinin ardından Şekil 3.61.'de pencere açılmakta ve CSV dosyası buradan tanımlanmaktadır. Burada yıllık toplam tüketim ve saatlik tüketim miktarları DesignBuilder'dan alınan veriler ile örtüşüp örtüşmediği kontrol edilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucu verilerin doğru olduğu saptanmıştır.



Şekil 3.61. PVsyst İçerisinde Saattik Parametre Okuma

### 3.12.5.4. Ufuk

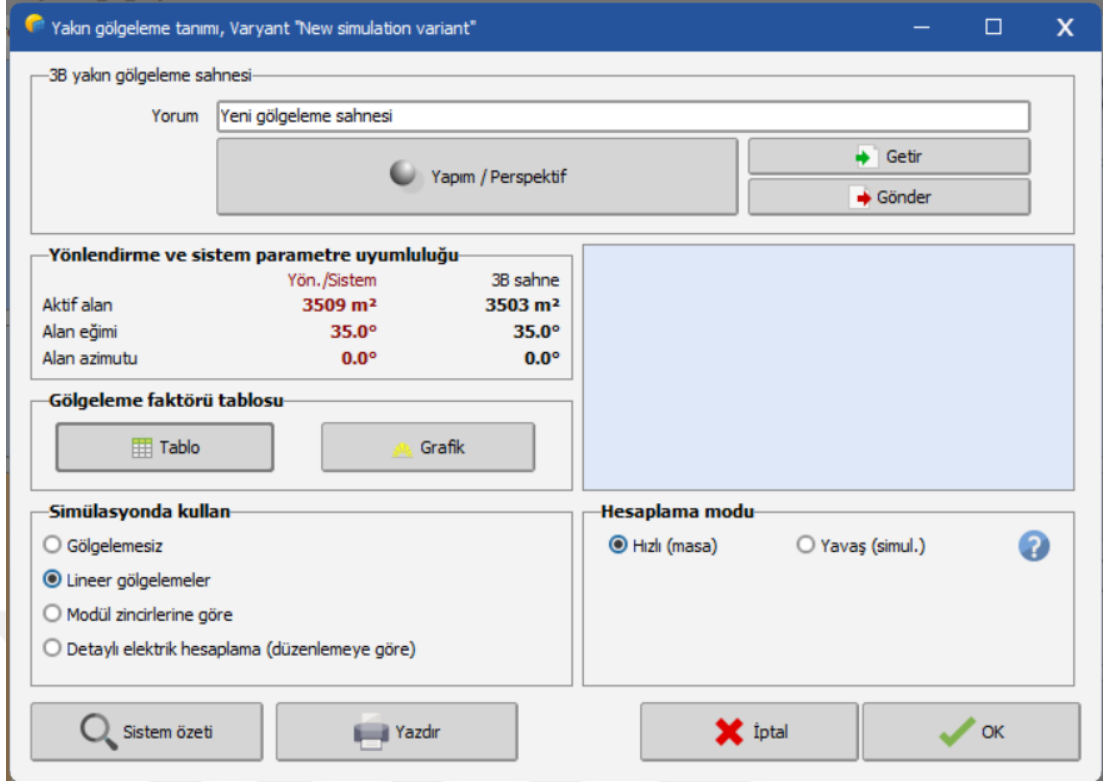
PVsyst altında bulunan Ufuk sekmesi, binanın bulunduğu konuma göre yıl içerisindeki gölgelenmeyi temsil etmektedir. Ufuk parametreleri PVsyst içerisinde bulunan PVGIS'den Ufuk getir opsiyonu seçilerek hazır bir biçimde alınmış ve kullanılmıştır. Şekil 3.62.'de Ufuk durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.62. PVsyst programında Ufuk

### 3.12.5.5. Yakın Gölgelemeler

Yakın gölgelemeler sekmesi altında binanın sahip olduğu form vasıtasıyla güneş panellerinin maruz kalacağı gölgelenmeler tanımlanmaktadır. Bunun için binanın ve güneş panellerinin bulunduğu 3 boyutlu modele ihtiyaç duyulmaktadır. Bu model ile ilgili bilgiler 3.12.4. Fakülte Binası Güneş Paneli Yerleşimi başlığı altında detaylı olarak açıklanmıştır.

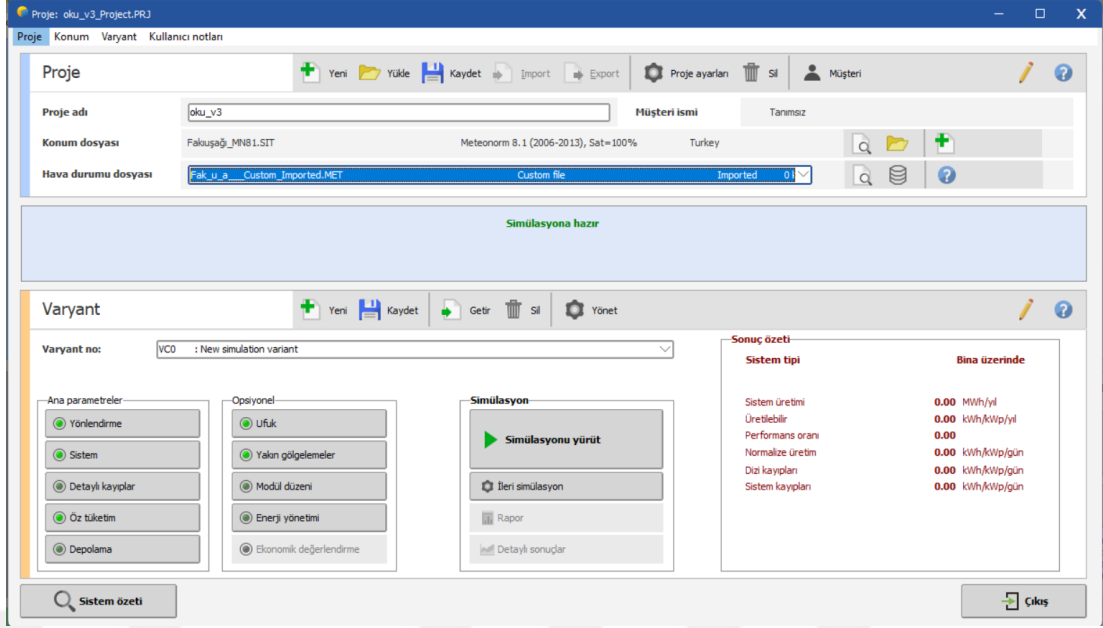


Şekil 3.63. PVsyst Yakın Gölgelemeler

Şekil 3.63.' de görülen Yapım/Perspektif başlığı altında 3 boyutlu model tanımlanması yapılmaktadır. Tablo başlığı altında ise simülasyon metodu ile hesaplama yapılarak gölgelemeler tablo formatında kaydedilmektedir.

### 3.12.5.6. Simülasyon

Son aşama olan Simülasyon ile tanımlanmış parametre ve verilerin ışığında PVsyst enerji üretim, tüketim ve şebekeye gönderim hesaplamalarını yapmaktadır. Şekil 3.64' de görüldüğü üzere açık yeşil renkli olan kısımlar yazılım içerisinde tanımlanmış olan sekmeleri, koyu yeşil olan kısımlar ise tanımlanmamış kısımları temsil etmektedir. Tanımlamaların yapılmasının ardından Simülasyonu Yürüt butonuna tıklanarak simülasyon çalıştırılmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir.



Şekil 3.64. PVsyst Parametreleri Tanımlanmış Proje Penceresi

### 3.13. Enerji Kullanım Yoğunluğu (EKY)

Enerji kullanım yoğunluğu ( $\text{kWh/m}^2$ ), binanın şartlandırılmış zemin alanı başına tükettiği enerji miktarını temsil eden önemli bir performans göstergesi konumundadır (Andrews ve Kroghmann, 2009). Bu değer, binanın enerji verimliliğinin bir ölçüsünü göstermektedir. Daha düşük bir değer, koşullandırılmış zemin alanı birimi başına daha düşük enerji tüketimini gösterir; bu da genellikle daha verimli bir bina anlamına gelir. Analizden elde edilen Koşullandırılmış Bina Alanı Başına Enerji ( $\text{kWh/m}^2$ ) değeri, binanın enerji performansının değerlendirilmesi ve bunun ilgili enerji performansı standartları veya kıyaslama noktalarıyla karşılaştırılması için bir kıyaslama görevi görebilmektedir (Yang ve Choi, 2015). Bu gösterge denklem (3.10) ile hesaplanabilmektedir (Abidin, vd., 2019).

$$EKY = \frac{\text{Total Kullanılan Enerji}}{\text{Toplam Şartlandırılmış Alan}} \text{ kWh/m}^2/\text{year} \quad (3.10)$$

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada fakülte binasının DesignBuilder arayüzü ile enerji modeli oluşturulup analiz edilmiştir. Ardından fakülte binasının çatı kısmına güneş paneli yerleştirilerek enerji dengesi analizi yapılmıştır. Burada çıkan bulgular bu başlık altında açıklanacaktır. Bulgular elde edilirken DesignBuilder ve PVsyst yazılımlarının çıktıları ele alınmıştır. Yazılımlardan elde edilen çıktılar değerlendirilmiş ve bu çalışma kapsamına giren bulgular alınmıştır.

### 4.1. Fakülte Binası Enerji Analizi

Fakülte binası enerji modelleme çalışması malzeme ve yöntem başlığı altında detaylıca açıklanmış ve gösterilmiştir. Fakülte binası yaz aylarında eğitim işlevini yerine getirmemektedir. Bu sebeple analiz edilirken bu husus da hesaba katılmıştır. DesignBuilder içerisinde yaz aylarında sınıfların kullanımı, ısıtması, soğutması ve ekipman kullanımları kapalı konumuna getirilmiştir. Yaz aylarında personeller yıllık izinlerini kullandığı için yaz aylarında ofislerin kullanımı %40'a düşürülmüştür.

