



**HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMİ
KULLANAN NET SIFIR ENERJİLİ BİNA İÇİN
ENERJİ ANALİZİ, SİMÜLASYONU VE
OPTİMİZASYONU: TÜRKİYE'DE BİR DURUM
ANALİZİ**

Abdulla ALAKOUR

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Engin GEDİK**

**HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMİ KULLANAN NET SIFIR
ENERJİLİ BİNA İÇİN ENERJİ ANALİZİ, SİMÜLASYONU VE
OPTİMİZASYONU : TÜRKİYE'DE BİR DURUM ANALİZİ**

Abdulla ALAKOUR

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Engin GEDİK**

**KARABÜK
Haziran 2022**

Abdulla ALAKOUR tarafından hazırlanan “HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMİ KULLANAN NET SIFIR ENERJİLİ BİNA İÇİN ENERJİ ANALİZİ, SİMÜLASYONU VE OPTİMİZASYONU: TÜRKİYE’DE BİR DURUM ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Engin GEDİK

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21/06/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Hüseyin KURT (NEÜ)

Üye : Doç. Dr. Engin GEDİK (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Abdulla ALAKOUR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMİ KULLANAN NET SIFIR ENERJİLİ BİNA İÇİN ENERJİ ANALİZİ, SİMÜLASYONU VE OPTİMİZASYONU: TÜRKİYE’DE BİR DURUM ANALİZİ

Abdulla ALAKOUR

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Engin GEDİK

Haziran 2022, 209 sayfa

Dünya üzerindeki kaynakların hızla tükenmekte olması, kullanılan enerji miktarının hızla artması ve Covid-19 salgınının hızlanması sonucunda ekosistemin dengesi bozulmaktadır. Bu durum hem çevreyi koruma konusunda, hem de enerji kullanımı üzerinde yeni yaklaşımlara neden olmuştur. Dünyada kullanılan enerjinin %40’ı binalarda tüketilmektedir ve binalarda alınacak önlemler ve değişikliklerin enerjide önemli tasarruflar oluşturacağı yaygın kabul edilen bir gerçeklik olmuştur. Bu çerçevede mevcut ve yeni yapılacak enerji verimliliğini amaçlayan binalarda enerji performansı direktifi yürürlüğe girmiştir. Bu direktifle, çok az enerji gerektiren ve yıllık tükettiği kadar yenilenebilir enerji üreten binalar olarak tanımlanan Net Sıfır Enerjili Binalar (NSEB) kavramı ortaya çıkmıştır.

Bu tezin temel amacı, Karabük Üniversitesi kampüsünde bulunan Öğrenci İşleri Merkezi (ÖİM) binasının enerji performans karakteristiklerini analiz etmek ve binayı Net Sıfır Enerjili Bina “NSEB” modeline dönüştürmektir. Bu bağlamda birinci aşamada, bina kabuğundaki gerçek izolasyon seviyeleri TS 825 standartlarına göre yeterliliği araştırılmıştır. İkinci aşamada, ÖİM binasının mevcut durum analizini yapmak için Autodesk Revit 2022, Insight 360 ve Green building Studio simulasyon programları kullanılarak enerji tüketim değerleri hesaplanmış ve sonuçları grafik olarak sunulmuştur. ÖİM binasının gerçek enerji tüketimi ile simülasyon sonucu elde edilen tüketim verileri karşılaştırılmıştır. Ortaya çıkan performans sonuçları ışığında, “Pasif Yaklaşımlar”, “Enerji Verimliliği Yaklaşımları” ve “Yenilenebilir Enerji Yaklaşımları” kapsamında önerilen stratejilerin incelenmesi ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda ısı pompası ve fotovoltaik sistemin bir arada kullanıldığı modelin finansal ve çevresel etki bakımından en uygun seçenek olduğu belirlenmiş ve ÖİM binasının Net Sıfır Enerjili Bina formuna dönüştürülmesinin önemli ölçüde enerji tasarrufları sağlayacağı ve CO₂ salınımını azaltacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Net sıfır enerjili bina, bina enerji performansı, termal analizi, pasif soğutma sistemi, yenilenebilir enerji sistemi.

Bilim Kodu : 91441

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE ENERGY ANALYSIS, SIMULATION AND OPTIMIZATION FOR NET ZERO ENERGY BUILDING POWERED BY HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEM: A CASE STUDY IN TURKEY

Abdulla ALAKOUR

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assoc.Prof. Dr. Engin GEDIK

June 2022, 209 pages

The balance of the ecosystem is deteriorating as a result of the rapid depletion of resources in the world, the rapid increase in the amount of energy used and the acceleration of the Covid-19 epidemic. This situation led to new approaches in protecting environment and energy use. Buildings are responsible for 40% of global energy consumption and it has been widely accepted that the measures and changes on the buildings will create a significant energy savings. At this stage the directive on energy performance in buildings which aiming at energy efficiency in existing and new buildings, has put into operation. By this directive, the concept of Net Zero Energy Buildings (NZEB) which is defined as buildings that require very little energy and produce as much renewable energy as they consume annually, has been emerged.

This thesis purpose aims to analyze the energy performance characteristics of the Student Affairs Building which located in the campus of Karabük University and transform the reference building into a Net Zero Energy Building “NZEB” model. In the first stage of context, the adequacy of the actual insulation levels in the building envelope according to TS 825 standards has been investigated. In the second stage, to analyze the current situation of the OIM building the energy consumption performance has been calculated using Autodesk Revit 2022, Insight 360 and Green Building Studio simulation programs and the results presented graphically. The actual energy consumption of the OIM building was compared with the consumption obtained from the simulation model. In the light of the performance results, the proposed strategies within the scope of “Passive Approaches”, “Energy Efficiency Approaches” and “Renewable Energy Approaches” has been investigated, evaluated and optimized. As a result of these evaluations, it has been determined that the model which used the heat pump and photovoltaic system, is the most suitable option in terms of financial and environmental impact and it has been concluded that the transformation of the Student Affairs Center Building into a Net Zero Energy Building will provide significant energy savings and reduce CO₂ emissions.

Key Word : Net zero energy building, building energy performance, thermal analysis, passive cooling system, renewable energy system.

Science Code : 91441

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren, akademik hayatım boyunca öğrendiğim her őeyi borçlu olduğum sayın hocam Doç. Dr. Engin GEDİK'e bilgi, beceri ve tecrübeleri yanında insanlığı ile bu zorlu süreçte çok önemli değerler kazanmamı sağladıkları nedeniyle minnettarlığımı saygılarımla sunarım.

Hayatımın her alanında, hem maddi hem manevi anlamda en büyük destekçilerim olan sevgili annem Rabia ENAWİ ile babam Refik ALAKOUR'a, akademik alanda en büyük destekçim ve ilham kaynağım olan değerli ağabeylerim Mohamed ve Yusuf ALAKOUR'a, tanıdığım günden bu yana beni her konuda destekleyen çok kıymetli dostum Gizem TAŐTAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. ENERJİ SEKTÖR TARİHÇESİ VE GÖRÜNÜMÜ.....	1
1.2. ENERJİNİN BİNA SEKTÖRÜNDEKİ ROLÜ	5
BÖLÜM 2	8
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	8
2.1. BİNA ENERJİ MODELLEMESİ (BEM) VE BİNA PERFORMANSI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	9
2.2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ BİNALARDA KULLANILMASINI ÖNGÖREN MODELLEME ÇALIŞMALARI.....	12
2.3. NET SIFIR ENERJİLİ BİNALAR ÖNGÖREN MODELLEME ÇALIŞMALARI.....	15
2.4. TEZİN AMACI VE KAPSAMI.....	20
BÖLÜM 3	22
NET SIFIR ENERJİLİ BİNALAR “NSEB”	22
3.1. NET SIFIR ENERJİLİ BİNA TANIMI	22
3.1.1. Net Sıfır Saha Enerjili Bina	25

	<u>Sayfa</u>
3.1.2. Net Sıfır Kaynak Enerjili Bina	26
3.1.3. Net Sıfır Enerji Salımlı Bina	26
3.1.4. Net Sıfır Enerji Maliyetli Bina	27
3.2. TANIMLARIN ARKASINDAKİ DENKLEMLER	29
3.3. ENTEGRE ENERJİ SİSTEMLERİ OLARAK NSEB'LERİN MODELLENMESİ	29
3.4. NET SIFIR ENERJİLİ BİNALAR İÇİN TASARIM STRATEJİLERİ	31
3.4.1. Pasif Yaklaşım Stratejileri	32
3.4.2. Enerji Verimliliği Stratejileri	33
3.4.2.1. Isıtma, Soğutma ve Havalandırma (HVAC) Sistemleri.....	34
3.4.2.2. Etkin Aydınlatma Sistemleri	35
3.4.3. Yenilenebilir Enerji Sistemi Stratejileri.....	37
3.4.3.1. Güneş Enerji Sistemleri	37
3.4.3.2. Rüzgar Enerjisi Sistemleri	38
3.5. ÖRNEK NET SIFIR ENERJİ VAKALARININ İNCELENMESİ.....	43
3.5.1. NREL Araştırma Destek Tesisi	43
3.5.1.1. İklim Özellikleri	44
3.5.1.2. ADT Binasında kullanılan Tasarım Stratejileri	45
3.5.2. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Sincan - Etimesgut Bölgesi Hizmet Binası.....	50
3.5.2.1. Yapının Konumu ve Güneşle İlişkisi	51
3.5.2.2. Yapıda Kullanılan Pasif Sistemler	53
BÖLÜM 4	58
MATERYAL VE YÖNTEM	58
4.1. KARABÜK ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ	59
4.2. İKLİM VE DIŞ ORTAMA İLİŞKİN BİLGİLER.....	67
4.2.1. Karabük İlinin İdari ve Konum Özellikleri	67
4.2.2. Karabük İlinin Coğrafi ve İklim Özellikleri	67
4.2.3. Karabük İklim Değerlerinin TS 825 Standartlarına Göre Değerlendirilmesi	73
4.3. ÖİM BİNASINDAKİ YAPI ELEMANLARININ TERMAL ANALİZİ	74

	<u>Sayfa</u>
4.3.1. Yapı Elemanları ve Isı Transfer Katsayıları	75
4.3.1.1. Isıl Geçirgenlik Direncinin (R) Hesaplanması :.....	75
4.3.1.2. Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısının (U) Hesaplanması	75
4.3.1.3. İletim ve Taşınım Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybının Hesabı	76
4.3.1.4. Havalandırma Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybının Hesabı	76
4.3.1.5. Aylık Ortalama İç Kazançlar (Φ_i , ay).....	77
4.3.1.6. Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Kazançları (Φ_s , ay).....	77
4.3.1.7. Güneş Enerjisi Geçirme Faktörü.....	78
4.3.1.8. Kazanç Kullanım Faktörü (η)	78
4.3.2. Binadaki Yapı Malzemelerinin Sıralanışı ve Detayları	79
4.3.2.1. Döşemeler (Taban ve Tavan).....	79
4.3.2.2. Bina Duvarları.....	81
4.3.3. Termal Analiz Sonuçları	86
4.4. BINA BILGI MODELLEMESİ (BIM)	89
4.4.1. Bina Enerji Modellemesi ve Performans Analizi	91
4.4.2. Autodesk Revit 2022	93
4.4.3. Autodesk Insight 360	95
4.4.4. Autodesk Green Building Studio (GBS)	96
4.5. ÖİM BİNASININ MODELLENMESİ VE ENERJİ ANALİZİ.....	97
4.5.1. Bina Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özellikleri.....	99
4.5.2. Mahal Alanları Oluşturması ve Zonlaması.....	101
4.5.3. İklim ve Dış Ortama İlişkin Veri Girişi.....	103
4.5.4. Kullanıcıya İlişkin Veri Girişi	103
4.5.5. Bina Alt Sistemine (HVAC) İlişkin Veri Girişi	104
4.5.6. Aydınlatma Ekipmanları.....	105
4.5.7. Autodesk Insight 360 İle Enerji Analizi Sonuçları.....	107
4.5.8. Green Building Studio (GBS) ile Enerji Analizi Sonuçları.....	114
4.6. ENERJİ ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	119
BÖLÜM 5	124
NET SIFIR ENERJİLİ BİNA İÇİN ÖNERİLEN STRATEJİLER.....	124
5.1. PASİF YAKLAŞIM STRATEJİLERİ	125

	<u>Sayfa</u>
5.1.1. Pasif Evaporatif Soğutma Sistemi	126
5.1.2. Pasif Sistemin Isı ve Kütle Transfer Analizi	133
5.1.3. Pasif Sistemin Verimlilik Hesabı ve İç Çevre Koşulları	139
5.2. ENERJİ VERİMLİ SİSTEMLERİN STRATEJİLERİ	144
5.2.1. Değişken Soğutucu Akışkan Hacimli Sistemler (VRV).....	144
5.2.2. FanCoil Sistemi	145
5.2.3. Su Kaynaklı Isı Pompası.....	146
5.2.4. FCU Sistemi Senaryosu.....	148
5.2.5. Isı Pompası Sistemi Senaryosu.....	150
5.3. YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ STRATEJİLERİ	154
5.3.1. Güneş Enerjisi Analizi	154
5.3.1.1. Autodesk Revit ile PV Sistemin Tasarımı	154
5.3.1.2. PV*SOL® Premium ile PV Sistemin Tasarımı.....	163
5.3.2. Rüzgar Enerji Potansiyel Analizi.....	176
5.3.2.1. Tanımlayıcı Rüzgar İstatistikleri.....	177
5.3.2.2. Karabük İli Rüzgar Enerji Potansiyeli ve Yıllık Üretim Tahmini	183
BÖLÜM 6	191
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	191
KAYNAKLAR	194
EK AÇIKLAMALAR A.	201
ÖİM BİNA KAT PLANLARI	201
ÖZGEÇMİŞ	209

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Paris İklim Anlaşması [3].	2
Şekil 1.2. Enerji sektöründe Net Sıfır Enerjili Binanın yeri.	6
Şekil 2.1. Net sıfır enerjili bina tasarım modelinin akış şeması.....	21
Şekil 3.1. Net sıfır enerjili binaların tarihsel şeması [43].	24
Şekil 3.2. Net sıfır saha enerjili bina diyagramı [43].	25
Şekil 3.3. Net sıfır kaynak enerjili bina diyagramı [43].	26
Şekil 3.4. Net sıfır enerji salınımlı bina diyagramı [43].	27
Şekil 3.5. Net sıfır enerji maliyeti bina diyagramı [43].	28
Şekil 3.6. Net sıfır enerjili binaların çeşitleri [43].	28
Şekil 3.7. (a) Kanada’da net sıfır enerjili bir ev için tüketim ve üretim diyagramının şeması ; (b) net sıfır güneş enerjili evin görüntüsü [45].	31
Şekil 3.8. NSEB tasarımı, aşamaları ve sistem örnekleri [45].	32
Şekil 3.9. Ampullerin çeşitleri ve özellikleri.	36
Şekil 3.10. Bina gereksinimlerine yönelik yenilenebilir enerji önlemleri.	37
Şekil 3.11. Binalarda kullanılan rüzgar türbinlerine örnekler.	41
Şekil 3.12. NSEB tasarım aşamaları [45].	42
Şekil 3.13. NREL araştırma destek tesisi “ADT”.	44
Şekil 3.14. Colorado bölgesinde ortalama günlük sıcaklıkları.	45
Şekil 3.15. Mevsimsel değişiminde gün ışığı aydınlatma.	47
Şekil 3.16. ADT’nin ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemi.	48
Şekil 3.17. ADT binada kurulan PV sistemleri.	49
Şekil 3.18. ADT binası için enerji kullanım dökümü.	49
Şekil 3.19. Tapu ve Kadastro Müdürlüğü Binası.	50
Şekil 3.20. Yapının üst görünüşü.	51
Şekil 3.21. Güneş ışığı modellenmesi.	52
Şekil 3.22. Güneş ışığı analizi sonucu.	52
Şekil 3.23. Farklı mekanik sistemlerin enerji tüketimi.	53
Şekil 3.24. Beton ısı kontrol sistemi ve indüksiyon ünitesi.	54
Şekil 3.25. Labirent sistemi işleyiş prensibi.	55
Şekil 3.26. Güneş duvarı sistemi.	55