Fakülte binası kullanım bakımından kompleks bir eğitim binası olduğu için analiz edilmesi esnasında doğru bir yaklaşım seçilmesine dikkat edilmiştir. Fakülte binasında HVAC sistemi DesignBuilder içerisinde modellenmiş ve tüketimler elde edilmiştir. Fakülte binasının yıllık enerji talebi 626656 kWh'dir. Ayrıca binanın m<sup>2</sup> başına düşen enerji yoğunluğu kaynak enerji biriminde 29,41 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Bu dönüşüm Çevre Bakanlığının Birincil Enerji Dönüşüm katsayısı referans alınarak oluşturulmuştur (CSB, 2022). Bu enerji talebinin kalemleri Çizelge 4.1.' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Fakülte Binası Yıllık Enerji Talep Tablosu

Enerji Talebi Kalemi	Yıllık Enerji Talebi (kWh)
Ekipman Elektrik Kullanımı	235089
Aydınlatma	68901
Isınma	142563
Soğutma	179726

Fakülte binasının enerji talebinin yaklaşık %38'ini sınıflarda ve ofislerde kullanılan ekipmanlar oluşturmaktadır. Yaklaşık %11'ini Aydınlatma, %22'sini Isınma ve %29'unu ise Soğutma talebi oluşturmaktadır. Burada ısınma ihtiyacının az olmasının sebebi Fakülte binanın bulunduğu iklim koşullarından kaynaklandığı açıkça görülmektedir. Fakülte binası eğitim amacıyla kullanılmakta ve eğitim için günün teknoloji şartlarını yerine getirmektedir. Bu durum binanın elektrik sarfiyatının birincil kalemini ekipman elektrik kullanımını yapmaktadır. Sınıflarda ve ofislerde kullanılan bilgisayar ve ofis ekipmanları bu kalemin en büyük yapıtaşlarıdır.

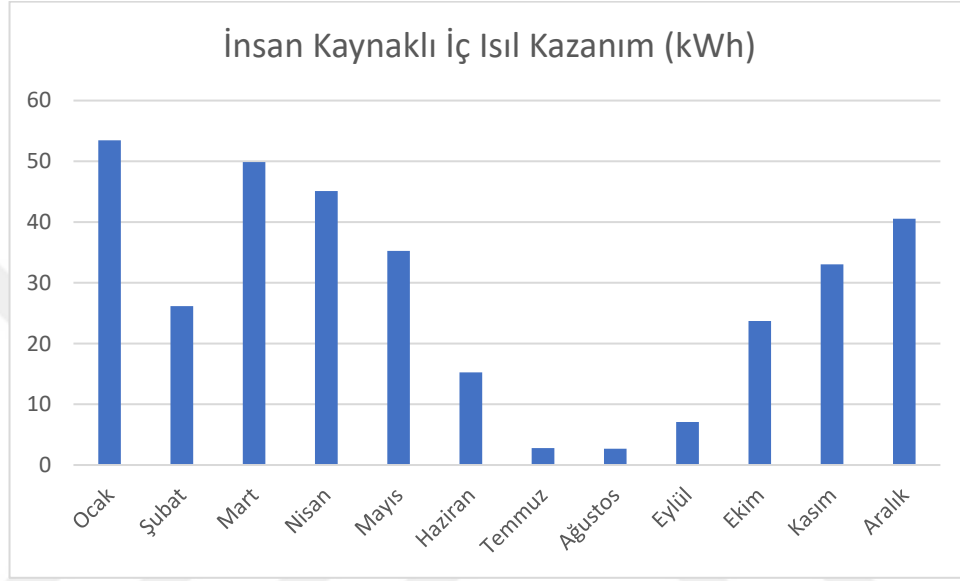
Binada kabuk elemanlarından ve infiltrasyon kaynaklı bir ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu ısı transferleri elemanlarıyla birlikte Çizelge 4.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Bina Isı Kayıp Kazanç Çizelgesi

Isı Kayıp ve Kazanç Tipi	Kazanç	Kayıp
Pencere	235089,946	-682538,06
İnfiltrasyon	72586,617	-1208618,73
Opak Kabuk Elemanları	86783,483	-1067587,71

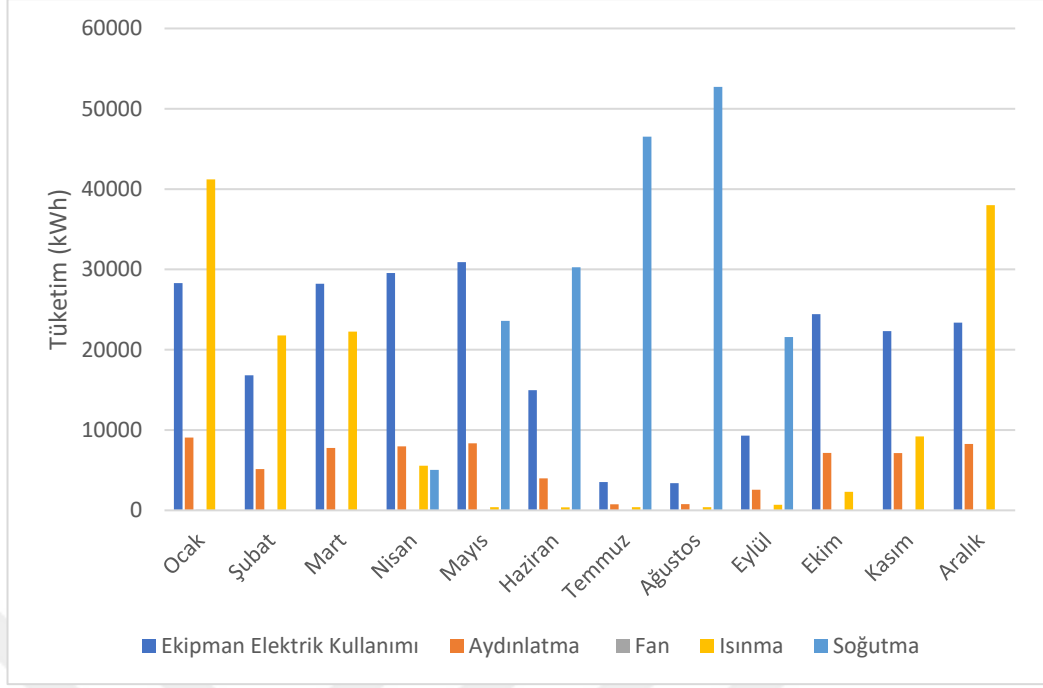
Fakülte binasının geniş güney cephesi yüksek güneş kazanımı sağlamaktadır. Bu kazanç kış aylarında ısınma ihtiyacını düşürürken yaz aylarında soğutma ihtiyacını arttırmaktadır. Eğitim sağlanan sınıflar binanın güney cephesinde bulunmaktadır ve bu sınıflar yaz aylarında kullanılmadığından soğutma ihtiyacı normal koşullara göre çok daha düşüktür.

Eğitim verilmemesi nedeni ile yaz aylarında binayı kullanan insan sayısında önemli miktarda düşme yaşanmaktadır. Bu sebeple insan kaynaklı iç ısı kazanım enerji miktarı da dolayısıyla ciddi miktarda düşmektedir. Bu düşüş yaz aylarındaki soğutma ihtiyacını büyük miktarda düşürmektedir. Şekil 4.1.'de görüldüğü üzere yaz aylarında insan kaynaklı iç ısı kazanım ciddi miktarda düşmekte ve binanın soğutma ihtiyacını da düşürmektedir.



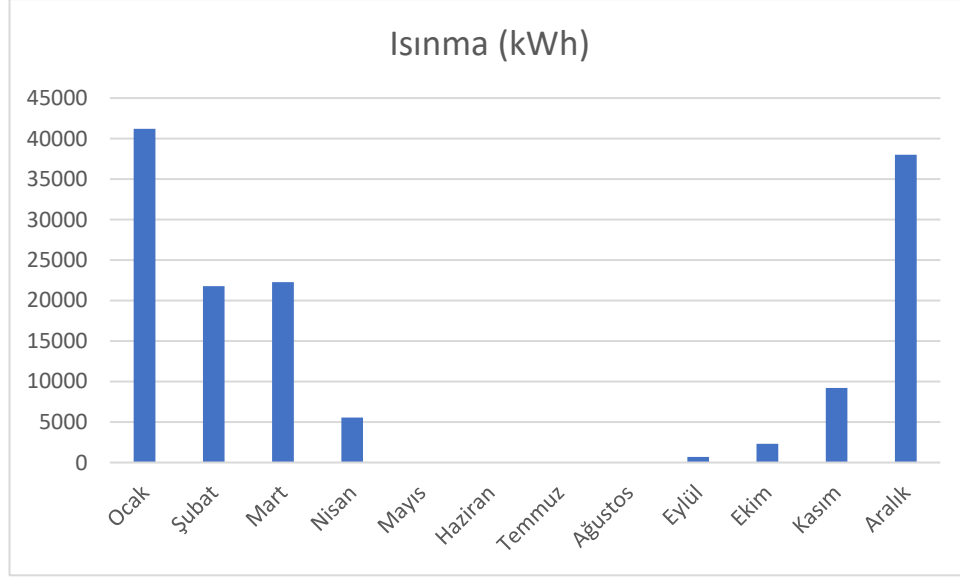
Şekil 4.1. İnsan Kaynaklı İç Isıl Kazanım (kWh)

Fakülte binasının enerji ihtiyaçları aylık olarak incelendiğinde yine yaz aylarındaki dramatik düşüş göze çarpmaktadır. Bu değerler Şekil 4.2.'de görülmektedir. Binanın bu şekilde kullanımı enerji ihtiyacını ciddi oranda düşürmekte ve m<sup>2</sup> başına düşen enerji talep yoğunluğunu da gözle görülür miktarda etkilemektedir.



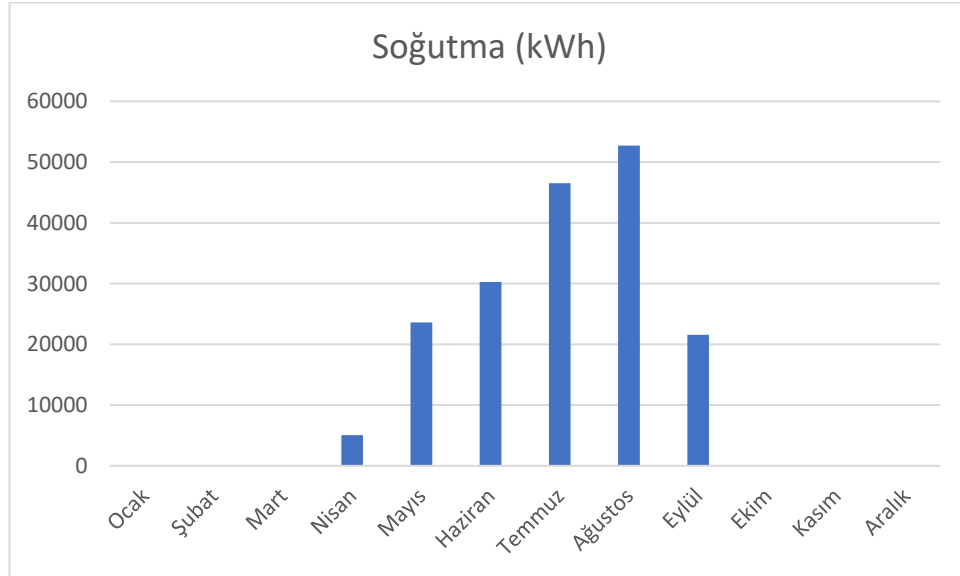
Şekil 4.2. Fakülte Binası Aylık Enerji Talep

Fakülte binası eğitim öğretim dönemi içerisinde yaz aylarına nazaran çok daha aktif bir biçimde kullanılmaktadır. Bu kullanım enerji talebine de doğrudan etki ettiğinden, enerji talepleri her ay için ayrı değerlendirilmelidir. Bu sebeple Bina Isıtma Talebi Şekil 4.3.'de aylık olarak gösterilmiştir. Osmaniye ilinin sahip olduğu iklim dolayısıyla, kış aylarında ve ek olarak mart ayında binanın ısıtma talebi artmaktadır. Şekil 4.3.'de de bu söylem gerçekleşmektedir.



Şekil 4.3. Fakülte Binası Aylık Isıtma Enerji Talebi

Fakülte binası soğutma talebi nisan ayından başlayarak pik noktası olan ağustos ayına kadar yükselmekte ve havaların serinlemeye başladığı eylül ayında düşmektedir. Bu talep yönelimi birçok Akdeniz ikliminde bulunan binalar için de benzerlik göstermektedir. Fakülte binasının tanımlanan değerlere göre elde edilen tüketim grafiği Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Fakülte Binası Aylık Soğutma Talebi

## 4.2. İklim Verisi Analizi

İklim verileri, bir binanın enerji tüketiminde en önemli kalemlerden biri olarak değerlendirilir. Bu değerleri binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma tip enerji taleplerine doğrudan etki etmektedir. Bu yüzden iklim verilerinin doğru bir biçimde analizi bir zaruriyettir.

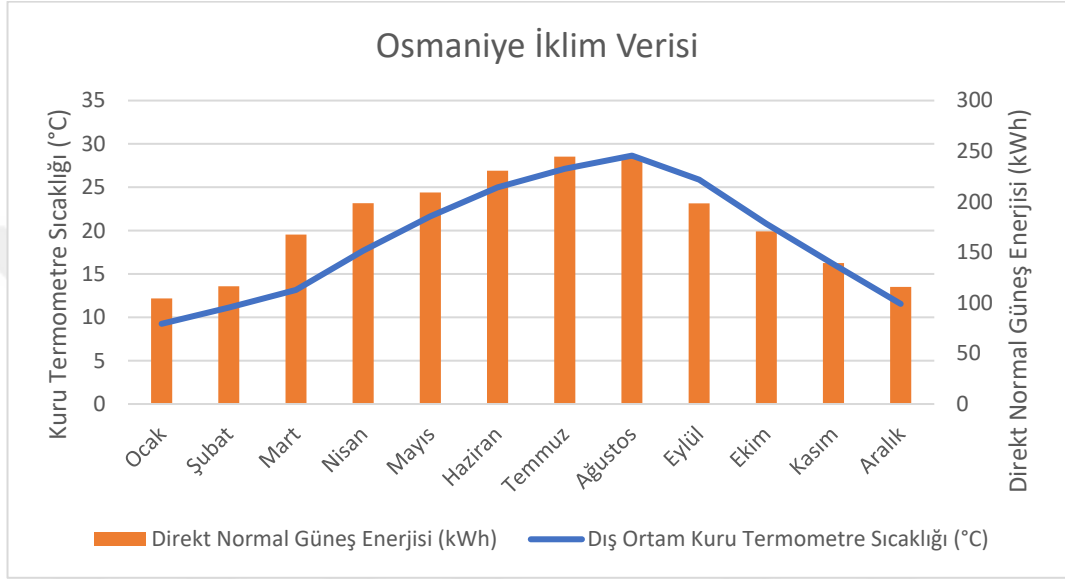
İklim verilerinde binaların ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını karşılaştırmak ve öngörebilmek için IGD ve SGD kavramı ortaya çıkarılmıştır. Bu değerler bir binanın bulunduğu konuma göre ne kadar enerji tüketebileceğini öngörmeye kullanılan gösterge konumundadır. Ayrıca benzer binalarda da karşılaştırma aracı olarak kullanılmaktadır. MGM tarafından 2022 yılı Osmaniye ili için hazırlanmış Dereceler Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Osmaniye İli Aylık Isıtma ve Soğutma Gün Dereceleri (MGM 2022)

Isıtma ve Soğutma Gün Dereceleri (IGD vd SGD)	IGD	SGD
Ocak	299	
Şubat	182	
Mart	258	
Nisan	13	9
Mayıs		28
Haziran		103
Temmuz		195
Ağustos		214
Eylül		122
Ekim		29
Kasım	19	
Aralık	151	
Toplam	922	700

Osmaniye ili Akdeniz ikliminde ve ılıman hava koşuluna sahip olduğundan kış aylarında çok fazla ısınma ihtiyacı oluşmamaktadır.

Fakülte binası için elde edilen EnergyPlus İklim Verileri. .EPW formatla iklim verisi dosyasından alınmış ve değerlendirilmek üzere görselleştirilmiştir. Binanın enerji talebini direkt etkileyen dış ortam kuru termometre sıcaklığı ve direkt güneş ışınımı kaynaklı enerji kazanımı görselleştirilmiştir. Bu değerler binanın ısıl davranışını analiz etmekte yardımcı olmaktadır. İki değer de Şekil 4.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Osmaniye İli Aylık Sıcaklık ve Direkt Normal Güneş Enerjisi Kazanım Ortalamaları

### 4.3. Güneş Paneli Elektrik Üretim Analizi

Elektrik üretimi için oluşturulan senaryolar farklı üretim gücüne sahiptir. Bu senaryolar aylık olarak incelenmesi gerekmektedir. Değerlerin incelenmesi için Simülasyon sonucunda oluşan değerler PVsyst üzerinden alınmış, çizelge ve grafik formunda gösterilmiştir. Yıllık toplam üretilen elektrik miktarları Çizelge 4.4.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. AKO ve Yıllık Elektrik Üretim Değerleri

AKO	Elektrik Üretimi (kWh)
%62	1,329,297
%55	1,233,414
%49	1,112,401
%45	1,016,088
%40	911,658
%35	789,600
%31	682,318

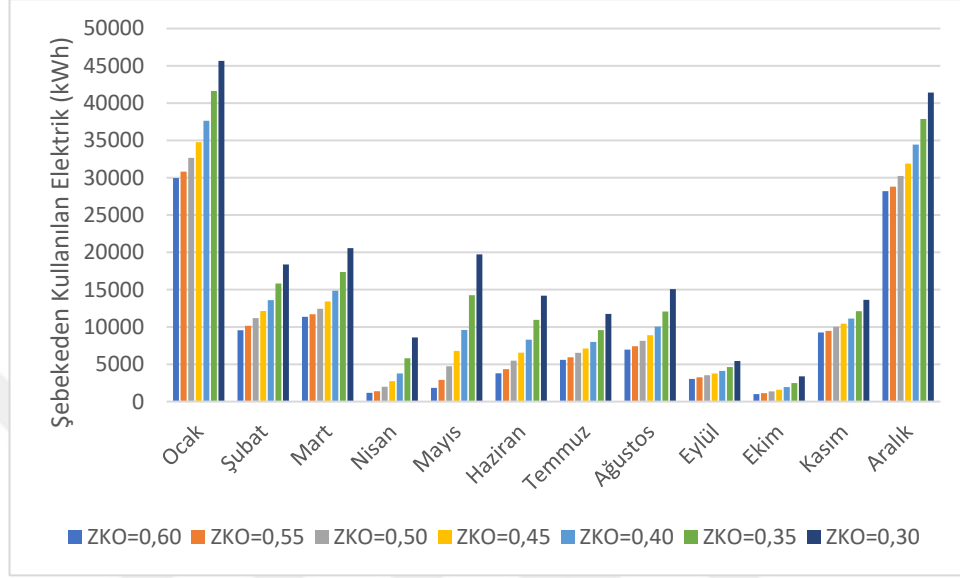
PVsyst güneş panellerinin elektrik üretimi esnasında oluşan kayıpları da doğru bir biçimde hesaplayabilmektedir. Bu sebeple üretimi etkileyen faktörler incelenmeli ve hesaba katılmalıdır. Dolayısıyla göze en çok çarpan kayıplar analiz edilmiştir. Bunlar, uzak gölgeleme, yakın gölgeleme ve en çok kayba sebebiyet veren sıcaklık sebebiyle olan elektrik kayıpları oluşturmaktadır. Uzak gölgelenmeler Osmaniye ilinin sahip olduğu ufuk açısı ve konumundan dolayı meydana gelen, yakın gölgelenmeler, binanın çatı kısmında bulunan ve güneş panellerinin üzerine düşen gölgelenme sebebi ile olan kayıpları temsil etmektedir. Bazı tarihlerde yüksek katlı bloklar düşük katlı blokların üzerinde bulunan güneş panellerinin üzerine gölge düşürmekte ve elektrik üretim kaybına yol açmaktadır.

Sıcaklık nedeniyle olan kayıplar tamamen iklim koşulları sebep olmaktadır. Yüksek sıcaklıklara sahip olan yaz ayları ne yazık ki güneş panellerinde verim düşüşüne neden olmaktadır.

#### 4.4. Güneş Enerjisi Elektrik Denge Analizi

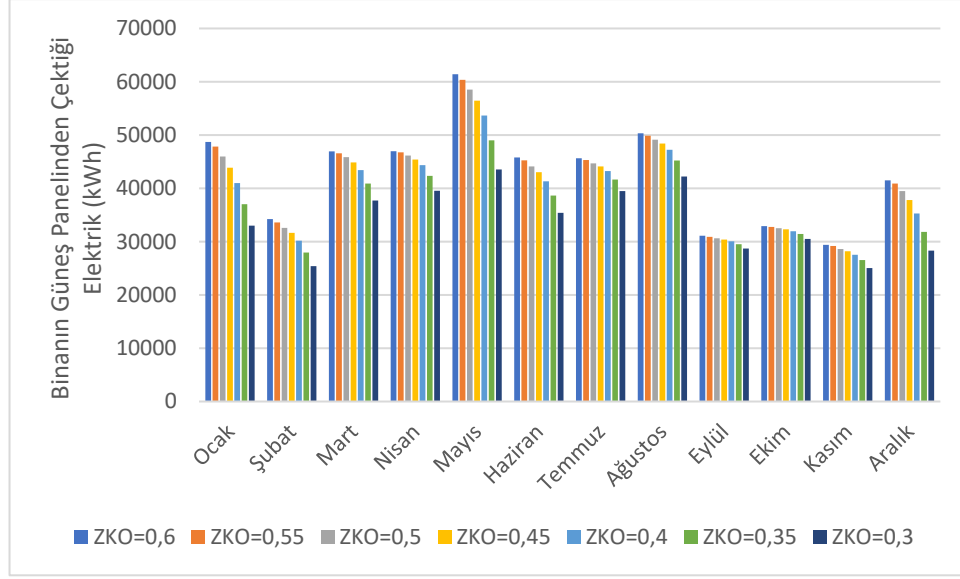
Yıllık üretilen elektriğin analizinin yanı sıra tüketilen elektriğin de doğru değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple üretilen ve tüketilen enerji miktarının günlük ve saatlik olarak incelenmesi ve değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Senaryolar sonunda elde edilen şebekeye sağlanan elektrik, binanın güneş panelinden elde ettiği elektrik ve binanın şebekeden çektiği elektrik miktarları bu başlık altında değerlendirilecektir.