Sayfa

Şekil 3.27. Tapu ve Kadastro Müdürlüğü Binasının Enerji Kimlik Belgesi [54].	57
Şekil 4.1. NSEB tasarım yönteminde girdiler ve enerji dengesi arasındaki ilişki.	59
Şekil 4.2. Karabük Üniversitesi Kampüsü'nün yerleşimi.	60
Şekil 4.3. Karabük Üniversitesi Öğrenci İşleri Merkezi uydu görüntüsü.	60
Şekil 4.4. Öğrenci İşleri Merkezi kuzeyden genel görünümü.	61
Şekil 4.5. ÖİM binasının güneyden görünüşü.	61
Şekil 4.6. ÖİM binasının güneyden görünüşü.	62
Şekil 4.7. Vaziyet plan görünüşü.	63
Şekil 4.8. Güneybatı cephesi görünüşü.	64
Şekil 4.9. Kuzeydoğu cephesi görünüşü.	65
Şekil 4.10. Güneydoğu cephesi görünüşü.	66
Şekil 4.11. Kuzeybatı cephesi görünüşü.	66
Şekil 4.12. Karabük Ovası ve çevresi.	67
Şekil 4.13. Aylara göre sıcaklık dağılımı.	68
Şekil 4.14. Aylık ıslak ve kuru sıcaklığın ortalamaları.	68
Şekil 4.15. Aylık radyasyon dağılımı.	69
Şekil 4.16. Aylık aydınlatma aralığı.	69
Şekil 4.17. Aylara göre gökyüzü örtüsü dağılımı.	69
Şekil 4.18. Aylık ve saatlik küresel yatay radyasyonu.	70
Şekil 4.19. Aylık ortalama toprak sıcaklığı.	70
Şekil 4.20. Yıllık rüzgar gülü.	70
Şekil 4.21. Climate Consultant programında psikrometrik diyagram.	71
Şekil 4.22. İç mekan konfor oranı= %100 için önerilen stratejiler.	72
Şekil 4.23. Taban katman bileşenleri.	79
Şekil 4.24. Tavan katman bileşenleri.	80
Şekil 4.25. Dış duvar katman bileşenleri a) havaya açık olan b) toprağa temaslı olan.	82
Şekil 4.26. ÖİM bina katmanlarından geçen ısı akış yoğunluğu.	87
Şekil 4.27. ÖİM bina cephelerinden kazanılan güneş enerjisi.	87
Şekil 4.28. ÖİM binasına ait toplam iç ısı kazançları.	88
Şekil 4.29. ÖİM binasının toplam ısı kazançları ve kaybı.	88
Şekil 4.30. ÖİM binasının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı.	88
Şekil 4.31. Bina Bilgi Modellemesi (BIM).	89

Şekil 4.32. Binaya ait farklı disiplinler ile yapının yaşam döngüsü boyunca BIM kullanım alanları [63].	91
Şekil 4.33. Revit ara yüzü.	94
Şekil 4.34. Autodesk Insight 360 analizi süreci.	96
Şekil 4.35. Green Building Studio “GBS” çalışma şeması.	97
Şekil 4.36. ÖİM binasının Revit ortamında hazırlanan 3D modeli.	98
Şekil 4.37. Modele işlenmiş, toprağa temas eden dış duvar bileşenleri.	99
Şekil 4.38. Modele işlenmiş, havaya açık dış duvar bileşenleri.	100
Şekil 4.39. Modele işlenmiş, zemine oturan döşeme bileşenleri.	100
Şekil 4.40. Modele işlenmiş, çatı bileşenleri.	101
Şekil 4.41. Ofis mahalın “space” parametreleri.	102
Şekil 4.42. Revit’te tanımlanan dış hava bilgileri.	103
Şekil 4.43. İnsanlardan gelen duyulur ve gizli ısı kazançları.	104
Şekil 4.44. Revit enerji ayaları ekranı.	105
Şekil 4.45. Revit’te oluşturulmuş bina enerji modeli.	107
Şekil 4.46. Insight simülasyonundan sonuç görselleri.	108
Şekil 4.47. Çalışma programı, duvar elemanları ve HVAC sistemi.	109
Şekil 4.48. Priz yüklerinin verimliliği, çatı elemanı ve pencere/duvar oranı.	110
Şekil 4.49. Aydınlatma verimliliği, pencerelerin cam özellikleri ve bina yönelimi.	111
Şekil 4.50. PV enerji analizi.	112
Şekil 4.51. Insight ara yüzünde tasarım alternatiflerinin yıllık enerji tüketimleri açısından karşılaştırması.	114
Şekil 4.52. ÖİM binasının GBS sonuçları.	115
Şekil 4.53. Yıllık enerji kullanım diagramı.	116
Şekil 4.54. ÖİM binanın aylık elektrik ve gaz tüketimi.	117
Şekil 4.55. HVAC sisteminin soğutma yüklerin özeti.	118
Şekil 4.56. HVAC sisteminin ısıtma yüklerin özeti.	119
Şekil 4.57. Farklı bina tipleri için enerji tüketim yoğunluğu değerleri [68].	120
Şekil 4.58. Binanın gerçek enerji tüketimi ile simülasyon sonucu elde edilen enerji tüketimleri karşılaştırması.	121
Şekil 4.59. ÖİM binaya ait toplam enerji denkliği Sankey diyagramı.	123
Şekil 5.1. ÖİM binası iç mekan görünümleri.	128
Şekil 5.2. Atrium alanında ısıtma ve soğutma yükleri.	129
Şekil 5.3. Manitoba Hydro ofis binası genel görünüm ve uygulanan havalandırma, ısıtma ve soğutma sistemi [71].	130

Şekil 5.4. Güney cephesinde atrium bahçesi görünümü ve yaz/kış durumu şeması.	131
Şekil 5.5. Yapay şelale sistemi gösteren şematik diyagramı.	132
Şekil 5.6. Atriyum su özelliği.	132
Şekil 5.7. Sistemin üst kesiti.	133
Şekil 5.8. a) Çapraz akışlı bir boru demeti şeması b) Üçgen ve kare düzenlemeleri.	134
Şekil 5.9. Farklı konfigürasyonlar için “C ve m” şekil faktörlerinin değerleri.	135
Şekil 5.10. Sistemin soğutma verimliliği için hesaplama prosedürü.	138
Şekil 5.11. Bir yıl için saatlik dış ortam sıcaklığı değerleri.	139
Şekil 5.12. Yapay şelale 3D modelin görseli.	140
Şekil 5.13. Psikrometrik diyagramda havanın pasif soğutma işlemi.	142
Şekil 5.14. Ağustosun 5. gününde 8 AM ile 8 PM arasındaki sistemin çıktıları.	142
Şekil 5.15. Farklı boru çaplarına bağlı olarak performans değerlerinin değişimi... 143	
Şekil 5.16. Farklı boru aralıklarına bağlı olarak performans değerlerinin değişimi.143	
Şekil 5.17. FanCoil sistemi.	146
Şekil 5.18. Su Kaynaklı Isı Pompası sistemi.	147
Şekil 5.19. FanCoil senaryosunun enerji performans özeti.....	149
Şekil 5.20. FanCoil senaryosunun yıllık yakıt ve elektrik tüketimi.	150
Şekil 5.21. Isı pompası senaryosunun enerji performans özeti.	151
Şekil 5.22. Isı pompası senaryosunun yıllık yakıt ve elektrik tüketimi.	152
Şekil 5.23. Mevcut ve önerilen HVAC sistemlerin özellikleri.	153
Şekil 5.24. Türkiye'nin güneş radyasyon dağılım haritası [80].	156
Şekil 5.25. Karabük iline ait global radyasyon ve güneşlenme süresi değerleri.....	156
Şekil 5.26. ÖİM çatısında ve otopark alanında kurulu PV sistemi.	158
Şekil 5.27. PV modülün karakteristik özellikleri.	159
Şekil 5.28. Fotovoltaik panellerin yerleşim biçimi.	160
Şekil 5.29. PV modüllerin üzerindeki gölgeleme etkisinin Revit benzetimi.	161
Şekil 5.30. PV sistemin yıllık elektrik üretimi.	162
Şekil 5.31. PVSOL'da 3D tasarımın aşamaları.....	163
Şekil 5.32. PVSOL programında sistem tipi ve iklim verileri.	164
Şekil 5.33. PVSOL programına tüketim verilerinin girilmesi.	165
Şekil 5.34. PVSOL programında kullanılan PV panel modeli.	165
Şekil 5.35. ÖİM çatısındaki PV Modüllerin yerleşimi.	166

Sayfa

Şekil 5.36. Otopark alanındaki PV Modüllerin yerleşimi.....	167
Şekil 5.37. PV panellerin dizilerine bağlı dize invertörler.....	168
Şekil 5.38. PV dizilere kısmi gölgeleme koşulları.....	169
Şekil 5.39. PV panellerine bağlı mikro invertörler.....	170
Şekil 5.40. Dize, güç optimize ediciler ve mikro invertörlerin tasarım şeması.....	171
Şekil 5.41. SolarEdge invertör konfigürasyonu.....	172
Şekil 5.42. Tasarlanan fotovoltaik sistemin blok şeması.....	173
Şekil 5.43. PV sistemin enerji akış grafiği.....	175
Şekil 5.44. PV sistemin üretim tahmini.....	176
Şekil 5.45. Karabük'teki rüzgar gözlem istasyonu (RGİ) konumu.....	183
Şekil 5.46. Karabük Kapullu gözlemlenen aylık ortalama rüzgar hız verileri.....	184
Şekil 5.47. Karabük Kapullu rüzgar gülü.....	184
Şekil 5.48. Ölçüm verilerinin frekans (f_i) grafiği.....	186
Şekil 5.49. Ölçüm verilerinin esme yoğunluğu (P_i) grafiği.....	186
Şekil 5.50. Saatlik rüzgar hızlarının X_i ve Y_i düzeninin grafiği.....	187
Şekil 5.51. Weibull dağılım fonksiyonunun rüzgar hızı ile değişimi.....	189
Şekil Ek A.1. 3.Bodrum Kat Planı.....	202
Şekil Ek A.2. 2.Bodrum Kat Planı.....	203
Şekil Ek A.3. 1.Bodrum Kat Planı.....	204
Şekil Ek A.4. Zemin Kat Planı.....	205
Şekil Ek A.5. 1.Kat Planı.....	206
Şekil Ek A.6. 2.Kat Planı.....	207
Şekil Ek A.7. 3.Kat Planı.....	208

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Özel Binalar üzerine net sıfır enerji analizini inceleyen çalışmalar. ...	19
Çizelge 4.1. Binaya ait genel bilgiler.	63
Çizelge 4.2. Bölgelere göre U-değerleri [59].	73
Çizelge 4.3. Taban katmanlarında ısı kaybı hesabı.	80
Çizelge 4.4. Tavan katmanlarında ısı kaybı hesabı.	81
Çizelge 4.5. Dış duvar katmanlarında ısı kaybı hesabı.	82
Çizelge 4.6. Pencere katmanlarında ısı kaybı hesabı.	83
Çizelge 4.7. Yapı elemanların ısı kaybı değerleri.	83
Çizelge 4.8. Karabük ili ortalama aylık güneş ışınımı şiddeti değerleri (W/m ²) [59].	84
Çizelge 4.9. Güneş enerjisi kazancı hesaplanması.	84
Çizelge 4.10. Karabük şehrine ait aylık ortalama sıcaklık değerleri [59].	85
Çizelge 4.11. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı.	85
Çizelge 4.12. Bina zonlarında kullanılan armatürler ve aydınlatma detayları.	106
Çizelge 5.1. Karabük ikliminin en yüksek/düşük sıcaklık değerleri [74].	139
Çizelge 5.2. Akışkanların termofiziksel özellikleri [75].	139
Çizelge 5.3. Pasif soğutma sistemin ölçüleri.	140
Çizelge 5.4. Pasif soğutma sistemin ölçüleri.	141
Çizelge 5.5. PV sistemde kullanılan parça listesi.	174
Çizelge 5.6. Saatlik rüzgar hızlarının periyodik frekansı ve olasılığı.	185
Çizelge 5.7. Weibull dağılımı hesabı için grafik metodu.	187
Çizelge 5.8. Kullanılan metotlara göre Weibull dağılım fonksiyonu parametreleri.	188
Çizelge 5.9. Weibull fonksiyonu farklı metotlarına göre dağılım sonuçları.	189
Çizelge 5.10. (01.01.2018 - 01.01.2019) yılına ait rüzgar potansiyeli bulguları.	190

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- U : Isıl geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
- R : Isıl geçirgenlik direnci (m^2K/W)
- k : Isıl iletim katsayısı (W/mK)
- $R_{iç}$: İç yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci (m^2K/W)
- $R_{dış}$: Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci (m^2K/W)
- A_D : Dış duvarın alanı (m^2)
- A_P : Pencereninalanı (m^2)
- A_K : Dış kapının alanı (m^2)
- A_T : Tavanın alanı (m^2)
- A_t : Tabanın alanı (m^2)
- A_n : Bina kullanım alanı (m^2)
- $V_{brüt}$: Binanın ısıtılan brüt hacmi (m^3)
- n_h : Hava değişim oranı (h^{-1})
- V_h : Havalandırılan hacim (m^3)
- $r_{i,ay}$: “i” yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü
- $g_{i,ay}$: “i” yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü
- $I_{i,ay}$: “i” yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti (W/m^2)
- A_i : “i” yönündeki toplam pencere alanı (m^2)
- $\theta_{i,ay}$: Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
- $\theta_{e,ay}$: Aylık ortalama dış hava sıcaklığı ($^{\circ}C$)
- $\Phi_{i,ay}$: Aylık iç kazançlar (W)
- $\Phi_{s,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W)
- H_T : Yapı elemanlarından gerçekleşen ısı kaybı (W/K)
- H_v : Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (W/K)
- H : Toplam ısı kaybı (W/K)

- \overline{Nu}_D : Nusselt sayısı
 $Re_{D_{max}}$: Maksimum Reynolds sayısı
 Pr : Prandtl Sayısı
 V_{max} : Makimum hızı (m/s)
 μ : Dinamik viskozite (kg/ms)
 ν : Kinematik viskozite (m²/s)
 ρ : Yoğunluk (kg/m³)
 k : ısı iletim katsayısı (W/mK)
 C_p : Özgül ısı (kJ/kgK)
 S_T : Dik yöndeki iki boru arasındaki mesafe (m)
 S_D : İki boru arasındaki diyagonal mesafe (m)
 \dot{m}_b : Kütle transferin oranı (g/s)
 K_m : Kütle transfer katsayısı (g/sm²)
 A_w : Su alanı (m²)
 W_i : Giriş nem oranı (kg_{su}/ kg_{hava})
 W_o : Çıkış nem oranı (kg_{su}/ kg_{hava})
 W_s : Doygunluk nem oranı (kg_{su}/ kg_{hava})
 E_s : Sistem performans faktörü
 T_i : Giren havanın kuru termometre sıcaklığı (K)
 T_o : Çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı (K)
 T_s : Giren havanın yaş termometre sıcaklığı (K)