Güneş panelleri yıl boyunca her saat binanın elektrik ihtiyacını karşılayamamaktadır. Bu durumda bina, şebekeden elektrik alma ihtiyacı duymaktadır. AKO oranlarına göre elde edilmiş şebekeden alınan elektrik miktarları Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.



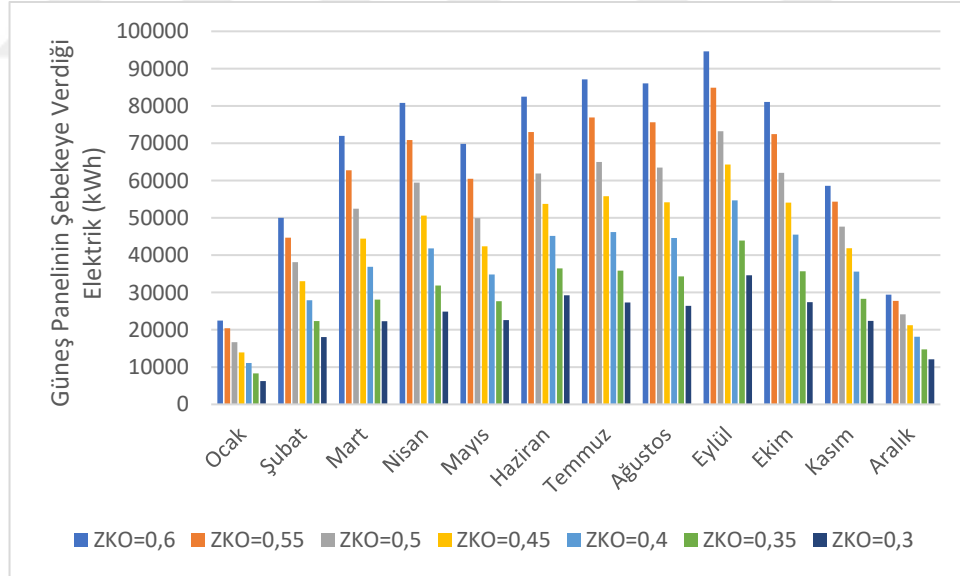
Şekil 4.6. AKO Değerleri ve Binanın Şebekeden Çektiği Elektrik Miktarları (kWh)

AKO değerlerine göre fakülte binasının güneş panellerinden çektiği enerji miktarları Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. AKO Değerlerine Göre Fakülte Binasının Güneş Panellerinden Çektiği Enerji Miktarları (kWh)

Fakülte binasının kullanmadığı ve şebekeye verilen enerji miktarları AKO değerlerine göre Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. AKO Değerlerine Göre Güneş Panellerinin Şebekeye Verdiği Elektrik Miktarları (kWh)

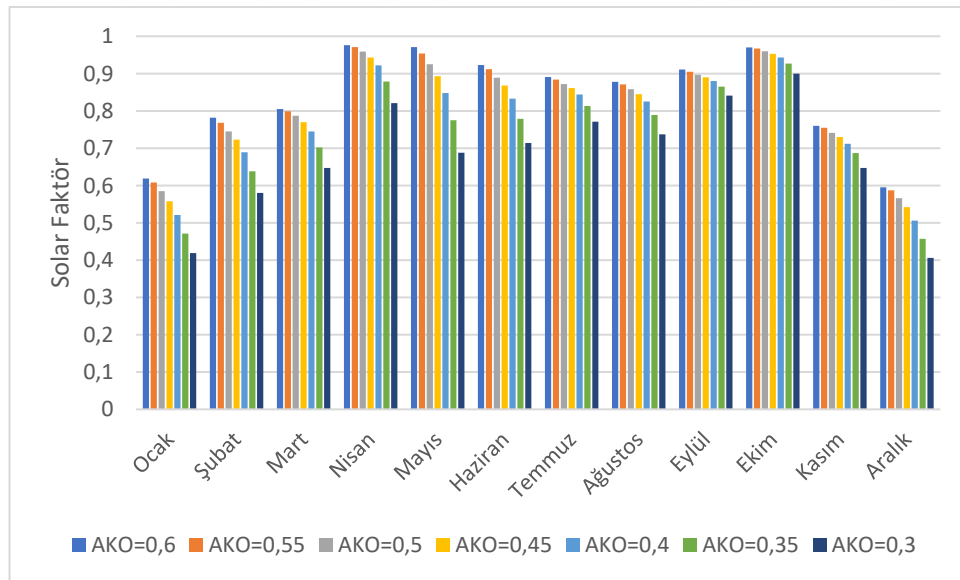
Şekil 4.6.'da görüldüğü üzere binanın şebekeden çektiği enerji miktarı AKO değeri arttıkça düşmektedir. Bu durum AKO değeri yüksek olan senaryolarda binanın şebekeye

bağlılığını düşürmektedir. Çekilen elektrik miktarı kış aylarına nazaran yaz aylarına gittikçe de düşmektedir.

Şekil 4.7. incelendiğinde görüldüğü üzere yüksek AKO değerlerinde bina güneş panellerinden daha fazla yararlanmaktadır. Yüksek AKO değerlerinde fakülteye sağlanan enerji daha fazladır. Ayrıca ılıman aylarda fakülte binasının güneş paneline olan ihtiyacı düşmektedir.

Şekil 4.8. incelendiğinde değerlendirilmek için ele alındığında AKO değeri arttıkça güneş paneli sistemi şebekeye daha fazla enerji sağlamaktadır. Bu durum yıllık denge durumuna da katkı sağlamaktadır. Binanın ılıman aylarda daha az enerji ihtiyacı olduğu için şebekeye daha fazla elektrik verilebilmektedir.

Güneş enerjisinden yararlanma oranı (Solar Faktör-SF) indikatörü binanın elektrik tüketiminin ne kadarının güneş panellerince sağlandığını belirten bir gösterge konumundadır. Bu değer arttıkça güneş panelleri binanın enerji ihtiyacını o kadar sağlayabilmektedir. SF değerleri aylık olarak Şekil 4.9.'da verilmiştir.



Şekil 4.9. AKO Değerlerine Göre SF Oranları

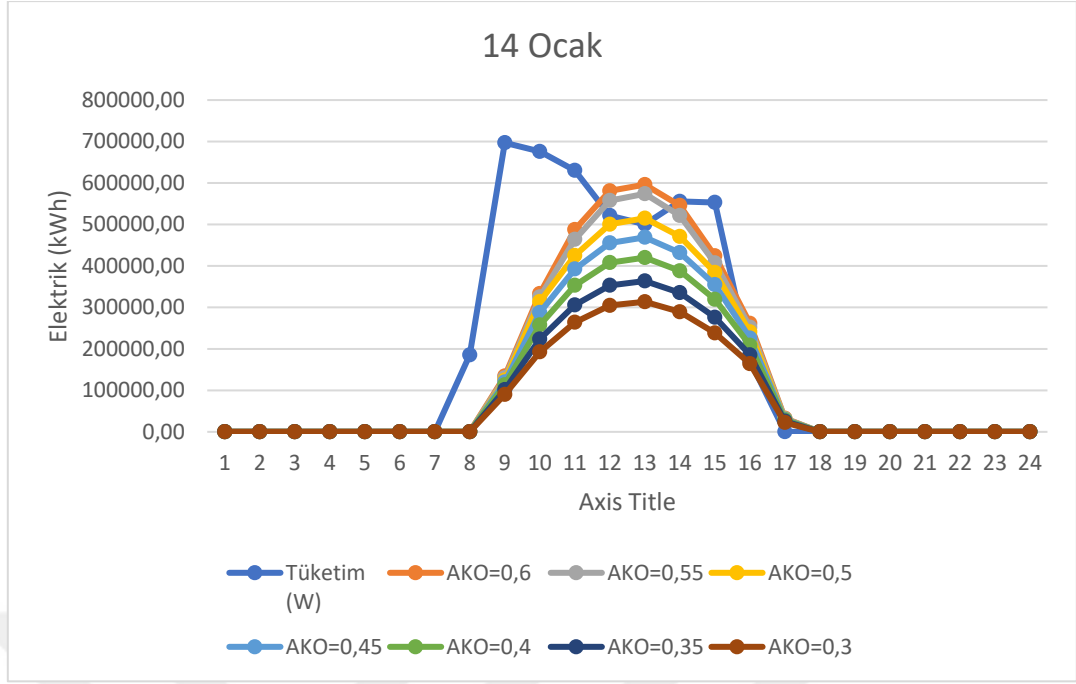
Şekil 4.9.'da görüldüğü üzere AKO değeri arttıkça SF oranları da artmaktadır. Dolayısıyla yüksek AKO değerlerinde binanın enerji ihtiyacı güneş panellerince daha fazla sağlanmaktadır.

Güneş paneli sistemlerinde kurulu gücün kullanımı ile ilgili değerlendirme yapılması için Solar Faktör kavramı ortaya çıkarılmış ve güneş paneli analizlerinde kullanılmıştır. Solar Faktör kavramı kurulu güneş paneli sisteminin pik gücünün kullanım oranını göstermektedir. Yüksek oranlar sistemin daha aktif kullanıldığını gösterirken düşük oranlar kurulu sistemin daha düşük bir potansiyelde kullanıldığını temsil etmektedir. AKO oranlarına göre Solar Faktör değerleri Çizelge 4.5.'de gösterilmiştir.