KISALTMALAR

- NSEB : Net Sıfır Enerjili Bina
- BEP : Bina Enerji Performansı
- CAD : Computer Aided Design (Bilgisayar destekli grafik-tasarım)
- IPEEC : International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (Enerji Verimliliği İşbirliği Uluslararası Ortaklığı)
- NREL : National Renewable Energy Laboratory (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı)
- ADT : Research Support Facility (Araştırma Destek Tesisi)
- BIPV : Building-integrated photovoltaics (Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemler)
- BIPV/T : Building-integrated photovoltaic-thermal system (Binaya Entegre Fotovoltaik/Termal Sistemler)
- PV : Fotovoltaik
- DHW : District Heating Water (Evsel Sıcak Su)
- LEED : Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik)
- EUI : Energy use intensity (Enerji kullanım yoğunluğu)
- YEGM : Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
- IBDA : Integrated Building Design Approach (Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı)
- BIM : Building information modeling
- BBM : Bina bilgi modellemesi
- GBS : Green Building Studio
- HDD : Isıtma gün dereceleri
- CDD : Soğutma gün dereceleri
- gbXML : Green Building Xtensible Markup Language (Yeşil Bina Genişletilebilir İşaretleme Dili)
- ASHRAE : The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği)
- EES : Engineering Equation Solver (Mühendislik Denklem Çözücü)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji toplumların gelişmişliğin bir göstergesi olup ülkeler için stratejik öncelikler arasında yer alan ekonomik kalkınmanın temel bir unsurudur. Gelişen teknoloji ve artan nüfus paralelinde enerji talebinde arttırdığı bilenen bir gerçektir. Bir ülkenin enerji kaynaklarına erişimi, kullandığı enerji miktarı ve enerjiyi kullanım tarzı o ülkenin ekonomisini, ulusal gücünü ve güvenliğini, uluslararası sistemdeki konumunu belirlemektedir. Bu yönüyle de enerji küresel siyasette yönetişimin en önemli bileşenlerinden biri durumundadır. Dolayısıyla, fosil kökenli enerji kaynakların yanında, nükleer ve yenilenebilir gibi alternatif alt sektörlerden oluşan enerji sektörü, ülkelerin iç politikaları kadar dış politikaları ve uluslararası sistemin işleyişi açısından da en önemli etkenlerden ve özellikle iç politika-dış politika etkileşiminin temel belirleyenlerinden biridir. Bu nedenle 19. yüzyıl başından günümüze enerji sektöründe görülen değişikliklere yakından bakmak gerekmektedir [1].

1.1. ENERJİ SEKTÖRÜ TARİHÇESİ VE GÖRÜNÜMÜ

Sanayi Devrimi'nin başlangıcından I. Dünya Savaşı arifesi döneme kadarki dönemin temel enerji kaynağı kömürdü. 19. yüzyıl sonlarında içten patlar motorun icadı ulaşım başta olmak üzere hayatın pek çok alanında kömür yerine petrol kullanımını zorunlu hale getirmiştir. 1900'lü yılların başında kömürün yerine petrolun kullanılmaya başlanması petrole olan ilgiyi artırmıştır. Bu tarihten itibaren petrol, daha kullanışlı ve etkin bir enerji kaynağı olarak kömürün yerini almıştır. I. Dünya Savaşı başladığında İngiltere'nin Fransa'da bulundurduğu motorlu araç sayısı 1.000 civarındayken, savaş sonunda bu rakam 110 bini aşmıştı [2].

II. Dünya Savaşının gerçekleştiği yıllarda petrol yataklarının kontrolü ülkeler için önemli bir konu olmuştur. Savaşın en temel nedenlerinden biri başta Alsas-Loren bölgesindeki kömür yatakları olmak üzere, enerji kaynaklarını kontrol etme amacıydı. Bununla birlikte petrole alternatif olarak doğalgaz da bu dönemlerde yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır [2].

II. Dünya savaşı sonrasında esasen AB ülkeleri ve ABD başta olmak üzere, çok sayıda ülke teknolojik gelişim ve ekonomik kalkınma gayreti göstermiştir. Bu bağlamda sanayileşme süreci ve nüfus artış eğilimine girmiştir ancak beraberinde fosil kökenli yakıt kullanımı neticesi çevresel problemlerin ortaya çıktığı görülmüştür, bunun etkileri de birçok sektöre yansımıştır. İnşaat ve yapı sektörü de bunlardan birisidir. Örneğin, 1970-80'lerde meydana gelen enerji krizi, artan CO₂ gibi sera gazı emisyonlarının temel nedeni sınırlı olan doğal kaynakların bilinçsizce kullanımı ve izlenen yanlış politikalar olmuş, bu da küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevresel alanda olumsuz sonuçlara yol açmıştır. Bu nedenle 2000'li yıllarda enerji politikalarının sorunları olan küresel ısınma, iklim değişikliği, çevresel sorunlarla mücadele gibi konuların ilk kez gündeme gelmesi sağlanmıştır. Bu alanda atılan önemli adımlar 1992 Rio Zirvesi, 1997 Kyoto Protokolü, 2015 Paris İklim Antlaşması ve son olarak 2018 yılında yapılan Birleşmiş Milletler İklim Zirvesi-COP24 olmuştur [2]. Bunlardan 2015 yılında 195 ülkenin katılımıyla yapılan Paris İklim Anlaşmasında (Şekil 1.1) sera gazı emisyonlarının azaltılması ve iklim sorununun çözülmesi vurgulanmış ve küresel bir eylem planının hayata geçirilmesi gerekliliği sonucuna varılmıştır [3].



Şekil 1.1. Paris İklim Anlaşması [3].

Bu kapsamda, Aralık 2019’da Avrupa Birliği, 2030 İklim ve Enerji Politikaları Çerçevesi ve Avrupa Komisyonu’nun 2020 sonrası küresel iklim değişikliği ile mücadele planını esas alarak iklim eylem planını sunan ilk büyük ekonomi olmuştur. AB, 2030 yılı için ekonomi genelindeki sera gazı emisyonunu en az %40 azaltma hedefini açıklamıştır. Bu süreçte AB tarafından ortaya konulan ilgili argümanlar aşağıda özetlenmiştir [4];

- Bölgesel ve küresel enerji güvenliğine katkıda bulunmak
- Yerli ve yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payını artırmak,
- Enerji sektörünün sera gaz emisyonlardan arındırılması
- Binalarda yüksek enerji verimliliği sağlamak
- Enerji zincirinin her aşamasında sürdürülebilir kalkınma bağlamında sosyal ve çevresel etkileri dikkate almak

Bununla birlikte, 2020 yılında tüm dünyayı derinden sarsan, ekonomileri kırılganlaştıran, tedarik zincirlerinde kopmalara neden olan Covid-19 salgınının neredeyse bütün bir yılı olumsuz yönde etkilediği de bilinmektedir. Ortaya çıkan COVID-19 salgını nedeniyle bir anda tüm dünya düzeni alt üst olmuştur. Bu dönemde salgının tüm dünyada yayılması küresel sanayi tüketim ve üretiminin ciddi oranlarda düşmesine neden olmuştur. COVID-19 salgının ortaya çıkması ve yayılmasıyla birçok işletmeler faaliyetlerini durdurmuş; önemli birçok sektörde üretim hacminde meydana gelen düşüşler, borsaların çökmesi, faiz oranlarının düşmesi gibi ekonomik açıdan önemli birçok gelişme yaşanmıştır. Bu süreçte, birçok ülke salgınla mücadeleye ve ekonomik toparlanmaya öncelik vermiş, Yeşil Mutabakat gündemde alt sıralara gerilemiştir [5].

2021 yılı, 2020 yılında yaşanan afetlerin aşılması, meydana gelen zararların onarılması ve koşulların salgın öncesi hale gelmesi için yapılan çalışmalar ile geçmiştir. Ancak dünyanın birçok yerinde yaşanan yangınlar, doğal afetler ve seller iklim değişikliği konusunun önemini gözler önüne sermiştir. Dünya 2021’de iklim krizi nedeni ile ciddi bir darbe almıştır. Kuzey Kutbu’ndan Çin’e kadar krizin etkisi ilk kez bu denli hissedilmiştir. Ülkeler yıllardır iklim krizinin en büyük tetikleyicisi emisyonlar konusunda verdikleri sözleri bu sene de yeterince eyleme dökemediği

anlaşılmaktadır. Dünya pandemideki kısıtlamalardan çıkar çıkmaz sera gazı emisyonlarının rekor düzeyde arttığı gündeme gelmiştir. Yapılan araştırmalar, Paris İklim Anlaşması'nda belirlenen kritik sıcaklık 1,5°C'lik eşiğin üstüne çıktığını göstermektedir [5].

2022 yılının başlarında pandeminin sonlanması ile ekonomilerin büyümeye başlaması ve soğuk geçen kış nedeniyle enerji fiyatları yükselmeye başlamıştır. 22 Şubat 2022 tarihinde, Rusya'nın Ukrayna'ya başlattığı askeri müdahalenin ardından batılı ülkelerin Rusya'ya karşı uyguladığı yaptırım kararları arasında en çok ses getiren yaptırım kararı enerji alanında olmuştur. Diğer taraftan Rusya Avrupa ülkelerinin en büyük gaz, petrol ve kömür tedarikçilerinden biridir. Rusya-Ukrayna Savaşı'ndaki son gelişmeler bu işgalin kısa vadede biteceğine dair umut vadetmemiştir. Dolayısıyla bu savaş nedeniyle artan enerji maliyetleri ve bu maliyetlerin yol açtığı enflasyon tüm dünyada bir sorun olmaya devam edecektir. Tüm bu sebeplerle, ülkelerin enerji için ödeyeceği faturaların önümüzdeki kış da oldukça yüksek seyredeceğini şimdiden öngörmek mümkündür. Enerji güvenliğinin önemini bir kere daha ortaya koyan Rusya-Ukrayna savaşı, dünyanın enerji alanındaki gelişmesinde kalıcı değişikliklere neden olmakta ve bazı süreçleri hızlandırmaktadır [6].

Yukarıdaki tarihsel olaylarından da anlaşılmaktadır ki, "enerji" ve "modern siyaset" birbirinden ayrı düşünülmesi mümkün olmayan, iç içe geçmiş iki kavramdır. Enerji, uluslararası oluşumlar vasıtasıyla üreticiler için iş birliği zemini oluştursa da çoğu zaman üreticiler arasında pazar payı kavgası, üreticilerle tüketiciler arasındaki mücadeleler ve hepsinden önemlisi büyük devletlerin gerek üretici ülkeler gerekse tüketici ülkeler üzerinde hegemonya oluşturma amacıyla enerji vanalarını kontrol etme çabaları gibi nedenlerden dolayı önemli bir çatışma kaynağıdır.

Bu nedenle enerji bağımsızlığı politikaları, kısa vadeli kar peşinde koşan ve sektörde ne pahasına olursa olsun ayakta kalmayı amaçlayan firmalara itimat ederek ve tümüyle serbest piyasa koşullarına bırakılarak yürütülemez. Kaynak çeşitlendirme; üretim, nakil, rafineri, depolama gibi konularda ulusal düzeyde yeterli alt yapı inşası, enerjinin üretici, hegemon ve transit (geçiş) ülkeleri tarafından siyasi bir silah olarak kullanılmasını engelleme gibi sorunların çözümünde piyasa araçları yetersiz

kalmaktadır. Üretim, rafineri, dağıtım gibi konularda da devletler tarafından gerçekleştirilen yatırımların payı oldukça büyüktür. Dolayısıyla, enerji bağımsızlığı, siyasi ayağı güçlü uzun vadeli stratejilere dayanmak zorundadır.

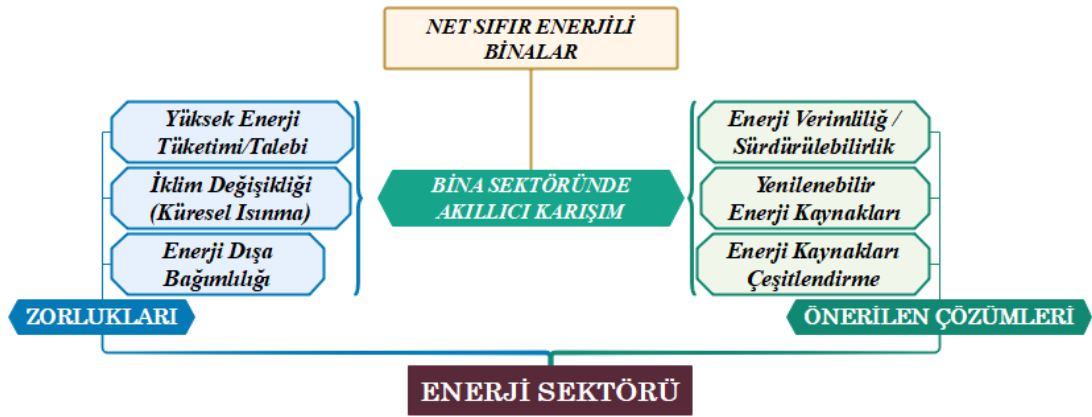
1.2. ENERJİNİN BİNA SEKTÖRÜNDEKİ ROLÜ

Gelişmiş ülkelerde enerji tüketiminin sektörel bazda dağılımı incelendiğinde, yapı sektörü, sanayi ve ulaşımın ardından üçüncü sırada gelmektedir. Enerji sektöründe, binalar ve bina inşaatları, dünyadaki toplam enerji tüketiminin %36'lık bölümünü oluştururken, dünyadaki CO₂ salımının yaklaşık %40'ından sorumludur. Bu nedenle enerji verimliliği ve sürdürülebilir enerji kullanımı açısından binalar, öncelikli olarak ele alınması gereken alandır [7].

Uzun yıllardan beri dünyada devam eden enerji sorunu son yıllarda bina teknolojilerinin gelişmesi ve çeşitlenmesi gereksinimini ortaya koymuştur. Fosil yakıtların tükeniyor olması ve çevreye verdiği zararlar binalarda enerji tüketimi ve çevre zararlarının azaltılması yönünde önlemlerin alınmasını zorunlu hale getirmiştir. Enerjinin mimarlık alanında tasarımı yönlendiren en önemli etkenlerden biri olduğu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının binalarda pasif ve aktif olarak kullanım sürecinin binanın tasarım aşamasından başlayarak önem kazandığı görülmektedir. Bu gelişmelerin sonucu olarak, bina tasarımlarında yerel anlamda enerji bağımsızlığı ile ilgili çalışmalar oldukça hız kazanmış ve bu araştırmalar pek çok ülke tarafından verimli bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Yerel anlamda enerji bağımsızlığı; hane, bölge ve tesislere, merkezi sistemin olası hatalarına bağlı kalmadan, kesintisiz ve güvenli bir şekilde enerji tedarik edilmesi ile sağlanmıştır. Yüksek enerjili sistemlerin ve yenilenebilir enerji kaynaklarının akıllıca karışımı sonucu başka kaynaklara ihtiyaç duyulmadan hem ana yük hem de dalgalanan talepler karşılanabilmiştir [8].