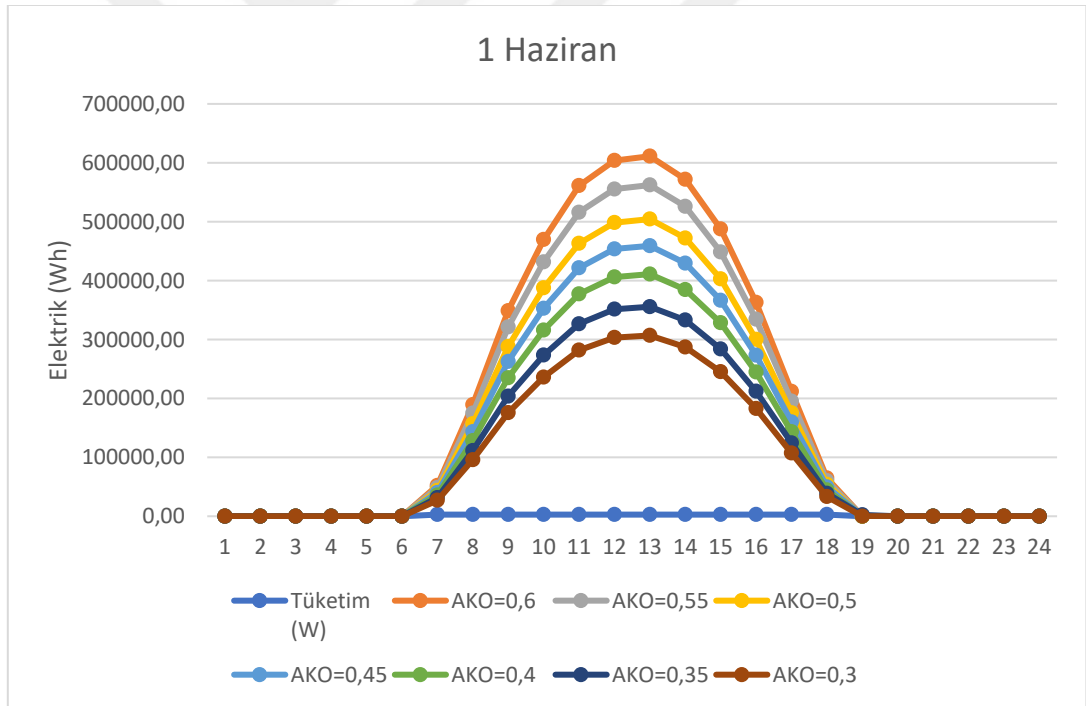
Çizelge 4.5. AKO Oranları ve Solar Faktör Değerleri

AKO	$\phi_s$
0,60	%82,17
0,55	%81,27
0,50	%79,52
0,45	%77,64
0,40	%74,88
0,35	%70,55
0,30	%65,24

Sistemin SF değerlerinin daha doğru bir biçimde analiz edilmesi için SF'in en fazla ve en az olduğu iki gün seçilmiş ve bu günlerde sistemde üretilen ve tüketilen enerjiler gösterilmiştir.



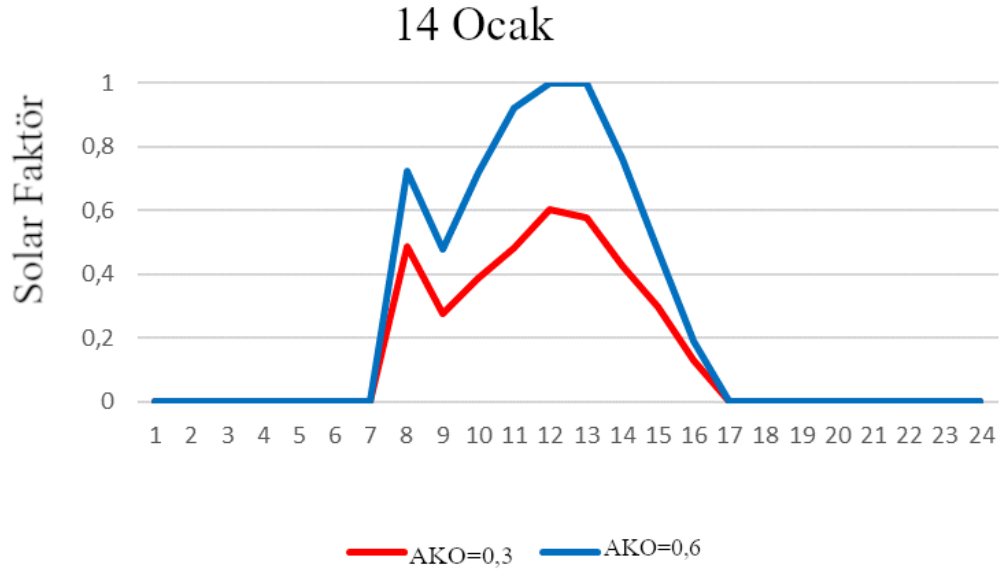
a)



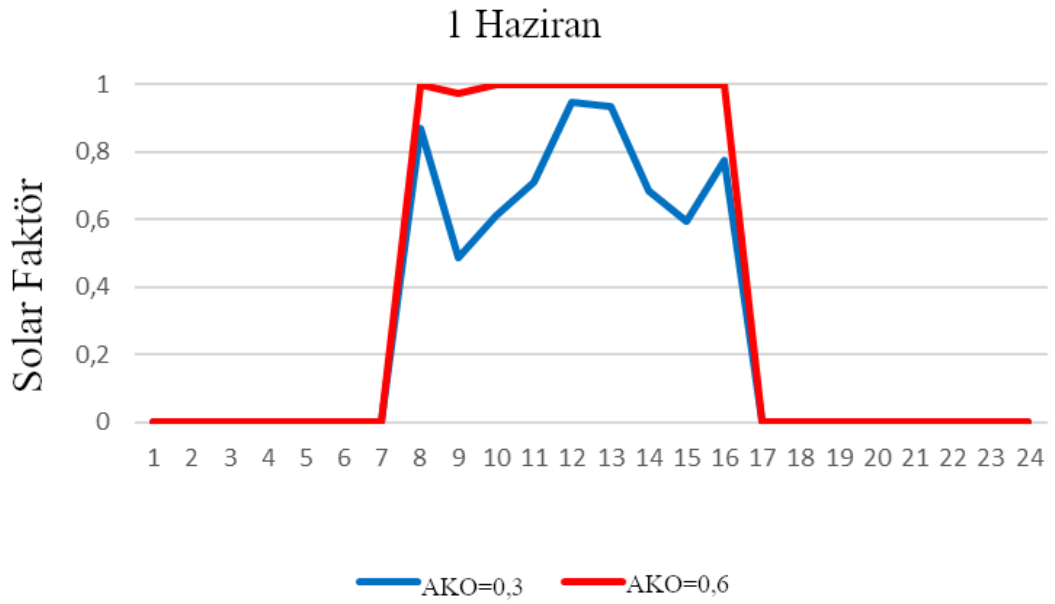
b)

Şekil 4.10. Enerji Üretim ve Tüketim Profilleri a) 14 Ocak b) 1 Haziran

SF değeri yine 14 Ocak ve 1 Haziran için incelenmiştir. Bu sayede farklı AKO oranlarında sistemin karakteristiği incelenebilmektedir. Grafikler Şekil 4.11.'de gösterilmiştir.



a)



b)

Şekil 4.11. Saatlik AKO ve Solar Faktör Değerleri a) 14 Ocak b) 1 Haziran

Güneş paneli sistemlerinin değerlendirilmesi için birden fazla indikatör ortaya çıkarılmıştır. Bunlardan ikisi Performans Oranı (PO) ve Spesifik Üretim Oranı (SÜO)'dır. Bu indikatörler sistemin genel bir performans değerlendirilmesi için kullanılır. PO üretilen gücün kurulu beklenen güce olan oranını temsil etmektedir.

SÜO ise toplam üretilen enerjinin kurulu güçteki kilowatt pik değeri başına olan oranını temsil etmektedir. PO ve SÜO Çizelge 4.6.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Performans ve Spesifik Üretim Oranları

AKO	PO	SÜO (kWh/kWp)
0,60	%77,83	1630
0,55	%78,51	1645
0,50	%78,96	1654
0,45	%79,26	1660
0,40	%79,44	1666
0,35	%79,53	1666
0,30	%79,84	1672

Maksimum enerji değişimine göre normalize edilen bir ölçüm olan Şebeke Etkileşim Endeksi (ŞEE), bir binanın yıl boyunca şebekeye ne kadar ve ne sıklıkla etkileşimde olduğunu ortaya koymaktadır. Yüksek endeks, potansiyel olarak yenilenebilir enerji üretimini gösterir. Tersine, düşük bir endeks daha az şebeke etkileşimini işaret eder. Bu değerli araç, en yüksek talebe bağlılığı azaltmaya, yenilenebilir enerji entegrasyonunun etkinliğini değerlendirmeye ve daha sürdürülebilir bir enerji geleceği için bina tasarım kararlarına rehberlik etmeye yönelik stratejiler sağlayarak bina enerji yönetimini optimize etmeye yardımcı olur.

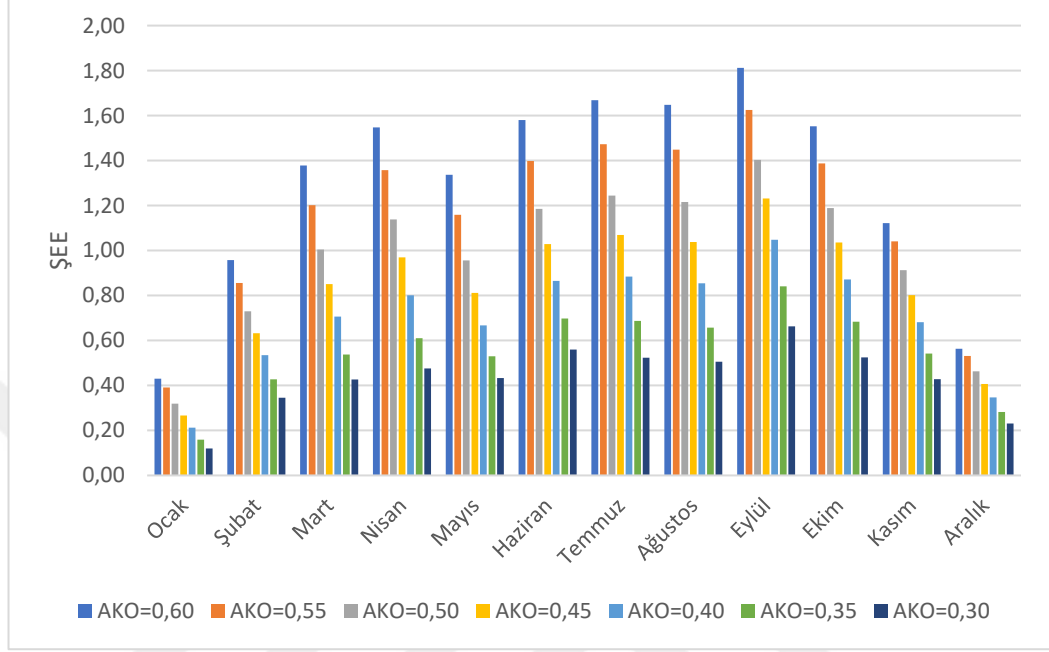
Belirlenen bir periyotta (Örn: Aylık) ŞEE hesaplanması için denklem (4.1) kullanılmaktadır. Bu denklemde ŞEE, belirlenen ayda şebekeye verilen net enerjinin yıl içerisinde şebekeye verilen net enerjinin en fazla olduğu aydaki değere oranını göstermektedir.

$$f_{\text{şebeke},i} = \frac{\text{net şebekeye verilen enerji}}{\max|\text{net şebekeye verilen enerji}|} \cdot 100 [\%] \quad (4.1)$$

Yıllık hesaplama yapılması için denklem (4.2) kullanılmaktadır. Denklem (4.1) içerisinde bulunan değerler bir araya getirilmekte ve bu değerlerin standart sapması hesaplanmaktadır.