Ne yazık ki, günümüzdeki binaların çoğunluğu enerji açısından verimli değildir ve kullanıcılarına gerekli konforu sağlamak için gerekli olandan çok daha fazla enerji tüketmektedirler. Yaklaşık olarak toplam enerjinin %40'ı ve elektrik enerjisinin yarısından fazlası bina sektörü tarafından tüketilmektedir. Son yıllarda bina sektörü

alanında birçok önemli iyileştirme yaşanmış ancak yalnızca son 7 yıl içerisinde yapbozun parçaları bir araya getirilmiştir. Elbette yeni bir yöntem ortaya koymak beraberinde yeni çözümler gerektiren bazı problemlere neden olmuştur. Ancak mimarlar, enerji sistemleri mühendisleri ve diğer yapı tasarımcıları yeni çözümler sunmuşlardır. Bundan dolayı, enerji kaynaklarının etkin ve çevre dostu kullanımı için en iyi yol, enerji tüketiminin zorunlu olduğu durumların azaltılmasını açıklamışlardır. Yapı elemanları kullanılarak bina tasarımına entegre edilmesi ile iç mekanın ısıtılması, havalandırılması, serinletilmesi ve aydınlatılması üzerinden enerji tüketiminin azaltılması mümkündür [9]. Bu anlamda, çok az enerji gerektiren ve yıllık tükettiği kadar yenilenebilir enerji üreten binalar olarak tanımlanan Net Sıfır Enerjili Bina “NSEB” (Net Zero Energy Building-NZEB) gerçekçi bir çözüm olarak önerilmiştir. Enerji sektöründe net sıfır enerjili binaların önemi ve yeri Şekil 1.3’teki gibi anlaşılmaktadır. Ancak net sıfır enerjiye ulaşmak için genel geçer kuralları kullanmak yeterli değildir ve entegre simülasyon modellerinin kullanılması gerekmektedir.



Şekil 1.2. Enerji sektöründe Net Sıfır Enerjili Binanın yeri.

Bu noktada “Net Sıfır Enerjili”den ne anlaşıldığı ve işlem için gerekli olan enerji verimliliğinin stratejileri ne tür değişkenlere bağlı olduğu önem kazanmaktadır. Enerji performansı genellikle en yüksek yatırım getirisine sahip en uygun maliyetli çözümdür. Bununla birlikte enerji performansı yoluyla enerji ihtiyacını düşürmek için tüm uygun maliyetli tedbirleri kullanmakla birlikte kalan enerji ihtiyaçlarını karşılamak için, yeterli seviyede enerji üreten yenilenebilir enerji sistemlerini temel bir tasarım kriteri ve tüm SEB tasarımlarının en yüksek önceliği olmalıdır. Daha düşük

Çevresel etkiler, daha düşük işletme ve bakım maliyetleri, elektrik kesintilerine ve doğal afetlere karşı daha esnek sistemler ve gelişmiş enerji güvenliği de dahil olmak üzere net sıfır enerjili binalara doğru ilerlemenin uzun vadeli birçok avantajı vardır. Net sıfır enerjili bina temelleri hem yeni yapılarda hem de mevcut inşaatlarda (konut, endüstriyel, ticari) yenileme araştırmalarında birçok proje tipine uygulanabilmektedir. Dünya üzerinde farklı iklim bölgelerinde ve birçok ülkelerde NSEB temelleri zaman geçtikçe sayıları daha da artarak gerçekleşmeye devam etmiştir. Net sıfır enerjili bina “NSEB” hakkında bina performansı analizleri ile ilgili yapılan çalışmalar tezin ikinci bölümü olan literatür kısmında ayrıca belirtilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Net sıfır enerjili binaların tasarım stratejileri ile ilgili olarak yapılan araştırmalara ilişkin literatürde yer alan aşağıdaki çalışmalar incelenmiştir. Literatürde son 10 yılda binalarda enerji modellenmesi üzerinde çeşitli çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar üç kısma ayrılmaktadır; birinci kısımda bina performans analizi, binanın mimarisi değiştirilerek ve/veya yapısal malzemeleri iyileştirilerek, binaların enerji tüketimini bina enerji simülasyon yazılımları ile modellenerek oluşturulan modeller üzerinde uygulanan senaryolar ile enerji tüketimini azaltmayı hedefleyen çalışmalardan bahsedilmiştir. İkinci kısımda oluşturulan modellerde binalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını, sistemlerin performansını etkileyen faktörleri, sera gazı emisyonundaki azalmayı ve konutlarda yapısal değişikliklerin yapılması ile elde edilecek enerji tasarrufunu inceleyen çalışmalara yer verilmiştir. Ayrıca uygulanan senaryoların ekonomik analizini yapan çalışmalar hakkında da bilgi verilmiştir. Üçüncü kısımda net sıfır enerjili binalar konusuyla ilgili daha önce yazılmış tez çalışmaları, makaleler, araştırma yazıları, bildiriler ve duyurular incelenmiştir.

Bu mantık çerçevesinde NSEB'lara ışık tutan ve daha önceden gerçekleştirilen çalışmaları kapsayan literatür taraması sonuçları üç aşama altında değerlendirilmiştir;

1. aşama	Azaltmak (reduce) ve/veya Yeniden kullanmak (reuse)	Önerilen Yöntem	Bina enerji performans değerlendirmesi (BEP)
2. aşama	Üretmek (produce)	Önerilen Yöntem	Binaya entegre yenilenebilir enerji kaynakların kullanımı
3. aşama	Dengelemek (balance)	Sonuç	Net Sıfır Enerjili Binalar

2.1. BİNA ENERJİ MODELLEMESİ (BEM) VE BİNA PERFORMANSI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bina tabanlı enerji kullanımının ve çevreye olan etkilerin azaltılması, enerji kaynaklarına bağlı dışa bağımlılığın düşürülmesi açısından binalarda enerji verimliliği yaklaşımları büyük önem taşımaktadır. Binaların enerji açısından iyileştirilmesi ve ekonomik çözümlerin oluşturulması için mevcut durum analizlerinin detaylı bir şekilde yapılarak etkin iyileştirme senaryoları oluşturulmalıdır. Bu senaryoların yazılım tabanlı simülasyon programlarında optimize edilerek nihai karara varmak için temel noktasını oluşturmaktadır.

Karagözlü yaptığı çalışmada, binalarda enerji harcamasının azaltılmasına yönelik senaryoların kurluması ve bu senaryoların ilk yatırım maliyetlerine etkisinin incelenerek uygun değerleri sağlayan yöntemlerin geliştirilmesi amacıyla İstanbul Acıbadem semtinde bir toplu konut projesine E-Quest bina simülasyon programını uygulamıştır. Bu kapsamda, mevcut konutlardaki enerji tüketimi hesaplamak amacıyla binanın modelleme analizi yapılmıştır. Modelleme sonucunda yıllık ısıtma, soğutma ve aydınlatma tüketim değerleri saptanmıştır. Minimum enerji giderlerinin sağlanabilmesi için hesaplanan enerji tüketiminin azaltılmasına ilişkin öneriler incelenmiştir. Bu alternatifler, tasarım sürecinde alınması gereken parametrelere yönelik olarak farklı senaryolar önerilmesi ve bina yapısının mevcut yapı elemanları katmanlarının düzeltilmesini kapsamaktadır [10].

Tıkr tarafından yürütülen çalışmada, İstanbul'da mevcut bir binanın dış yapısının enerji etkin yenilenmesinde kullanılabilecek alternatifler belirlenmiş ve bu alternatiflerin binanın enerji tüketimine ve CO₂ salınımına etkilerini EnergyPlus simülasyon programının görsel ara yüzü olarak DesignBuilder aracılığıyla incelenmiştir. İstanbul'un eski konut örneklerini bulunduran Ataköy mahallesindeki A tipi bina, mevcut binaların yenilenmesinde bir örnek olarak alınmış ve enerji etkin yenileme alternatiflerinin ekonomik etkinliği değerlendirilmiştir. Simülasyonlar bina yapısına yalıtım malzeme uygulanmasının ve yapının güney cephesinde bulunan balkonun camlanarak kapatılmasının binanın enerji tüketiminin miktarını azaltılmasında en olumlu etkiyi gösteren yöntemler olduğunu göstermiştir. Uygunluğu

belirlenen seçenekler seçilen binaya uygulanarak elde edilebilecek enerji tasarrufları ve binaya uygulanan yenilemenin geri ödeme süresi elde edilmiştir [11].

Farklı ortam koşulları ve bina özellikleri için, Eskin 2009 yılında yaptığı çalışmada, binaların HVAC sistemin ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki etkisini incelenmiştir. EnergyPlus simülasyon aracı vasıtasıyla elde edilen sonucunda, binanın bulunduğu iklim bölgesinin, bina yerinin, yıllık ısıtma ve soğutma yükleri enerji harcaması üzerindeki etkisi irdelenmiş ve sonuçlar her iklim bölgesi için ayrı bir şekilde sunulmuştur [12].

2009 yılında İzmir İleri Teknoloji Enstitüsü-Urla-İzmir’de bulunan İdari Bina’nın enerji performansı, statik ve dinamik yöntemler ile Yaman ve Gökçen tarafından hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada binalarda enerji performansı belirleme yöntemleri tanıtılmış. Statik yöntem olarak Türkiye’de zorunlu standart olarak kullanılan TS 825, dinamik yöntem olarak ise basit dinamik hesap yöntemi olan CIBSE Isıl Girişkenlik yöntemi ile detaylı dinamik hesap yöntemi olan ASHRAE Isıl Denge yöntemi kullanılmıştır. CIBSE ısı girişkenlik yöntemini temel alan ECOTECH ve ASHRAE Isıl Denge yöntemini temel alan EnergyPlus yazılımlarının kullanımı ile İdari Bina simüle edilmiş, elde edilen sonuçlar gerçek enerji tüketim ölçümleri ve statik TS 825 yöntemiyle karşılaştırılmıştır [13].

TOKİ (Toplu Konut İdaresi) tarafından kurulan bir bina projesinin, Türkiye’nin farklı iklim bölgelerine yönelik enerji modelleme simülasyonları Mangan ve Oral tarafından yapılmış, mevcut enerji tüketimlerinin ve CO₂ salınımının düşürmesi için alternatif yöntemler geliştirilmiştir. Her bir alternatif senaryosu için enerji modelleme simülasyonları ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve uygun yöntemin belirlenmesi hedeflenmiştir. EnergyPlus ve PV*SOL Expert programı kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Çalışmada incelenen enerji etkin alternatifler aracılığı ile mevcut durumdaki soğutma ve ısıtma amaçlı enerji harcamalarının ve bu enerji harcamalara bağlı CO₂ salınımlarının azaltılabileceği ve yenilenebilir enerji sistemlerden üretilen enerji miktarları ile mevcut enerji tüketimlerinin karşılanabileceği ve CO₂ salınımlarında azaltım sağlanabileceği belirlenmiştir [14].

Durmuş ve Önal tarafından 2014 yılında gerçekleştirilen çalışmada Avrupa Birliği standartları esas alınarak Türkiye'nin Gaziantep bölgesinde inşa edilen Kabul, Tarama ve Barınma Merkezi (A-Blok) binasının enerji performans kimliğini araştırılmıştır. Bu yapı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından kurulan BEP-TR (Bina Enerji Performansı) Programı kullanılarak binanın enerji verimliliği ve enerji kimlik belgesi açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler karşılaştırılarak AB standartlarında kurulan binanın enerji sertifikasyonu belirlenmiştir [15].

Ankara'da bulunan müstakil bir konutta enerji ihtiyacının azaltılmasının oranı Güğül tarafından 2016 yılındaki doktora tezinde araştırılmıştır. Binanın ısıtma amaçlı saatlik enerji ihtiyaç modeli ESP-r bina enerji modelleme aracı kullanılarak oluşturulmuştur. Konutun ısıtma talebi tahmini ile ısıtma amaçlı doğalgaz ölçüm verileri arasındaki farkın %28 olduğu görülmüştür. Konutun ısıtma talebini azaltmak için konutun fiziksel yapısında iyileştirmeleri (pencere camı, dış duvar ve çatı yalıtımı) ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını (fotovoltaik panel, güneş enerjisi ile su ısıtma sistemi, toprak kaynaklı ısı pompası) öngören senaryolar modele uygulanmıştır. Senaryo sonuçlarının tekno-ekonomik analizleri, konutta fiziksel yapıda iyileştirmelerin öngörüldüğü senaryoların enerji tasarrufu ve CO₂ salımı azalması açısından tercih edilebilir olduğunu göstermiştir. Fotovoltaik panel ve toprak kaynaklı ısı pompası kullanımının geri ödeme süresinin yüksek çıkması sebebi ile İç Anadolu iklimi için tercih edilmeyecekleri sonucuna varılmıştır. Güneş enerjisi ile su ısıtma sisteminin kabul edilebilir bir geri ödeme süresinin olması ve %68 enerji tasarrufu sağlanabilmesinden dolayı konutta uygulanmasının makul olacağı sonucuna varılmıştır [16].

Az katlı bina tipolojisinde, pasif ev yaklaşımı tasarım kriterlerinin bina enerji performansına etkisi 2012 yılında Akyol'un yaptığı çalışmada incelenmiştir. Yaptığı çalışmada tasarım parametreleri ilgili standart ve yönetmeliklere göre oluşturulmuştur. Sıcak iklim bölgesinde (Antalya gibi) DesingBuilder v3 simülasyon aracı kullanılarak; pasif ev tasarım kılavuzları, bina yapısının optik ve termofiziksel özellikleri, pencere ölçüleri, bölgesel gölgeleme elemanı kullanımının bina enerji performansına etkisi simüle edilmiştir. Antalya ili için; lineer ve geniş cephesini güneşe açan plan tipolojisinin uygun yönlenme ve form olduğu sonucuna varılmıştır. Bina

enerji performansı üzerinde bina elemanlarının etkisi tespit edilmiş ve bina elemanı ölçeğinde alınabilecek alternatifler değerlendirilmiştir. Analizler ile elde edilen sonuçlar pasif yaklaşım kriterlerinin etkinliğini sayısal değerler ile ortaya koymuştur. Önceden hedeflenmiş bina performansına ulaşmak için yönlenme, form ve kabuğun optik ve termofiziksel özelliklerinin hangi oranda etkili olduğunun bilinmesi sağlanmıştır [17].

2.2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ BİNALARDA KULLANILMASINI ÖNGÖREN MODELLEME ÇALIŞMALARI

Bu kısımda, oluşturulan modellerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını öngören, öngörülen sistemlerin performansını etkileyen faktörleri ve bu sistemler ile elde edilecek enerji tasarruflarını inceleyen çalışmalardan bahsedilmiştir. Bu çalışmalarda konutta bulunan mevcut ısıtma/soğutma sistemi yenilenebilir enerji kaynağı kullanan cihazlarla değiştirilmiş veya konutta elektrik tüketimi yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanmıştır. Buna ek olarak, uygulanan senaryolar ile elde edilecek sera gazı emisyonundaki azalmayı inceleyen çalışmalara da yer verilmiş ve son olarak farklı metotların modelleme çalışmalarındaki performansının incelendiği çalışmalardan bahsedilmiştir.

Yenilenebilir enerji sistemlerinden yararlanılarak bir binanın enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla Bayar ve Atılgan tarafından 2015 yılında bir tasarım çalışması yapılmıştır. Yeşil bina özelliklerini taşıyabilmesi için konutta gerekli ısı yalıtımı yapılmış, enerji tüketimi az olan elektrikli ev aletleri kullanılmış, geri dönüşümü olan ve dış ortama zarar vermeyen malzemelerden faydalanılmıştır. Ayrıca konutun elektrik enerjisi şebekeye bağlı PV panellerinden, ısıtma-soğutma ve sıcak su gereksinimi ısı pompası ile güneş kolektörlerinden, kullanım suyu ise yağmur suyu depolama sistemlerinden karşılanmıştır. Enerji ve ekonomik analiz sonucunda yeşil bina yaklaşımının tasarımının doğru olduğu ve yeşil bina kurulumunun uygulanabilir olduğu sonucuna elde edilmiştir [18].

2009 yılı Ekim ayında Muğla Üniversitesi'ne yerleştirilmiş olan eşdeğer bileşenlere ve eşdeğer güce sahip iki PV sistemden ölçülmüş değerleri Eke yaptığı çalışmasında

simüle edilmiş değerler ile karşılaştırmış ve elde edilmiş enerji değerleri arasında %5 ten daha az fark olduğunu görmüştür. Çalışmada, PV sistem öncelikle 28° sabit eğim açısında tutulup daha sonra da iki eksenli güneş takip sistemi ile güneşin iki açısı (azimut ve solar altitude açıları) takip ettirilerek gerekli ölçümleri yapmıştır. Sonucunda iki eksenli güneş takip sistemi ile sabit açılı sisteme oranla %30,79 daha fazla elektrik elde edildiği belirtilmiştir [19].

İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Kampüsü'nde mevcut Enerji Enstitüsü binaları için binaların çatılarına kurulacak, şebekeden bağımsız bir PV paneller PV*SOL yazılımı kullanarak Ceylan tarafından tasarlanmış ve benzetim yapılmıştır. Benzetim sonucu %72,3 verimle çalışan fotovoltaik sistemin, enstitünün yıllık elektrik tüketiminin %25'ini karşılayacak miktarda yıllık 88.642 kWh elektrik enerjisi üreteceğini ve enerjinin birim maliyetini 0,95 TL/kWh olarak hesaplamıştır [20].

Haydaroğlu ve Gümüş yaptıkları çalışmalarında Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde kurulu olan 250 kWp kurulu gücündeki güneş enerjisi santralini PVsyst programını kullanarak simüle etmişler ve standartlarca belirlenen performans kriterlerine uygunluğu uyarınca analiz etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, gerçek üretim değerleri ve simülasyon çıktılarını da karşılaştırıp Aralık ve Ocak aylarında sonuçların birbirinden uzak olduğunu fakat Şubat, Mart ve Nisan aylarında sonuçların birbirine yaklaştığını ve Ocak ayı haricinde gerçek üretim değerlerinin simülasyon çıktılarında daha fazla olduğunu belirtmişlerdir [21].

Tozlu, Muğla Üniversitesi kampüsünde bulunan bir kafeterya çatısına yerleştirmiş 214 modül ile toplamda 25,6 kWp kurulu güce sahip fotovoltaik sistemin çalışma karakteristiğini incelemiştir. Sistem bileşenleri ve çalışma prensiplerini detaylı olarak anlatmıştır. Gözlemlenen ve elde edilen değerler ile daha önceden simüle edilmiş değerler arasında çok fark olmadığını belirtmiştir [22].

Suda yaptığı çalışmasında Muğla Üniversitesinde kurulmuş olan 25,6 kWp güce sahip binaya entegre PV sistemin 2004, 2005 ve 2006 yılları için performansını incelemiştir. Çalışmasında güneş ışınımı ve sıcaklığın sistem verimine etkilerini de araştırmıştır. Kurulu fotovoltaik sistemin tanımını yapmış, 120 Wp güçte 214 adet poli-si PV panel

ve 1650 Wp güçte çalışan 15 adet eviriciden oluştuğunu, PV panellerin 290 m²'lik çatı alanına 18° eğim açışı ile güney-batı yönünde yerleştirildiğini belirtmiştir. Sistemin yıllık ortalama enerji üretiminin üç yıl için sırasıyla 35681 kWh, 31246 kWh ve 29178 kWh olduğunu ve sistem veriminin %8,5 ile %11 arasında değiştiği sonucuna varmıştır. Sistem veriminin panel sıcaklığı arttıkça azaldığını belirtmiştir. Sisteme ait performans oranlarını üç yıl için sırasıyla 0,80, 0,81 ve 0,79 olarak hesaplamış ve Muğla bölgesinin fotovoltaik sistem uygulamaları için yüksek potansiyele sahip olduğuna değinmiştir [23].

Sekuçoğlu yaptığı çalışmasında fotovoltaik sistem, rüzgar enerji sistemi ve hibrit sistemlerden elektrik enerjisi üretimini inceleyip, sistemlerin tasarlanıp karşılaştırılmasını ve ekonomik analizlerini yapmıştır. Sistem tasarımlarını gerçekleştirip, sistemlere ait teknik-ekonomik parametrelerin belirlenmesinde PVsyst ve HOMER programlarını kullanmıştır. Tasarım yerleri olarak Kırklareli, Belen, Konya, Karaman, Sinop ve Gelibolu'yu seçmiştir. Sistem ekonomik analizi ve birim enerji fiyatlarını yıllık 1500 kWh, 2500 kWh ve 3500 kWh'lik üç farklı yükleme durumunda inceleyip, kapasite yetersizlik oranının sistemler üzerindeki etkisini araştırmıştır. Sistemleri, şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı olarak ele almış, şebekeden bağımsız hibrit sistemlerin, fotovoltaik sistem ve rüzgar enerji sistemlerine göre daha ekonomik olduğunu belirtmiştir. Analiz sonuçlarına göre şebeke bağımlı sistemlerin şebeke bağımsız sistemlere göre daha ekonomik olduğunu belirtmiştir [24].

Keskin yaptığı çalışmasında Türkiye'nin farklı bölgelerinden seçilen yedi il için, farklı özelliklere sahip fotovoltaik paneller kullanarak şebekeden bağımsız enerji depolamalı fotovoltaik sistem modellemeleri gerçekleştirmiş ve maliyet analiz çalışmalarını yapmıştır. Fotovoltaik sistem modellemelerinde PVsyst programını kullanmıştır. Programın şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerin modellemesinde kullanımını, seçtiği yedi il ve üç farklı fotovoltaik teknoloji ile gerçekleştirdiği sistemin tasarım ve modelleme aşamalarını anlatarak modelleme sonuçlarını irdelenmiştir [25].

Kumar vd. yaptıkları çalışmalarında PVsyst programını kullanarak, 100 kWp şebeke bağlantılı poli-Si fotovoltaik sistemin performans analizini simüle etmişlerdir.

Simülasyon programının veri tabanındaki sıcaklık ve güneş radyasyonu gibi değerler kullanılarak, bir kampüsün elektrik ihtiyacını karşılamak üzere kurulacak sistemde 310 W güçte 323 adet poli-Si fotovoltaik modül ve 20 kW güçte 4 adet evirici kullanılmışlardır. Sistemin 165,38 MWh/yıl elektrik enerjisi ürettiği, 161,6 MWh/yıl enerjinin de şebekeye verildiği, sistemin performans kapasitesinin %80 olduğu ve kullanılabilir enerjinin 4,42 kWh/kWp/gün olduğu sonucunu elde etmişlerdir [26].

2.3. NET SIFIR ENERJİLİ BİNALAR ÖNGÖREN MODELLEME ÇALIŞMALARI

Net ve/veya Yaklaşık Sıfır Enerjili Binaların tasarım stratejileri ile ilgili olarak yapılan araştırmalara ilişkin literatürde yer alan aşağıdaki çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmaların bir kısmı üniversiteler tarafından yürütülen tez çalışmaları, bir kısmı da uluslararası raporlardır.

Güney cepheden maksimum alanda yararlanmak amacıyla asimetric bir çatıya sahip olan ve çatı eğim açısı 24° olan Antalya’da bulunan iki katlı müstakil bir ev “neredeyse sıfır enerjili bina’ya dönüştürme amacıyla Adıgüzel ve Javani tarafından gerçekleştirilen çalışmada 2016 yılında incelenmiştir. Evin yıllık elektrik miktarının ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının güneş sistemleriyle karşılanması amaçlanmış, bu kapsamda her iki sistemden de en uygun şekilde yararlanmak amacıyla panellerin monte edileceği yönün verime etkisi bilgisayar araçları yardımıyla belirlenmiştir. Simülasyonlarda düzlem ve vakum tüplü kolektörler kullanılarak verimleri karşılaştırılmıştır. Güneş enerjili sıcak su sistemlerinde vakum tüplü güneş kolektörlerin güneydoğuya bakan çatıya yerleştirilmesinin en verimli olduğu görülmüştür. Güneydoğuya bakan çatı, PV sistemler için uygun olsa da eğer aktif montaj yüzey alanı yeterliyse, kuzeybatı yönlü çatının enerji gereksinimini karşılayacağı belirlenmiştir. Kuzeybatı ve güneydoğu yönlü aynı PV panel sayısı bulunan iki PV sistem karşılaştırıldığında güneydoğu yönlü sistemin, kuzeybatı yönlü sisteme göre %39.79 daha yüksek elektrik miktarı ürettiği saptanmıştır [27].

Altun tarafından 2016 yılında gerçekleştirilen çalışmada, yaklaşık sıfır enerjili bina sertifika sistemlerinin dünya genelinde en çok kullanılan LEED, BREEAM

sertifikalarının yanı sıra Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanan Ulusal Yeşil Bina Sertifikası da incelenmiştir. Ayrıca bu sistemlerin değerlendirme yöntemleri, performans kriterleri, enerji performansı sınıflandırma kriterleri karşılaştırılmıştır. Bunların yanı sıra hali hazırda bulunan bir otel binası, TSE Yeşil Bina Sertifikasyonu enerji verimliliği kriterlerine uygun bir şekilde yenilenmiştir. Bu sayede binada enerji tasarrufu sağlanmış ve sera gazı salınımı azaltılmıştır [28].

Gökbayrak tarafından 2016 yılında gerçekleştirilen çalışmada, yaklaşık sıfır enerjili bina sertifikasyon sistemleri araştırılmış ve bu sertifikasyon kriterlerine göre kıyaslama yapılacak ülkeler 2015 İnsani Gelişmişlik Raporu'na göre belirlenmiştir. Daha sonra da bu sertifikasyon sistemlerinden en çok kullanılan LEED değerlendirme sisteminden elde edilen veriler ile yaklaşık sıfır enerjili bina sayıları, türleri, sertifika tipleri, yeni ve mevcut binalar için LEED kriterleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda gelişmiş ülkelerde bu sertifika sayısının daha fazla olduğu belirlenmiştir. Kriterlerden alınan toplam puanlara bakıldığında ise ülkelerin farklı kriterleri yerine getirmede zorluk yaşadığı belirlenmiştir [29].

Avrupa'da 2020 yılından itibaren yeni binaların yaklaşık sıfır enerjili binalar olarak dizayn edilmesinin hedeflenmesinden bahsedilmiştir. Taşkın tarafından 2017 yılında gerçekleştirilen çalışmada binaların sızdırmaz bir şekilde tasarlanması ve ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının bu binalarda kullanılmasıyla gerekli olan ısıtma ve soğutma yüklerinin en aza indirgeneceği sonucuna ulaşılmıştır. Yaklaşık sıfır enerjili bina sertifikasyon sistemlerinde çevre dostu binalar yapılmasında ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının enerji tüketimini minimuma indirmesinin yanı sıra CO₂ salınımlarını da azaltacağı sonucuna ulaşılmıştır [30].

Osmançelebioğlu tarafından 2015 yılında gerçekleştirilen çalışmada sürdürülebilirlik ve yaklaşık sıfır enerjili bina kavramları ile günümüzdeki kaynakların yetersiz olduğundan ve bu kaynaklardan minimum bir şekilde yararlanıp maksimum enerji elde edilebilmesi üzerinde durulmuştur. Bu çalışmaların mimarlık ve inşaat sektörü üzerine yansımaları irdelenmiş yaklaşık sıfır enerjili bina uygulamaları somut ve objektif olarak karşılaştırılarak ülkemizdeki örnekleri incelenmiştir [31].

2015 yılında enerji verimliliği hakkında bilgilendirme yapılmış ve enerji verimliliği açısından çok önemli olan yaklaşık sıfır enerjili bina sistemlerinin değerlendirilmesi hakkında Öztürk tarafından gerçekleştirilen çalışmada bilgiler verilmiştir. Daha sonra dünyadaki ve Türkiye'deki sistemler karşılaştırılmış ve sertifikasyon sistemleri arasındaki benzerlikler ve farklılıklar anlatılmıştır. Bunun sonucunda uygulanmakta olan standartların Türkiye'de uygulanan yönetmeliklere Türkiye'nin coğrafi ve kültürel yapısına uygun olarak nasıl adapte edileceğinden bahsedilmiştir [32].

Çakmanus 2011 yılında yayınladığı makalede yüksek enerji performanslı net sıfır enerjili binalar (NSEB) ve yaklaşık sıfır enerjili binaların (nSEB) ne olduğu, nasıl değerlendirilmesi gerektiği üzerinde durmuştur. Net sıfır enerjili (NSEB) binaların yapılmasının çok büyük yatırımlar gerektirmediği vurgulanmıştır. nSEB binalarda bina yapısının performansının yükseltmesi (HVAC yükleri minimize edilmeli), diğer yükler için doğal havalandırma, ısı depolama, serbest soğutma, ısı geri kazanım, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, yüksek verimli ısıtma ve soğutma sistemleri kullanımı, dengeleme, ayar, test vb. yapılması gerektiği üzerinde durulmuştur. Tüm bunların HVAC sistemlerinin yüklerini düşürdüğü için böylesi binaların ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olacağı şeklindeki değerlendirmelerin doğru olmadığı, buradaki ilk yatırım maliyeti artışının %10 mertebesini geçmediği vurgulanmıştır. Ayrıca bu binalarda CO₂ salınımlarının minimize edildiği dolayısıyla da bu binaların çevre dostu olduğu vurgulanmıştır [33].

Türkiye iklim şartlarında NSEB tasarımı için 2013 yılında Utlu ve Tekin yaptıkları çalışmada, olası çözümleri bulmak amacıyla simülasyon araçları kullanarak bina malzemelerinin yıllık enerji tüketimine etkisini incelemiştirler. Belirlenen iklim şartlarında yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik ve güneş kollektör sistemi kullanılmasının NSEB için uygunluğu araştırılmıştır. Farklı tasarım alternatifleri karşılaştırılarak binadaki kullanılan enerji sistemleri için optimum şartlar belirlenmiştir. İdeal dış cephe tasarımı ile enerji gereksinimlerinin minimize edilebildiği, ideal ev tasarımının orijinal tasarıma göre %31 dolaylarında ısı enerjisi tasarrufu sağladığı sonucuna varılmıştır [34].

NSEB konuya yönelik başka ülkelerde farklı çalışmalar yapılmıştır. İtalyada yapılan bir çalışmada, 1950-1990 yıllarında inşa edilen konutların NSEB olarak iyileştirilmesi amacıyla esnek bir iyileştirme çözümü önerilmiştir. Tipik bir apartman örnek çalışma olarak seçilerek fotovoltaiik (PV) panelleri içeren yeni bir modüler cephe sistemi tasarlanmıştır. Sistem sayesinde güneş enerjisinden en yüksek seviyede faydalanılmaktadır. Ayrıca, önerilen sistem bina kabuğuna yalıtım sağlayarak binanın ısı geçirgenliğini iyileştirmiştir. Binada uygulanan yerinde enerji üretimi ile NSEB standardına ulaşılmıştır [35].

Avusturya’da yapılan bir çalışmada ise, net sıfır enerjili olarak iyileştirilen bir konut ele alınmıştır. Konutun kabuğu ön yapımlı cephe ve çatı elemanları ile yüksek performanslı olacak şekilde iyileştirilmiştir. Ayrıca, konutta bina hizmetleri için ön yapımlı elemanlar kullanılmıştır. Binada PV elemanlar ile yerinde enerji üretimi sağlanarak, şebeke bağlantılı NSEB standardına ulaşılmıştır [36].