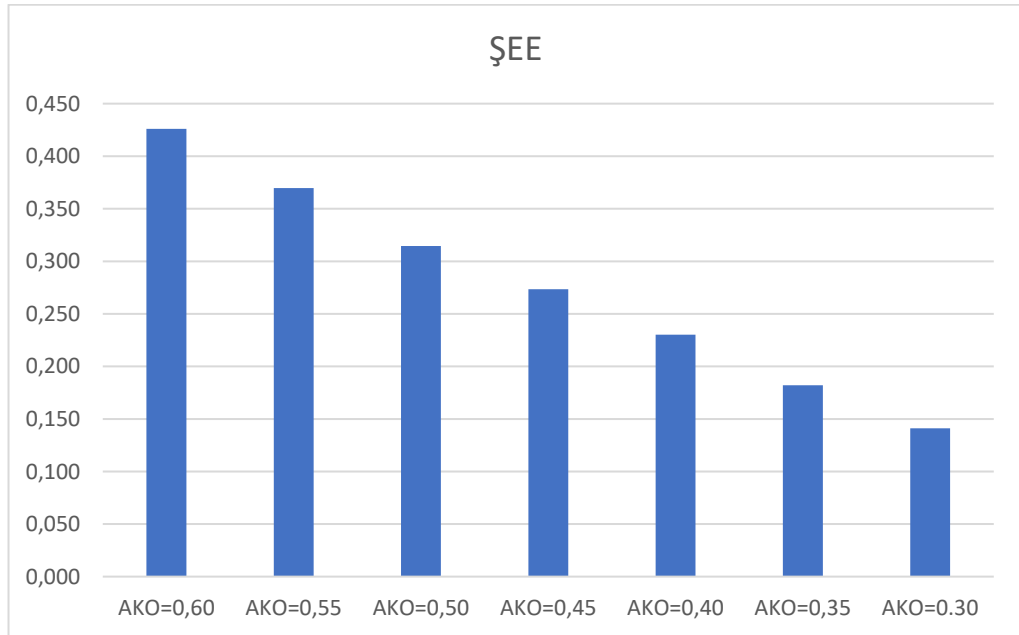
$$f_{\text{şebeke,yıl}} = STD(f_{\text{şebeke,i}}) \quad (4.2)$$

Denklem (4.2)'ye göre hesaplanmış aylık ŞEE değerleri Şekil 4.12.'da gösterilmiştir.



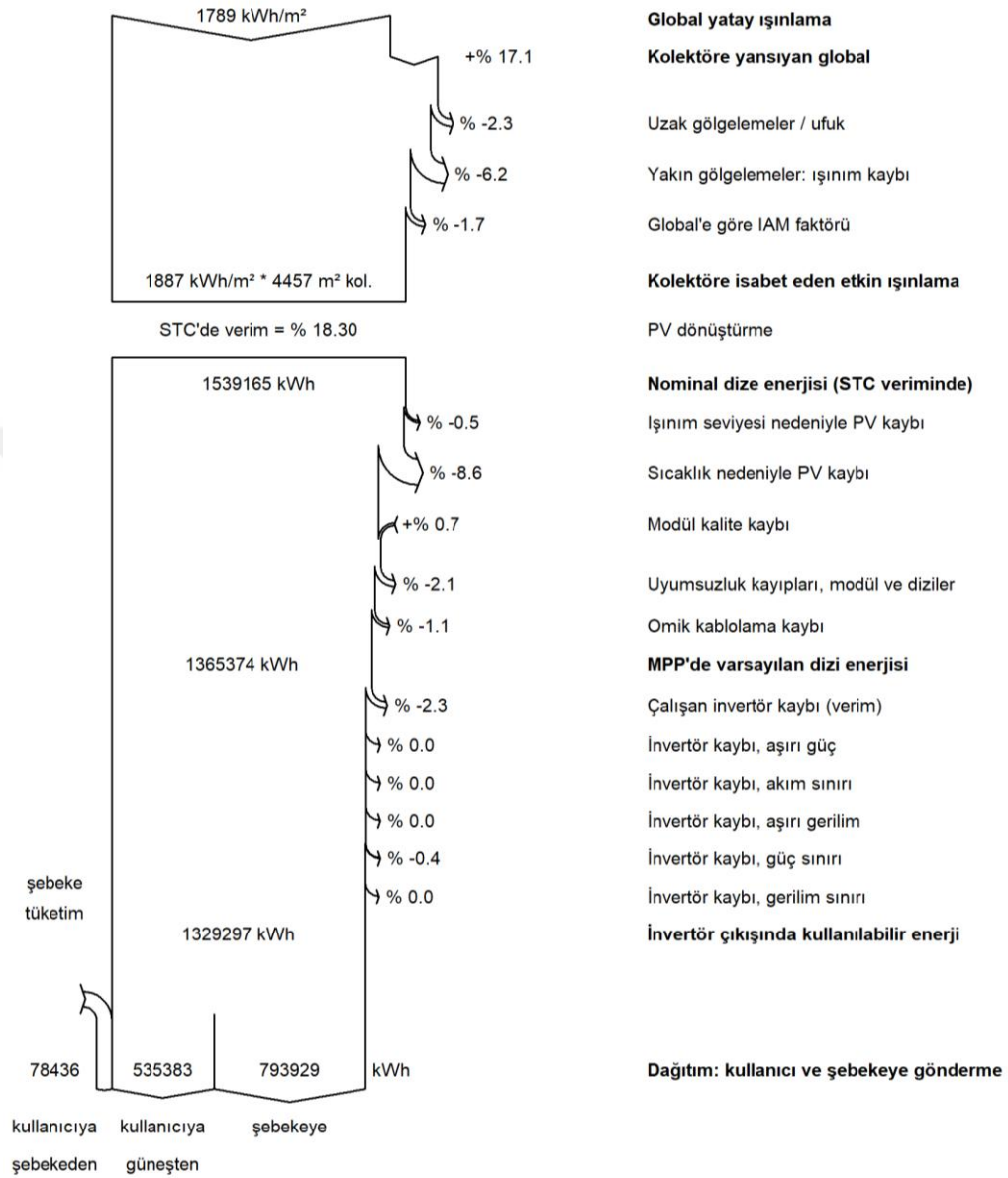
Şekil 4.12. AKO Değerlerine Göre Aylık ŞEE Grafiği

Yıllık hesaplanan ŞEE değerleri Şekil 4.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Yıllık ŞEE Değerleri

Güneş panelinden elektrik üretiminde doğal olarak belli kayıplar oluşmaktadır. AKO değeri 0,6 olduğunda bu kayıplar Şekil 4.14.'de görülmektedir.



Şekil 4.14. PVsyst AKO=0,6 Kayıplar Diyagramı

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada enerji modelleme yöntemi, binanın tasarım özelliklerinin enerji performansına olan etkilerini aydınlatmış ve önemli sonuçlar ortaya koymuştur. DesignBuilder yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen enerji modellemesi, binanın yalıtım kalitesi, pencerelerin konfigürasyonu ve bina azimut açısı, *en/boy* oranı gibi temel tasarım unsurlarının enerji tüketimi üzerinde belirgin etkileri olduğunu göstermiştir. Yapılan analizler, özellikle binanın yalıtım durumunun iyi olduğunu gösterirken pencerelerin de daha düşük bir ısı iletim katsayısına sahip pençeler ile değiştirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Enerji modellemesi sonuçlarına göre, dikkate değer bir bulgu da binanın soğutma ihtiyacının ısıtma ihtiyacından fazla olduğudur. Bu durum, iklimsel koşulların etkisiyle binanın yaz aylarında daha fazla soğutma enerjisine ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Bu önemli bir bulgu, bina tasarımında iklimsel değişkenliklere uyumlu stratejilerin benimsenmesi gerekliliğini vurgular. Binanın yaz aylarında düşük kullanım faaliyetlerine rağmen enerji tüketimi azalmamıştır. Bunun sebebi, Osmaniye'nin sahip olduğu iklim koşullarıdır. Kış aylarında diğer illere göre nispeten daha az bir ısıtma ihtiyacı duymaktadır. Yaz aylarında ise havaların çok sıcak olması sebebi ile soğutma ihtiyacı artmaktadır. Buna ek olarak Kış aylarında bina kullanım nüfusu arttığında insan kaynaklı iç ısıl kazanç da artmakta dolayısıyla ısıtma ihtiyacını da azaltmaktadır.

Binanın, elektronik ekipman kaynaklı elektrik tüketimi en büyük tüketim kalemidir. Bina kullanımı itibariyle bilgisayar, projeksiyon vb. ofis ekipmanlarını çokça kullanmaktadır. Bu sebeple binanın elektrik tüketimi artmaktadır. Yapılan analizlerde binada kullanılan ekipmanların daha verimlileri ile değiştirilmesi uygun görülmüştür. Binanın çatısına yerleştirilen güneş panelleri AKO oranları incelendiğinde %35 ve üzeri AKO oranlı senaryolarda binanın enerji ihtiyacı karşılanmakta ve şebekeye önemli ölçüde elektrik sağlayabilmektedir. Bu sebeple maliyet analizi yapıлып FV panellerin binaya entegre edilmesi planlanabilir. Güneş panellerinin enerji üretimi yaz aylarında en yüksek değere çıkmakta ve şebekeye enerji sağlanması artmaktadır.

Binanın enerji tüketimi ve üretimi birlikte değerlendirildiğinde son olarak binanın enerji performansının iyileştirilebileceği ve enerji üretimi için uygun olduğu kanısına varılmıştır. Bina enerji performansının artırılmasına yönelik daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada binanın şu an ki koşulları ele alınmış ve öyle değerlendirilmiştir.