Caskey vd.’nin yaptıkları çalışmada, ABD’de 1920’lerde yapılmış tekil bir konutu NSEB olarak iyileştirmek amacıyla iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama mevcut konutun enerji analizlerinin yapılmasıdır. İkinci aşama bina kabuğunun ısı yalıtımı uygulanarak iyileştirilmesi ve PV-termal güneş sisteminin kurulumudur. Çalışmaya göre iyileştirme sonrası konut net sıfır enerji hedefine ulaşamamış, ancak güneş sistemi tüketilen saha elektriğinin %60’ını üretmiştir. Ayrıca, iyileştirme sonrası konutun yıllık ısıtma talebi yaklaşık %50 oranında azalmıştır [37].

Pihelo ve Kalamees yaptıkları çalışmada, Estonya’da bulunan eski bir apartman binasını sıfır enerjili binaya dönüştürmek amacıyla U değerleri 0.10-0.12 W/m²K olan yalıtımlı ahşap çerçeve elemanları kullanmıştır. İyileştirme sonrası yapılan hava sızdırmazlığı, ısı akısı ve sıcaklık ölçüm sonuçlarında tasarım değerlerine göre bazı sapmalar görülmüştür. Bunun nedeni, elemanların hatalı birleşim noktalarıdır. Dolayısıyla, yalıtımlı ahşap çerçeve elemanları ile yüksek kaliteli ve sürdürülebilir iyileştirme için şantiyede kapsamlı denetim ve sıkı kalite kontrol kurallarının gerekli olduğu vurgulanmıştır [38]. Net sıfır enerji binalarını inceleyen diğer bazı çalışmalar Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

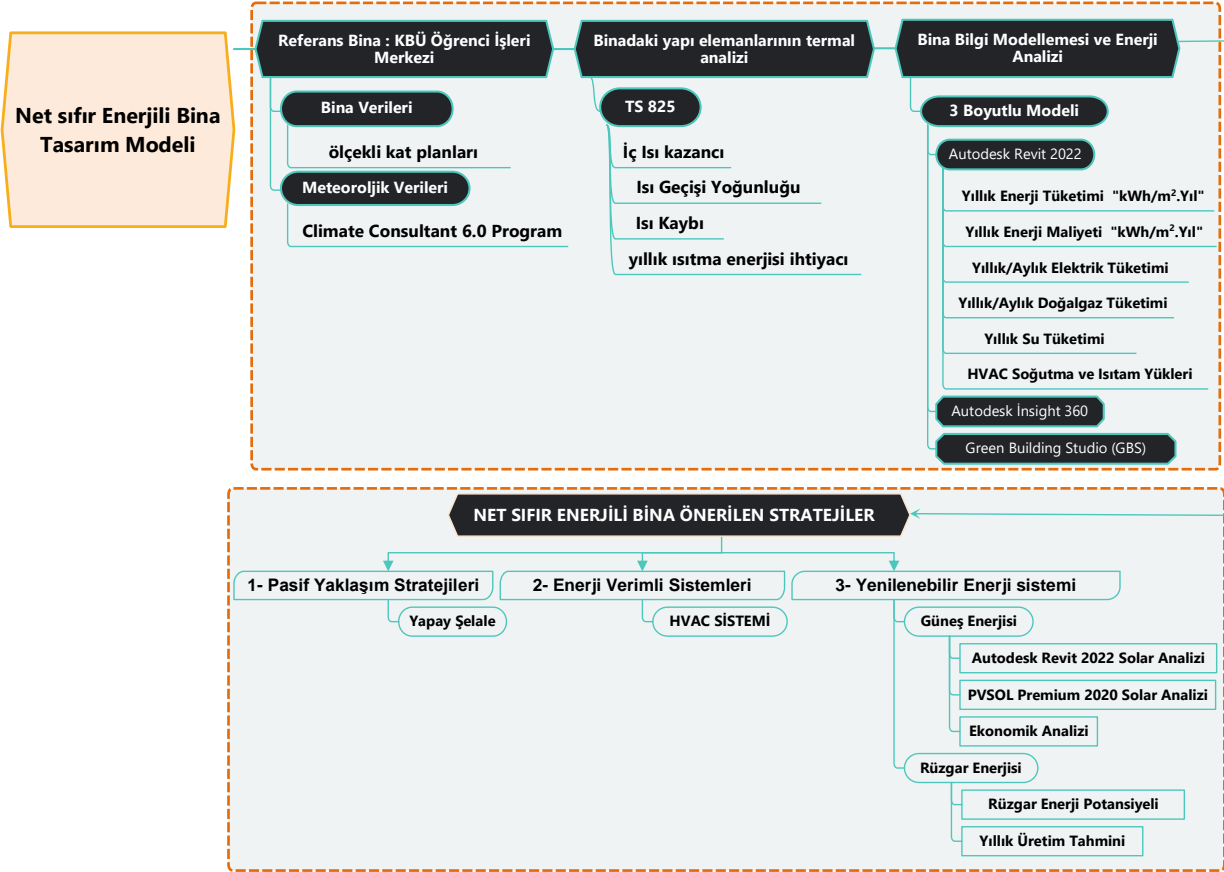
Çizelge 2.1. Özel Binalar üzerine net sıfır enerji analizini inceleyen çalışmalar.

Yazar		Arda (2020)[39]	Hüseyin(2019)[40]	Ömer (2017) [41]	Ayşe (2019)[42]		
İklim bölgeleri		Akdeniz	Marmara	Karasal	Akdeniz		
Ülke		Türkiye	Türkiye	Türkiye	Türkiye		
Bina Tipi		Aile Sağlık Merkezi Binası	Müstakil Bir Ev	Erzurum Havalimanı Terminal Binası	Dokuz Eylül Üniversitesi içerisinde ofis binası		
Simülasyon Aracı		Matematiksel Model	HAP 4.4/ PVGIS programı	DesignBuilder / EnergyPlus	EnergyPlus		
Tasarım Değişkenleri		Isıtma ve soğutma sistemi	Isıtma ve soğutma sistemi	Sıcaklığa bağlı Değişkenler hesabı	Bina Kabuğu		
Enerji tüketimi (kWh/m ²)	Yenileme öncesi	Elektrik	20141,83	4300	3.059.258	221,30 kWh/m ²	
		Soğutma	34876,17	2200			
		Isıtma	288	6300			4.410.033
		Sıcak Su					
	Yenileme Sonrası	Elektrik	20141,83	4300	904.314		alternatif 1 ile %15,92, alternatif 2 ile %14,91 azaltılmıştır
		Sıcak Su	34876,17	2200	-		
		Soğutma	288	6300	-		
		Isıtma			-		
Enerji üretimi	PV	21 kWp	4.468 kWh	904.267 kWh	109,87kWh/m ²		
	Rüzgar	-	-	-	-		
	Bio	-	-	-	-		
Sonuç		Isıtma ve soğutma için ısı pompasıyla beraber binanın diğer elektrik ihtiyacını büyük oranda karşılayacak PV sistem kullanımı bütün senaryolarda daha avantajlı çıkmıştır.	Ekonomik olarak da 16 yıllık geri ödeme süresinin iyileştirilmesi için üzerinde çalışılması gerektiği ortaya çıkmıştır.	Erzurum Havalimanı Terminal Binasının NSEB formuna dönüştürülmesinin önemli enerji tasarrufları sağlayacağı ve CO ₂ salınımını azaltacağı sonucuna varılmıştır.	Bina cephesi yeniden tasarlanması ve yardımcı sistemlerin eklenmesiyle nSEB kriterlerinin sağlanması hedeflenmiştir.		

Literatürdeki çoğu çalışmada, yapı kabuğunun, binanın enerji bütçesini ve konforunu diğer sistemlerden daha fazla etkilediği görülmektedir. Yüksek performanslı bina modelleme sürecinde iklim koşullarına özgü yönergeler göz önünde tutulmalıdır. Ilıman veya sıcak ve nemli bölgelerde kullanılacak stratejiler ile sıcak ve kurak iklimlerdeki stratejiler birbirinden farklıdır. Literatürde, enerji etkin / neredeyse sıfır enerji / enerji verimli binalarla ilgili çalışmaların, yapıyı bütünsel olarak ele aldıkları veya yapı bileşeni açısından inceledikleri görülmüştür. Optimizasyon amaçlı simülasyon yöntemi kullanan çalışmalar ise yapı ile ilgili (gün ışığı veya ısıtma-soğutma yükleri ile ilgili çalışmalar gibi) kısıtlı değişkenlere odaklanmıştır. NSEB kriterlerini sağlayan ofis yapılarında, “pasif yaklaşımlar”, “enerji verimliliği yaklaşımı” ve “yenilenebilir enerji yaklaşımı” kapsamında (mevcut meteorolojik şartlarda) ne tür bir strateji olabilir sorusu, bu tezin odak noktasını oluşturmaktadır.

2.4. TEZİN AMACI VE KAPSAMI

Yapılan bu tezin temel amacı, Karabük Üniversitesi Kampüsü içinde Öğrenci İşleri Merkezi (ÖİM) binası'nın enerji ve ekonomik performans analizini yapmak, ortaya çıkan veriler ışığında binayı net sıfır enerjili bina/neredeyse net sıfır enerjili bina formuna dönüştürmektir. Çalışmada ilk olarak TS825'e göre binanın termal analizi yapılmıştır. Enerji ihtiyaçlarının belirlenmesi için Autodesk Revit 2022 programı kullanılmıştır. Sonraki aşamada ise, pasif çözümler değerlendirilerek en uygun olanları tasarlanmış, binanın mimari tasarımında değişiklikler yapılmadan enerji ihtiyaçları en aza indirilmiştir. Binanın mimari özellikleri ve kullanım tipi göz önüne alınarak uygun HVAC sistemler seçilmiştir. Son bölümde ise binanın enerji üretimi olmadan yıllık tüketeceği birincil enerji miktarı belirlendikten sonra uygun yenilenebilir enerji sistemi seçilerek yıllık tüketiminin ne kadar düşürülebileceği gösterilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen sonuçlar irdelenerek yorumlanmış ve karşılaştırılmıştır. Çalışma; teori ve varsayımların ötesinde simülasyon verilerine de dayanması nedeniyle konuya olan ilgiyi teşvikle birlikte, var olanların yanında yeni bir örnek oluşturabilmeyi de hedeflemektedir. Çalışma kapsamında yürütülen yöntemle ait Net sıfır enerjili bina tasarım modelinin akış şeması Şekil 2.1'de yer almaktadır.



Şekil 2.1. Net sıfır enerjili bina tasarım modelinin akış şeması.

BÖLÜM 3

NET SIFIR ENERJİLİ BİNALAR “NSEB”

Dünya üzerindeki kaynakların hızla tükenmekte olması ve kullanılan enerji miktarının hızla artması sonucunda ekosistemin dengesi bozulmaktadır. Bu durum hem çevreyi koruma konusunda hem de enerji kullanım miktarı üzerinde yeni stratejilerin oluşmasına neden olmuştur. Hem uygulama hem de yasal düzenlemelerde; yeşil binalar, pasif binalar, sürdürülebilir çevre gibi terimler yukarıdaki süreçlerin sonuçları olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle enerji performansı veya verimliliği konusu ve CO₂ salımlarının ve yaşanan enerji krizlerinin yarattığı iklim değişikliği gerçeği ile birleşince, küresel ölçekte ürün ve hizmet alımlarındaki karar verme süreçlerinde önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır ve aynı zamanda yasal düzenlemelerde de yer almaktadır. Bu noktada farklı ülkelerde enerji performansı alanında 1970’lerden beri uygulanan en önemli stratejilerden biri bina normları ve standartlarıdır. Binalarda yüksek enerji performansının sağlanabilmesi için bu konuda yürürlükte olan enerji etkin bina yaklaşımı yönetmelik ve normlarına uyulması önem taşımaktadır. Binalarda enerji performansı (BEP), tüketilen enerji miktarı ile belirlenen bina enerji verimliliği göstergesidir. Bina Enerji Performansı (BEP) konusunda tüm dünyada yapılan çalışmalarda Net Sıfır Enerjili Bina “NSEB” kavramı karşımıza çıkmaktadır.

3.1. NET SIFIR ENERJİLİ BİNA TANIMI

Özünde, net sıfır enerji bir binanın bir yıl boyunca ürettiği ve tükettiği enerjinin performans ölçüsüdür. Net sıfır enerjinin bu tanımını iki anahtar kavram oluşturur. Birincisi, yani net kavramı, bir yıl boyunca projenin yenilenemeyen enerji kaynaklarını (fosil yakıt ve nükleer) kullanılabilen ve yenilenemez enerji kullanımını dengeleyebilmesi veya aşabilmesi için yeterli yenilenebilir enerji üretilmesi anlamına gelir. Sıfır enerji kavramı ise binanın hiç enerji kullanmadığı

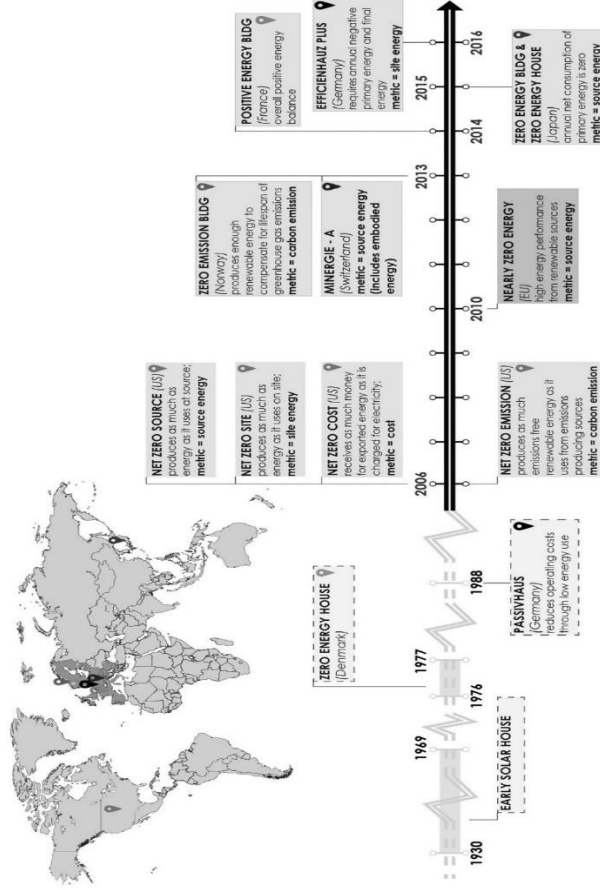
anlamına gelmez; aksine tüm talep saatleri için binaların net sıfır enerji konumuna ulaşması anlamına gelmektedir. İkinci anahtar kavram ise çalışma sürecidir. Net sıfır enerji, operasyonel bir hedefdir. Performansın ölçülmesi için süre, tüm mevsimsel değişiklikleri içerecek şekilde bir yıllık çalışmadır. Tasarımda net sıfır enerji göstermek mümkündür. Aslında bu, net sıfır enerji elde etme sürecinin bir parçasıdır. Ancak gerçek bir net sıfır enerjili bina, fiili ölçülen operasyon yoluyla elde edilmelidir [43].

Tanımda operasyon kavramının kullanılması, net sıfır enerjiye yaklaşımı değiştirmiştir. Bu kavramı sadece tasarım işleyişi değil, projenin teslimat işlemini de içermektedir. Bu işlem süreci uzatır fakat mal sahibi, bina sakinleri, inşaat ve tasarım mühendisleri arasında bir döngü oluşturmayı teşvik eder. Net sıfır enerji için tasarım sadece bir aşamadır; aslında net sıfır enerjili bir bina olarak faaliyet göstermek asıl amaçtır. Operasyon, aynı zamanda performans değerleri, karbon emisyonu azalmaları, maliyet tasarrufları, ölçülebilir faydalarla sonuçlanması anlamına da gelir.