Binanın enerji ve elektrik üretim performansını arttırmaya yönelik öneriler;

- Bina içerisinde aydınlatma kontrolü için hareket sensörleri eklenebilir ve bu sayede binanın aydınlatma yükü düşürülebilir.
- Bina yalıtım kalitesi artırılarak ısı kaybı düşürülebilir.
- Binada kullanılan pencereler ısı ve ışınım iletimi yönünden daha iyileri ile değiştirilerek dışardan bina içerisine ısı alınımı azaltılabilir.
- Bina aktif kullanım saatleri değiştirilerek daha düşük ısı yüküne sahip saatlerde kullanılabilir. Örneğin Derslikler için eğitim saati değiştirilerek binanın enerji yükü düşürülebilir.
- Binaya gece soğutması yapılarak sabah saatlerindeki soğutma ihtiyacı ertelenebilir ve soğutma yükü düşürülebilir.
- Binada kullanılan ekipmanlar daha verimlileri ile değiştirilerek Ekipman Kaynaklı Elektrik Tüketimi kalemi düşürülebilir.
- Binada kullanılan aydınlatma elemanları LED ile değiştirilerek Aydınlatma yükü düşürülebilir.
- Bina pencere önlerine gölgeleme elemanları eklenerek ışınım kaynaklı ısı kazanımı düşürülebilir.
- Güneş paneli sistemi için %30 ile %40 arasında AKO senaryoları oluşturularak tam denge noktası bulunabilir.
- Elektrik üretimi için daha detaylı bir yerleşim planı üzerinde araştırma yapılabilir. Örneğin seçilen AKO senaryosunda hangi blokların üzerinde güneş paneli kurulacağı seçilebilir.
- Güneş paneli seçimi için farklı ebat ve oryantasyonlarda senaryolar oluşturulabilir. Bu senaryoların yanında maliyet analizi de yapılarak sistemin hayata geçirilmesi için detaylı raporlar oluşturulabilir.

## KAYNAKLAR

- Abidin, N. I. A., Zakaria, R., Pauzi, N. N. M., Mustaffar, M., ve Bandi, M., "Building Energy Intensity Measurement for Potential Retrofitting of Zero Energy Building in Higher Learning Institution," In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 012070: IOP Publishing, 2019.
- Acar, U., 'Net Sıfır Enerjili Binaların Türkiye İklim Koşullarında Uygulanabilirliğinin Araştırılması', Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, 2023.
- Aktacir, M. A., Nacar, M. A., ve Yeşilata, B., 'Binalarda Enerji Verimliliği Amaçlı Yazılımlar Üzerine Kısa Bir Değerlendirme', 2011.
- Alakour, A., 'Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi Kullanan Net Sıfır Enerjili Bina İçin Enerji Analizi, Simülasyonu Ve Optimizasyonu: Türkiye'de Bir Durum Analizi', 2022.
- Altaş, İ., 'Fotovoltaik Güneş Pilleri: Eşdeğer Devre Modelleri Ve Güneş Işığının Sıcaklığın Etkileri', Karadeniz Teknik Üniversitesi, 1998.
- Altınöz, M., ve Mıhlayanlar, E., 'Aktif Güneş Sistemlerinin Bina Enerji Verimliliği Üzerindeki Katkısının İncelemesi', Mimarlık ve Yaşam, 4: 323-35, 2019.
- Andrews, C. J., ve Krogmann, U., 'Technology Diffusion and Energy Intensity in Us Commercial Buildings', Energy Policy, 37: 541-53, 2009.
- Arslan, F., ve Türkdoğan, S., 'Kamu Binalarında Çatı Üzeri Fotovoltaik Panel Kurulum Potansiyelinin Belirlenmesi Ve Enerji Üretim Artışı İçin Mimari Tasarımın Ele Alınması: Yalova İli Örneği', Journal of Innovative Engineering and Natural Science, 2: 76-94, 2022.
- ASHRAE, 2013 Ashrae Handbook: Fundamentals (Ashrae), 2013.
- ASHRAE, A., 'Ashrae/Ies Standard 90.1-2016', Energy standard for buildings except low-rise residential buildings, 2016.
- Atmaca, M., 'Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi (Bep-Tr) İle Otel Binalarının Enerji Performansının Değerlendirilmesi', Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- Bayrak, G., ve Cebeci, M., '3.6 Kw Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab Simulink İle Modellenmesi', Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 28: 198-204, 2012.

- Bolat, M., Arifoğlu, U., ve Demiryürek, H. K., 'Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst Programı İle Analizi', Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9: 1351-63, 2020.
- Boyano, A., Hernandez, P., ve Wolf, O., 'Energy Demands and Potential Savings in European Office Buildings: Case Studies Based on Energyplus Simulations', Energy and Buildings, 65: 19-28, 2013.
- Bölük, E., ve Kömüşcü, A., 'Köppen-Trewartha İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi', Klimatoloji Şube Müdürlüğü, 2018.
- Builder, D., 'Product Overview', Erişim Adresi: <https://designbuilder.co.uk/software/product-overview>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Center, E., "The Energy Performance of Buildings Directive (Epbdb)," In, 2020.
- Chen, C. D. O., 'Buildings', Erişim Adresi: <https://www.iea.org/energy-system/buildings>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Climate, 'Osmaniye Energyplus Weather Data', Erişim Adresi: [https://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_6\\_Europe/TUR\\_Turkey/OS\\_Osmaniye/TUR\\_OS\\_Osmaniye.173550\\_TMYx.zip](https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/TUR_Turkey/OS_Osmaniye/TUR_OS_Osmaniye.173550_TMYx.zip), Erişim Tarihi:10.07.2024
- Climate, 'Repository of Free Climate Data for Building Performance Simulation', Erişim Adresi: <https://climate.onebuilding.org/default.html>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Crawley, D. B., Hand, J. W., ve Lawrie, L. K., "Improving the Weather Information Available to Simulation Programs," In Proceedings of Building Simulation'99, 529-36, 1999.
- CSB, 'Elektrik Enerjisinin Birincil Enerji Ve Sera Gazı Salımı Katsayıları', Erişim Adresi: <https://meslekihizmetler.csb.gov.tr/elektrik-enerjisinin-birincil-enerji-ve-sera-gazi-salimi-katsayilari-i-100347>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Çalık, A., ve Emre, Ö., 'Isparta İli İçin Güneş Enerjisi Santrali (Fotovoltaik) Çatı Uygulamasından Elde Edilen Simülasyon Verilerinin Ekonomik Analizi', Cihannüma Teknoloji Fen ve Mühendislik Bilimleri Akademi Dergisi, 1: 12-35, 2022.
- Dawsonmetal, 'How Do You Reduce Heat Loss & Energy Consumption in a Building?', Erişim Adresi: <https://www.dawsonmetal.com/heat-loss-in-a-building>, Erişim Tarihi:10.07.2024

- Dehwah, A. H., ve Asif, M., 'Assessment of Net Energy Contribution to Buildings by Rooftop Photovoltaic Systems in Hot-Humid Climates', Renewable energy, 131: 1288-99, 2019.
- Deline, C., Sekulic, B., Stein, J., Barkaszi, S., Yang, J., ve Kahn, S., "Evaluation of Maxim Module-Integrated Electronics at the Doe Regional Test Centers," In 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 0986-91: IEEE, 2014.
- Demiryürek, H. K., '200kwp Kurulu Güçteki Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst Ile Tasarımı Ve Üretim Değerleri Ile Simulasyon Değerlerinin Karşılaştırılması', Sakarya Üniversitesi (Turkey), 2018.
- DesignBuilder, 'Energyplus Weather File (Epw) Format', Erişim Adresi: <https://designbuilder.co.uk/cahelp/Content/EnergyPlusWeatherFileFormat.htm>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Designingbuildings, 'U-Values', Erişim Adresi: <https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/U-values>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- DOE, 'Energyplus', Erişim Adresi: <https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/energyplus>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- EIA, 'Use of Energy Explained', Erişim Adresi: <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/homes.php#:~:text=More%20than%20half%20of%20energy,for%20heating%20and%20air%20conditioning>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Energy, U., "Energyplus Energy Simulation Software," In: Recollit de Testing and Validation: <http://apps1.eere.energy.gov> ..., 2012.
- Enerji, B. E. P., 'Resmi Gazete (Sayı: 27075)', Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm>, 2008.
- Enerji, C., 'Perc Monokristal', Erişim Adresi: [https://www.atakale.com.tr/image/catalog/urunler/paneller/cw/295wmono/CWT-60PM-300-320WP-2\\_44.pdf](https://www.atakale.com.tr/image/catalog/urunler/paneller/cw/295wmono/CWT-60PM-300-320WP-2_44.pdf), Erişim Tarihi:10.07.2024
- Enerji, O., 'Ts 825 Standardı Nedir?', Erişim Adresi: <https://www.onurenerji.com.tr/hizmetler/olcumler/isil-gecirgenlik-olcumu/>, Erişim Tarihi:10.07.2024

- Erzurum, E. N., ve Sayın, S., 'Pvsyst Programıyla Fotovoltaik Panel Uygulama Ve Maliyet Analizi Üzerine Çalışma: Sivas Örneği', 2020.
- Eskin, N., 'Konut Dışı Binaların Yıllık Enerji İhtiyaçlarının İncelenmesi', İTÜ, İstanbul, 1, 2011.
- Eskin, N., Gür, M., Özkaya, I., Cömert, Ç., ve Yıldızeli, A., 'İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Binası'nın Isıl Konfor Şartlarına Bağlı Enerji Analizi', 2017.
- ETKB, 'Güneş', Erişim Adresi: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Feng, G., Sha, S., ve Xu, X., 'Analysis of the Building Envelope Influence to Building Energy Consumption in the Cold Regions', Procedia Engineering, 146: 244-50, 2016.
- Finity, J., '6 Types of Construction Projects: Key Differences for Owners & Contractors', Erişim Adresi: <https://www.procore.com/library/construction-project-types>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- GAMAK, 'Güneş Enerjisi İle Elektrik Üretimi Nasıl Yapılır?', Erişim Adresi: <https://www.gamak.com/gunes-enerjisi-ile-elektrik-uretimi-nasil-yapilir>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- GEPA, 'Güneş Enerji Potansiyeli Atalası', Erişim Adresi: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/80.aspx>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Guglielmetti, R., Macumber, D., ve Long, N., "Openstudio: An Open Source Integrated Analysis Platform," In: National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2011.
- Harputlugil, G. U., 'Bina Enerji Performansi Değerlendirme Araçları-Enerji Simülasyonu', 2013.
- Hildebrandt, E. W., Bos, W., ve Moore, R., 'Assessing the Impacts of White Roofs on Building Energy Loads', ASHRAE transactions, 104: 810, 1998.
- Hirsch, J. J., 'Equest', Erişim Adresi: <https://www.doe2.com/equest/>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Hoseinzadeh, P., Assadi, M. K., Heidari, S., Khalatbari, M., Saidur, R., ve Sangin, H., 'Energy Performance of Building Integrated Photovoltaic High-Rise Building: Case Study, Tehran, Iran', Energy and Buildings, 235: 110707, 2021.