Net sıfır enerjili binalar çok düşük enerjili binalardır. Bu noktadaki vurgu önemlidir. Net sıfır enerjiye ulaşmanın amacı, enerji verimliliğinden bağımsız olarak bir proje için yeterli yenilenebilir enerjiyi güvence altına almak değildir. Bu, kaba ve son derece pahalı bir çözümdür. Net sıfır enerjili bir bina, bir yıl boyunca enerji gereksinimlerini karşılamak için yeterli yenilenebilir enerji üretimine sahip çok düşük enerjili bir binadır [43].

Sıfır enerjiye yönelik ilk belgelendirilmiş girişimlerden bazıları gerçekte güneş enerjisi evleri şeklinde sıfır ısıtmayı sağlamaya yönelik girişimlerdir. İlk örnekler, büyük bir ısı güneş toplama alanı ve su deposu içeren MIT Solar House I (1939) ve güneş hava kolektörleri ve kaya kütleli depolama kullanan Bliss House (1955) dir. 1970'lerden örnekler arasında Danimarka'daki Vagn Korsgaard Sıfır Enerji Evleri veya Saskatchewan Koruma Evi bulunmaktadır. Bunlar yüksek yalıtımlı cepheleriyle sıfır veya neredeyse sıfır enerji ile ısıtma için tasarlanmıştır. Fakat 1970'lerde fosil yakıt rezervlerinin azalmasıyla birlikte yeniden canlandırılmıştır. O yıllardan beri net enerji analizi, fosil yakıt ve nükleer endüstrilerden, yenilenebilir teknolojilere kadar birçok

farklı alanda enerji sistemlerinin yaşam döngüsü boyunca ele alınarak uygulanmıştır [43]. Net sıfır enerjili binaların tarihsel şeması Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Net sıfır enerjili binaların tarihsel şeması [43].

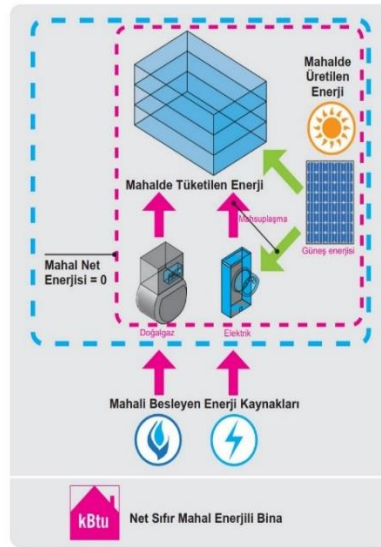
Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL), binalar için net sıfır enerjiliyi ölçme ve tanımlamada dört kavram üzerinde durmuştur, bunlar: net sıfır saha enerjili, net sıfır kaynak enerjili, net sıfır salınımlı ve net sıfır enerji maliyetli binalardır. Paul Torcellini, Shanti Pless, Michael Deru ve Drury Crawley tarafından 2006’da yayınlanan “Sıfır Enerji Binaları: Tanıma Eleştirel Bir Bakış” başlıklı NREL makalesi, bu standartlaştırılmış tanımları göstermiştir. Sektörün konuyu daha iyi açıklayabilmesi, tanıtılabilmesi ve iletebilmesi için net sıfır enerjiliyi ölçebileceği bir tanım ve müfredatı sahip olması çok önemlidir [44].

NREL raporuna göre, Sıfır enerji tanımı, binaların hedefe ulaşmak için nasıl tasarlanacağını doğrudan etkiler. Enerji etkinliği, tedarik tarafı stratejileri, satın alınan

enerji kaynakları, hizmet ücreti yapıları veya yakıt değişimi ve dönüşüm muhasebesinin hedefe ulaşmada yardımcı olup olmayacağı belirlenebilir. Net sıfır demek, iç ve dış akımların toplamının eşit ve zıt olduğu anlamına gelir, akım olmadığı anlamına gelmez. Bir bina sahibi, net sıfır olan bir bina inşa etme amacındaysa, tasarım ekibi önce, yoruma açık olduğu için, bunun anlamını tanımlamalıdır. Değiştirilebileceği düşünülen en az dört SEB tanımı bugün kullanımdadır [44].

3.1.1. Net Sıfır Saha Enerjili Bina

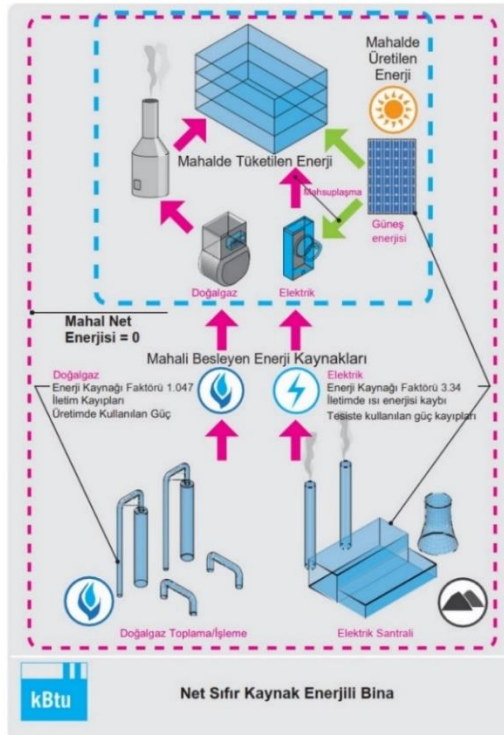
Net sıfır saha enerjili bina, saha sınırları hesaba katıldığında bir yıl boyunca en az tükettiği kadar yenilenebilir enerji üreten binadır. Eğer binanın bulunduğu sahaya bir sınır çizilirse ve bu sınır içerisindeki tüketilen bütün enerji miktarı ölçülüp daha sonra toplandığında, yapılan bu işlem saha enerji ölçümü olarak adlandırılmaktadır. Ölçüm yapan sayaç tüketilen ve üretilen enerjiyi kaydederek gerçekçi bir sonuç yansıtmaktadır. Bu yüzden, diğer net sıfır enerji ölçümlerinin gerektirdiği ek faktörlere ihtiyaç duymamaktadır. Bu, net sıfır enerjinin en yaygın kullanılan ve en iyi şekilde anlaşılabilir ölçüsüdür. Örnek olarak, ihtiyaç duyduğu tüm enerjisini çatısına yerleştirilmiş PV panellerinden üreten bir bina gösterilebilir [43]. Şekil 3.2’de net sıfır saha enerjili bina diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.2. Net sıfır saha enerjili bina diyagramı [43].

3.1.2. Net Sıfır Kaynak Enerjili Bina

Net sıfır kaynak enerjili bina, enerji kaynağı hesaba katıldığında, bir yıl boyunca en az tükettikleri kadar yenilenebilir enerji üreten ya da satın alan binadır. Kaynak enerji, enerjiyi üretmek ve sahaya iletmek için gereken birincil enerjiyi ifade etmektedir. Şekil 3.3'teki gibi, kaynaktan sahaya enerji sağlanırken üretim ve taşımadan dolayı enerji kayıpları olmaktadır. Örneğin; kaynaktan kömür yakılarak elde edilen enerji için sahaya teslim edilenden üç kat daha fazla enerji harcanmaktadır. Bu yüzden, kaynak enerji, enerji kullanımını daha eksiksiz bir şekilde ifade etmektedir. Bununla birlikte, bir binanın toplam kaynak enerjisini tahmin etmek için, kullanılan her enerji kaynağı için bir sahadan kaynağa enerji faktörü belirlenmeli ve saha enerji değerine uygulanmalıdır [43].

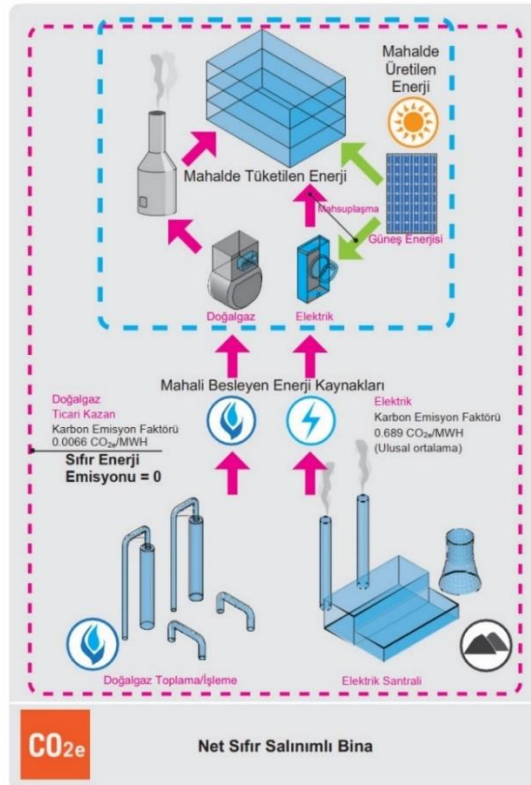


Şekil 3.3. Net sıfır kaynak enerjili bina diyagramı [43].

3.1.3. Net Sıfır Enerji Salımlı Bina

Net sıfır enerji salımlı bina, bir yıl boyunca tükettiği tüm enerjiden kaynaklı emisyonları telafi etmek için emisyonuz yeterli yenilenebilir enerji üreten binadır.

Şekil 3.4'te kaynak ve saha enerjisi hesaplamada enerji birimleri kullanılırken, binanın enerji kullanımında harcanan sera gazı emisyonlarının kütlesi hesaplanır. Enerji emisyonlarının miktarını belirlemek için kullanılan her enerji kaynağı ya da yakıt için saha enerji kullanımına bir karbon emisyon faktörü uygulanmalıdır. Bu hesaba göre fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlar, yenilenebilir enerji üretimi ile dengelenebilmektedir [43].

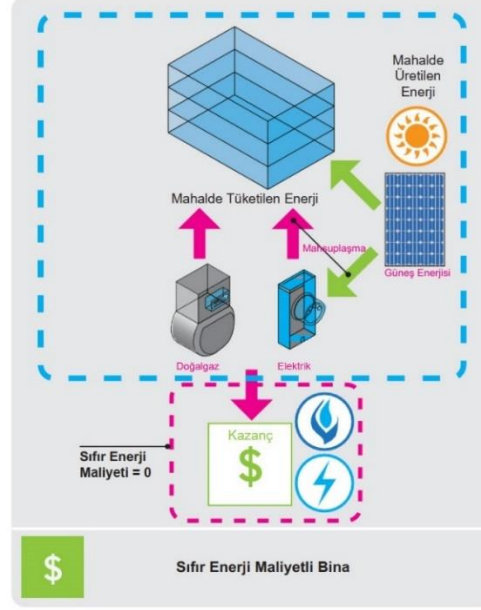


Şekil 3.4. Net sıfır enerji salımlı bina diyagramı [43].

3.1.4. Net Sıfır Enerji Maliyetli Bina

Net sıfır enerji maliyetli bir binada, bir yıl boyunca enerji kullanımı ve enerji hizmetleri için elektrik santrallerine ya da kamu hizmetine ödenen para miktarı en az seviyededir. Bu miktar, binanın bir yıl boyunca şebekeye ihraç ettiği enerji için şirketin bina kiracısına ya da sahibine ödediği enerji miktarına eşittir. Bu tanımlı sağlamak için, elektrik faturası üzerindeki tüm enerji ve enerji hizmetleri ücretleri dahil edilmelidir. Bununla birlikte, şebekeye ihraç edilen herhangi bir yenilenebilir enerji için ödenen değer şirket tarafından belirlenmektedir. Bu tür bir bina, Şekil 3.5'e göre, ihtiyaç

duyduğu enerjinin büyük bir kısmını, şebekeden alınan elektriği kullanmadan önce yerinde yenilenebilir enerji ile karşılamaktadır [43].



Şekil 3.5. Net sıfır enerji maliyeti bina diyagramı [43].

Net ölçüm için, yerinde üretilen yenilenebilir enerjinin ihraç edilmesine ya da şebekeden elektriğin ithal edilmesine bağlı olarak, sayaçlar hem ileri hem de geri çalışmaktadır. Doğru net ölçüm, ithal ve ihraç edilen elektriğin bire bir değişimini sağlar. Böylece yenilenebilir enerji, şebekeden alınan elektrik için uygulanan aynı perakende fiyat üzerinden değerlendirilir. Buna karşın, bazı kamu hizmetleri ihraç edilen yenilenebilir enerjiyi perakende fiyat olarak değil, aylık ya da yıllık olarak kredilendirmektedir. Net sıfır enerjili binaların çeşitleri Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Net sıfır enerjili binaların çeşitleri [43].

3.2. TANIMLARIN ARKASINDAKİ DENKLEMLER

Dört ayrı net sıfır tanımı, farklı odaklara sahip olmalarına rağmen ortak bir noktayı paylaşırlar: hepsi enerji dengesi kavramına dayanmaktadır. Emisyonlar ve maliyet de enerji tüketimine göre hesaplanmaktadır. Mevcut net sıfır bina uygulamasının enerji merkezli olduğunu söylemek doğru olur. Enerji dengesi denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [45];

$$\text{Net Sıfır Mahal Enerji:} \quad r_s - m \geq 0$$

$$\text{Net Sıfır Kaynak Enerji:} \quad r_s - (m + g) \geq 0 \text{ veya } r_s - p \geq 0$$

$$\text{Net Sıfır Emisyonu:} \quad r_{sn} - m \geq 0$$

$$\text{Net Sıfır Maliyeti:} \quad \$r_{sn} - \$m \geq 0$$

Burada (m) elektrik sayacı tarafından ölçülen tüketim, (r_s) üretilen ölçülen yenilenebilir enerji, (p) birincil enerji (kaynak enerjisi), $p = m + g$ ve (g) tesisteki enerji kayıplarını temsil etmektedir. Enerji dönüşümü ve iletimi nedeniyle kamu hizmeti sistemi; (r_{sn}) bina sahibi tarafından yerinde veya yakınında üretilen yenilenebilir enerjidir, ($\$r_{sn}$) bina sahibi tarafından yerinde veya yakınında üretilen yenilenebilir enerjiden elde edilen gelirdir ve ($\$m$) satın alınan şebekeye dayalı enerjinin maliyetidir.