- Iberdola, 'How Do Photovoltaic Solar Panels Work?', Erişim Adresi: <https://www.iberdrola.com/innovation/how-photovoltaic-solar-panels-work>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Jazayeri, A., ve Aliabadi, M., "The Effect of Building Aspect Ratio on the Energy Performance of Dormitory Buildings in Cold and Semi-Arid Climates of Iran," In International Conference on Sustainability, Green Buildings. Environmental Engineering and Renewable Energy,(SGER 2018), Malaysia, 2018.
- Judkoff, R., ve Neymark, J., "Model Validation and Testing: The Methodological Foundation of Ashrae Standard 140," In: National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2006.
- Kayın, Ö., 'Binalarda Enerji Modellemesi, Enerji Performans Analizi Ve Yenilenebilir Enerji Kullanımının Çevre Dostu Yeşil Bina Uygulama Örneği Kapsamında Değerlendirilmesi', Namık Kemal Üniversitesi, 2019.
- Klein, S. A., 'Trnsys-a Transient System Simulation Program', University of Wisconsin-Madison, Engineering Experiment Station Report: 38-12, 1988.
- Klima, F. M., 'Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi'nin İklimlendirmede Tercih Yükksek Performanslı Form Ürünleri Oldu', Erişim Adresi: <https://formmerkeziklima.com/tr-tr/basinbulteni-detail/osmaniye-korkut-ata-universitesinin-iklimlendirmede-tercihi-yuksek-performansli-form-urunleri-oldu>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Koç, S. G., 'Sıcak-Nemli İklim Bölgelerinde Gölgeleme Elemanı Kullanımının Bina Enerji Performansına Etkisinin İncelenmesi', Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- Kolderup, E., "New Ashrae Standard 209 on Simulation Aided Design for Buildings," In 2018 ASHRAE Annual Conference: ASHRAE, 2018.
- Konopacki, S., Gartland, L., Akbari, H., ve Rainer, L., "Demonstration of Energy Savings of Cool Roofs," In: Lawrence Berkeley National Lab., Environmental Energy Technologies Div., CA ..., 1998.
- Lapisa, R., 'The Effect of Building Geometric Shape and Orientation on Its Energy Performance in Various Climate Regions', GEOMATE Journal, 16: 113-19, 2019.
- Laustsen, J., 'Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings. Iea Information Paper', 2008.

- Lee, J.-W., Jung, H.-J., Park, J.-Y., Lee, J., ve Yoon, Y., 'Optimization of Building Window System in Asian Regions by Analyzing Solar Heat Gain and Daylighting Elements', Renewable energy, 50: 522-31, 2013.
- Leonard, E., 'What Type of Solar Panel Is Best?', Erişim Adresi: <https://artisanelectricinc.com/what-type-of-solar-panel-is-best/>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Li, N., 'Impacts of Human Behavior on Energy Consumption of Residential Buildings in China's Hot Summer and Cold Winter Zone', Chongqing University, 2011.
- Manwell, J. F., 'Hybrid Energy Systems,' in Cutler J. Cleveland (ed.), Encyclopedia of Energy Elsevier: New York, 2004
- MGM, '4.8-Isıtma Ve Soğutma Gün-Dereceleri', Erişim Adresi: <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/isitma-ve-sogutma-gun-dereceleri-i-100365>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Mirrahimi, S., Mohamed, M. F., Haw, L. C., Ibrahim, N. L. N., Yusoff, W. F. M., ve Aflaki, A., 'The Effect of Building Envelope on the Thermal Comfort and Energy Saving for High-Rise Buildings in Hot-Humid Climate', Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53: 1508-19, 2016.
- Musa, A., 'Building Envelope', Erişim Adresi: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Building\\_envelope](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Building_envelope), Erişim Tarihi:10.07.2024
- OKÜ, 'Foto Galeri Mühendislik Fakültesi - Mimarlık Tasarım Ve Güzel Sanatlar Fakültesi', Erişim Adresi: <https://osmaniye.edu.tr/album-303>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- OKÜ, 'Mühendislik Fakültesi', Erişim Adresi: <https://www.osmaniye.edu.tr/birimdetay-yapi-2468>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Olgay, V., 'Design with Climate,' in, Design with Climate Princeton university press: Princeton, 2015
- Özdemir, G., 'Konut Dışı Binalarda Enerji Verimliliği Ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı', Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- Ralegaonkar, R. V., ve Gupta, R., 'Review of Intelligent Building Construction: A Passive Solar Architecture Approach', Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14: 2238-42, 2010.

- Regulations, B., "Building Regulations, Approved Document L: Conservation of Fuel and Power," In: Department for Communities and Local Government (United Kingdom), 2016.
- Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C., Riffat, S., Saadatian, E., Toudeshki, A., ve Sulaiman, M., 'A Review of Energy Aspects of Green Roofs', Renewable and Sustainable Energy Reviews, 23: 155-68, 2013.
- Saffar, S. W. A., 'Yaklaşık Sıfır Enerjili Bir Bina Tasarımı İçin Enerji Performansı Modellemesi Ve Simülasyonu', Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2022.
- Sensoy, S., 'Türkiye Uzun Yıllar Isıtma Ve Soğutma Gün Dereceleri', 2007.
- Shin, M., ve Haberl, J. S., 'Thermal Zoning for Building Hvac Design and Energy Simulation: A Literature Review', Energy and Buildings, 203: 109429, 2019.
- Skelion, 'Solar Systems Design Plugin for Sketchup', Erişim Adresi: <https://skelion.com/index.htm?v1.0.0>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- SketchUP, 'The Best Way to 3d for Free', Erişim Adresi: <https://www.sketchup.com/>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- SolarAVM, 'Güneş Enerjisi Sistemlerinde Panellerden Kaynaklı Sistem Kayıpları Nelerdir?', Erişim Adresi: <https://solaravm.com/gunes-enerjisi-sistemlerinde-panellerden-kaynakli-sistem-kayıplari-nelerdir>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- SolarAVM, 'Güneş Paneli Çeşitleri', Erişim Adresi: <https://solaravm.com/solar-gunes-paneli>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Standard, A., 'Standard 90.1-2004', Energy standard for buildings except low-rise residential buildings: 176, 2004.
- Şahin, M., ve Okumuş, H., 'Güneş Pili Modülünün Matlab/Simulink Ile Modellenmesi Ve Simülasyonu (Modeling and Simulation of Solar Cell Module in Matlab/Simulink)', EMO Bilimsel Dergi, 3: 17-25, 2013.
- Şensoy, S., Sağır, R., Eken, M., ve Ulupınar, Y., 'Türkiye Uzun Yıllar Isıtma Ve Soğutma Gün Dereceleri', Ankara: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2007.
- Taşkın, O., ve Vardar, A., 'Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Amfi Çatısının Güneş Elektrik Potansiyelinin Tahminlenmesi', Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 33: 45-51, 2019.

- Team, G., 'Gnu Image Manipulation Program', Erişim Adresi: <https://www.gimp.org/>,  
Erişim Tarihi:10.07.2024
- TSE, "Thermal Insulation Requirements for Buildings," In: Turkish Standards Institution Ankara, Turkey, 2008a.
- TSE, "Ts 825 Binalarda ısı Yalıtım Kuralları," In Türkiye Standartları Enstitüsü, Ankara, ICS, 2008b.
- TSE, "Türk Standartları Enstitüsü," In, 2023.
- Uçardağ, İ., 'Isıtma/Soğutma Derece Gün Sayıları İle Enerji Tasarruf Oranının Analizi Makale', 2023.
- Vale, A., 'Commercial Building Energy Consumption by Type', Erişim Adresi: <https://www.ledlightingsupply.com/blog/what-types-of-commercial-buildings-consume-the-most-energy>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Yang, C., ve Choi, J.-H., 'Energy Use Intensity Estimation Method Based on Façade Features', Procedia Engineering, 118: 842-52, 2015.
- Yıldız, Ö. F., 'Erzurum Havalimanı Terminal Binasının Enerji Analizi Ve Net Sıfır Enerjili Bina Formuna Dönüştürülmesinin İncelenmesi', 2017.
- YILMAZ, E., 'Monokristal Ve Polikristal Güneş Panelleri Arasındaki Fark Nedir?', Erişim Adresi: <https://www.aydinlatma.org/monokristal-ve-polikristal-gunes-panelleri-arasindaki-fark-nedir.html>, Erişim Tarihi:10.07.2024
- Yörük, B., 'Akdeniz İklim Bölgesi İçin Enerji Etkin Bina Kabuğu Tasarımında Yenilikçi Pasif Yaklaşımlar', Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- ZEBRA, 'Wall U-Values (Building Codes)', Erişim Adresi: <https://zebra-monitoring.enerdata.net/overall-building-activities/wall-u-values-building-codes.html>, Erişim Tarihi:10.07.2024

## ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Muhammed Enes UMCU  
2. Doğum Tarihi :  
3. Ünvanı : Makine Mühendisi  
4. Öğrenim Durumu : Yüksek Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Gaziantep Üniversitesi	2021
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2024

### 5. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Proje Mühendisi	Ekodenge A.Ş.	2021-2023
Mekanik Tasarım Mühendisi	MS Spektral Savunma A.Ş.	2023-



T.C.  
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
TEZ ÇALIŞMASI BENZERLİK RAPORU FORMU  
(SAVUNMA SONRASI)

FORM  
TEZLİ YL-24

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

Adı ve Soyadı	Muhammed Enes UMCU
Öğrenci Numarası	2111709101
Ana Bilim/ Ana Sanat Dalı	Makine Mühendisliği A.B.D
Danışman Unvanı, Adı-Soyadı	Prof. Dr. Önder KAŞKA
Tez Başlığı (Türkçe)	BİNA ENERJİ ANALİZİ İLE MEVCUT BİR BİNANIN ENERJİ VERİMLİLİĞİ SEVİYESİNİN ARTTIRILMASINA YÖNELİK ÇÖZÜMLERİN BELİRLENMESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Özet ve Abstract c) Giriş, d) Ana bölümler, e) Sonuç ve f) Kaynakça kısımlarından oluşan toplam ..... sayfalık kısmına ilişkin, ...../...../..... tarihinde Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % ..... 'tür.

**Filtreleme Tip 1 (maksimum %30)**

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar dâhil.

**Filtreleme Tip 2 (maksimum %10)**

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar hariç,
- 4- 5 Kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Çalışması Benzerlik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Tarih ve İmza

Öğrenci

Danışman Onayı  
UYGUNDUR

Prof. Dr. Önder KAŞKA  
(İmzası)

Enstitü Onayı  
UYGUNDUR

Adı Soyadı  
(İmzası)

**AÇIKLAMALAR**

- Lisansüstü tezler, savunma öncesinde benzerlik raporu ile birlikte Enstitüye teslim edilir.
- Benzerlik raporu ile ilgili olarak etik kurallar dâhilindeki benzerlik oranları ilgili Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenir. (Enstitü Yönetim Kurulu tarafından tezin, intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için TURNITIN'den alınan raporda "benzerlik oranı"nın, "alıntılar hariç" en fazla %10, "alıntılar dahil" % 30'u geçmemesi şeklinde kabul edilmiştir).