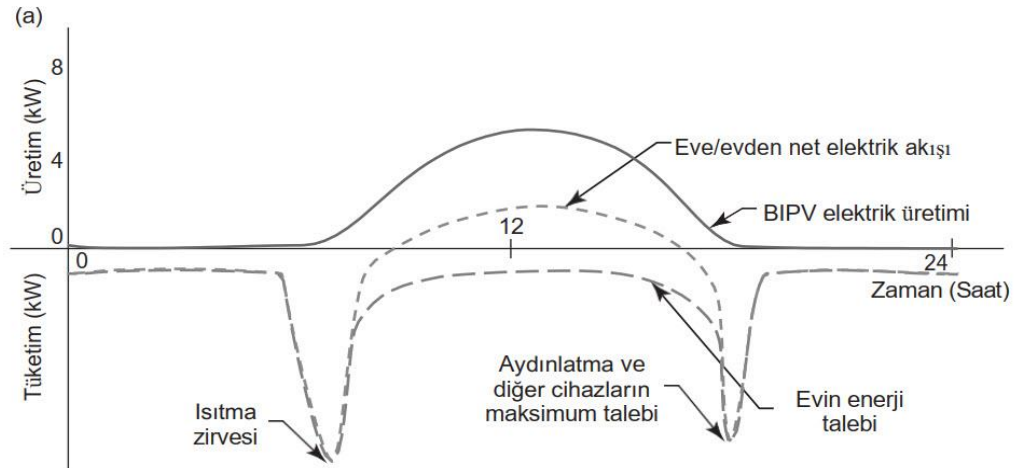
3.3. ENTEGRE ENERJİ SİSTEMLERİ OLARAK NSEB'LERİN MODELLENMESİ

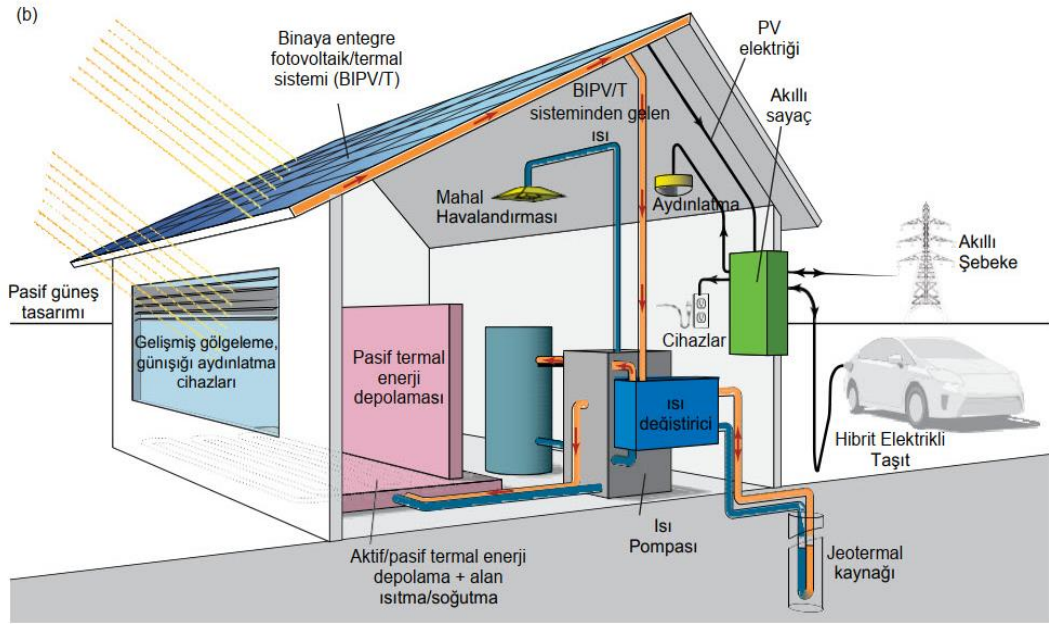
Binaya entegre güneş enerjisi sistemlerinin (termal, elektrik, hibrit ve güneşli) uygun şekilde modellenmesi, NSEB'lerin tasarımı ve optimal kontrol stratejilerinin incelenmesi için esastır. Bu sistemler net sıfır enerji hedefine ulaşmada önemli bir rol oynayacak ve doğru bir tasarım için dikkatlice seçilmesi, modellenmesi ve boyutlandırılması gerekecektir. Tasarımın ilk aşamasında, RETScreen gibi basitleştirilmiş bir yazılım aracı, üretilen enerjinin aylık tahminlerini sağladığı için

binaya entegre bir fotovoltaik (BIPV) veya bir güneş enerjisi sistemini boyutlandırmak için yeterli doğruluğu sağlayabilir. Bununla birlikte, hem elektrik hem de ısı üreten bir BIPV/termal sistem (BIPV/T), geri kazanılan ısının ve bunun potansiyel olarak nasıl kullanılabileceğinin - havalandırma havasını ısıtmak, suyu ısıtmak veya alan ısıtmak (doğrudan veya bir ısı pompası yoluyla) - tahminini gerektirir. Bu sistemleri uygun şekilde simüle etmek için, dinamik ve bağlantılı süreçlerin yüksek bütünlük temsili ile karakterize edilen araçlara ihtiyaç vardır [45].

Aynı zamanda, bir NSEB ve bir akıllı şebeke arasındaki optimal etkileşimin, mahallelerdeki yüksek fotovoltaik (PV) nüfuz oranları koşullarında ve maksimum elektrik talebindeki azalmayı kolaylaştırabileceği de kabul edilmektedir. Binada enerji depolamanın kullanılması, şebekeden sağlanan elektriği azaltabilir.

Soğuk ve güneşli bir günde Kanada’da bulunan net sıfır enerji evinin tipik talebi ve üretim diyagramı Şekil 3.7’de verilmektedir. Sabahın erken saatlerinde ısıtma için yüksek bir talep (negatif) vardır. Bu nedenle önceki günün hava durumu benzer olsaydı toplanan güneş kazanımları yoluyla bu enerji miktarı azaltmak için binaya entegre termal kütle inşa edilebilirdi. Pasif ve aktif güneş enerjisi teknolojileri, ısı pompaları ve hibrit ısı/güç cihazları (biyoyakıt/biyokütle gibi) kullanılarak enerji tüketimini azaltmak yönünde enerji verimliliği önlemlerinin bir kombinasyonu yoluyla net sıfır enerji dengesi elde edilebilmektedir. Ek olarak hibrit elektrikli araçları (PHEV) bir elektrik depolama/yedekleme cihazı olarak kullanılabilir [45].





Şekil 3.7. (a) Kanada’da net sıfır enerjili bir ev için tüketim ve üretim diyagramının şeması ; (b) net sıfır güneş enerjili evin görüntüsü [45].

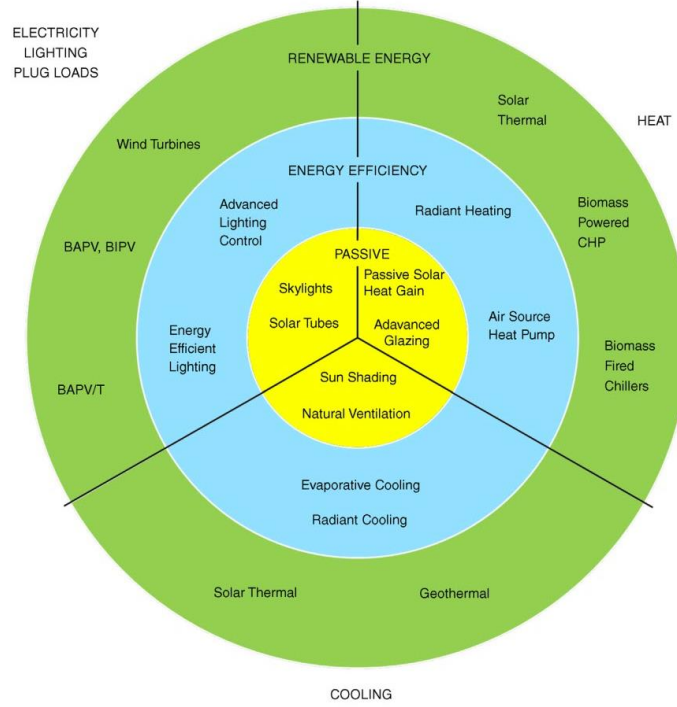
3.4. NET SIFIR ENERJİLİ BİNALAR İÇİN TASARIM STRATEJİLERİ

Metodoloji; soğuk, ılıman ve sıcak iklimlerdeki NSEB’lerin enerji performansının karşılaştırılması için bir yapı olarak görülebilir ve yüksek performanslı enerji binaları tasarlamının temel ilkelerine bağlı olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir [45]:

- Teslim edilen, birincil enerjinin ve NSEB performans dengesinin değerlendirilmesi.
- Kullanım ve bölgesel iklim koşullarına göre bina seçimi ve sınıflandırması.
- Her bina tipi-iklim kombinasyonu için genel tasarım stratejilerinin belirlenmesi.
- İlgili üç strateji kategorisine dayalı olarak seçilen binalara uygulanan pasif enerji verimliliği ve enerji tedarik önlemlerinin belirlenmesi.

NSEB tasarımı için uygulanması gereken üç temel strateji bulunmaktadır. Bu stratejiler farklı düzeylerde uygulanabilir ve yapının oluşum enerjisi ve çevresel etkisi gibi ayrıntılı ölçümlerini içermektedir. Buna bağlı olarak, NSEB tasarım stratejileri pasif stratejiler, yüksek verimli sistemlerin stratejileri, yenilenebilir enerji sistemlerin

stratejileri olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Şekil 3.8’de NSEB için uygulanabilecek üç temel stratejilere yer verilmiştir. Tasarımcılar, NSEB tasarlarken iklim koşullarını ve bina tipini dikkate alarak bu stratejileri kullanabilmektedirler. Pasif yaklaşımlar yoluyla gerekli enerji miktarını azaltmak bu grafiğin en içteki dairesi olarak gösterilmiştir. Yapay aydınlatma ve olası ısıtma ve/veya soğutma için doğal ihtiyaçlar göz önüne alındığında, ikinci ilke, grafiğin orta dairesinde gösterilen enerji verimli sistemleri uygulamayı amaçlamaktadır. Aydınlatma, ısıtma ve soğutma için gerekli olan enerji talebini dengelemek için yenilenebilir enerji sistemlerine ihtiyaç vardır. Bunlar grafiğin en dıştaki dairesinde gösterilmiştir [45].



Şekil 3.8. NSEB tasarımı, aşamaları ve sistem örnekleri [45].

3.4.1. Pasif Yaklaşım Stratejileri

Net Sıfır Enerjili Binaların tasarımı sırasında dikkate alınması gereken öncelikli kıstas binanın bulunduğu iklim koşullarıdır. Bölgede etkin olan iklim şartlarından sonra ise binadaki enerji tüketiminde tasarruf sağlayabilecek pasif tasarım stratejileri bulunmaktadır. Pasif stratejiler, herhangi bir elektrikli ve mekanik sistem kullanılmadan bina kabuğu elemanlarıyla oluşturulan bir sistemdir. Mimari tasarım

değişkenleri, enerji etkin bina yaklaşımında önemli bir rol oynamaktadır. Binanın bulunduğu konuma ait iklimsel şartlar eğer mimari tasarımda mantıklı kullanılırsa soğuk ve sıcak zamanlarda ısı açıdan binalarda en uygun koşulları oluşturmak mümkündür. Yenilenebilir enerji sistemlerden yeteri kadar yararlanan aktif sistemlerin enerji performansı, binanın enerji performansında çok önemlidir [45].

Bina formu ve yönlendirme, bina kabuğu, doğal havalandırma, pasif güneş sistemi ve pasif sistemi tasarımı amacıyla uygulanabilecek çözümlerdendir. Bu önerilerden yararlanarak binaların pasif sistemler aracılığıyla enerji etkin olarak tasarlanması mümkündür.

3.4.2. Enerji Verimliliği Stratejileri

Mevcut enerji kaynakları yükselen enerji ihtiyaçlarını karşılayamaz hale gelmiştir. Bunun sonucunda enerji verimliliği kavramı karşımıza çıkmıştır. Harcanan enerji miktarının, üretimden elde edilen ürün miktarını ve kalite oranını düşürmeden, ekonomik gelişmeleri ve sosyal refahı olumsuz etkilemeyecek şekilde en aza indirilmesi enerji verimliliği olarak adlandırılmaktadır [46].

Başka bir deyişle enerji verimliliği; binadaki buhar, ısı, gaz, hava ve elektriksel enerji kayıplarını engellemek, binadan atık olarak uzaklaştırılan oluşumların geri kazanımı ve tekrar değerlendirilmesi veya üretim miktarını düşürmeden ihtiyaç duyulan enerji gereksiniminin azaltılması, verimi daha yüksek enerji kaynakları, enerji geri kazanımı gibi verimlilik artırıcı önlemlerin tamamıdır. Enerji verimliliğinde esas olan herhangi bir tasarrufa veya kısıtlamaya gidilmeden enerjinin etkin bir şekilde kullanılarak tüketimin azaltılmasıdır. Üretim kapasitesi yüksek ve enerji tüketimi fazla olan net sıfır enerjili binalarda enerjinin verimli bir şekilde kullanılması maliyetleri düşürdüğü gibi enerji eldesi için gerekli olan kaynak tüketimini de ciddi derecede azaltmaktadır. Özet olarak enerji verimliliği, aynı miktarda hizmet veya faydalı çıktı üretmek için daha az enerji kullanmak anlamına gelir.

$$\text{Enerji Verimliliği} = \frac{\text{sistemden elde edilen enerji}}{\text{Harcanan enerji}}$$

Enerji verimliliği genellikle en yüksek yatırım getirisine sahip en uygun maliyetli stratejidir ve yenilenebilir enerji planları geliştirmeden önce verimlilik fırsatlarını en üst düzeye çıkarmak, ihtiyaç duyulan yenilenebilir enerji projelerinin maliyetini en aza indirecektir [46].

NSEB’de enerji kullanımını azaltmak amacı ile pasif stratejiler uygulandıktan sonra, farklı mahallerde farklı konfor şartlarının istenildiği çok zonlu NSEB’da gerçeğe yakın ısı kazancı ve ısı kaybı tahminleri yapılarak enerji verimliliğinin daha iyi bir noktaya taşınabilmesini sağlamak üzere, verimli enerji sistemleri desteğine gereksinim duyulmaktadır. Isı kazancı ve ısı kaybı için en fazla yük durumları hesaplanarak bu sistemlerin ne kadar enerjiyi karşılayacakları bulunabilmektedir. Düşük enerjili sistemler projenin ve sahanın özelliklerine göre araştırılmalı ve en sonunda projeye uygun sistem kullanılmalıdır. NSEB’da verimli sistemler projenin tipine ve boyutuna göre değişmekle beraber genel olarak kullanılan sistemler aşağıda verilmiştir;

3.4.2.1. Isıtma, Soğutma ve Havalandırma (HVAC) Sistemleri

HVAC sistemlerinin başlıca amacı istenilen iç hava koşullarını sağlamak ve korumaktır. Enerji verimliliği yüksek bir HVAC sisteminin, istenilen amaçları gerçekleştirmek için gerekli olan miktar kadar enerji tüketmesi gerekir. Verimli bir HVAC sistemi sadece mühendislik işi değil, aynı zamanda disiplinlerarası çalışmayı (mimarlık, ekonomi, çevre gibi bilimler) gerektiren bir tasarım problemidir. En uygun çözümü bulabilmek için, bazı yapı ve çevre bilgilerine sahip olmak gerekir. Örneğin; yapı karakteristiği, iklim ve bölge verileri bilinmelidir. Enerji verimliliği çalışmalarının HVAC sistemleri açısından bir başka avantajı da HVAC boyutlarını ve kapasitesini düşürmesi, böylelikle yatırım ve işletme maliyetlerinde azalma meydana getirmesidir [47].

HVAC sistemlerini, günümüzde çalışma ilkelerine göre sınıflandıracak olursak dört başlık altında sıralamak mümkündür;

- Doğrudan Genleşmeli Sistemler: pencere tipi, oda tipi, gizli tavan tipi, kanal tipi, çatı tipi paket klima ve bölünmüş (split) klima sistemleri,

- Havalı Sistemler: değişken hava debili sistemlerinin (Variable Air Volume, VAV) yanı sıra sabit hava debili (Constant Air Volume, CAV) tipler,
- Havalı-Sulu Sistemler: İndüksiyonlu tip ve fanlı-serpantinli tip,
- Sulu Sistemler: iki, üç veya dört borulu sulu sistemler (fan-coil) olarak sayılabilmektedir.

HVAC sistemlerinde tüketilen enerjinin yapının toplam enerji tüketimindeki payı, kullanım amacına bağlı olarak %15 ila %60'ı bulmaktadır. Bu bağlamda, enerjinin ve hatta boşa giden enerjinin etkin ve verimli kullanımı, özellikle büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda, sıcaklık, hacim ve kontrol stratejileri konusunda HVAC sistem parametreleri üzerinde yapılan çalışmalar, enerji sarfiyatı azaltılarak daha yüksek verimlerin elde edildiği sistemlerin gerekli konfor şartları sağlanırken de mümkün olduğunu göstermiştir. Ancak HVAC sistemlerinde enerji giderlerini azaltma çalışmaları yaparken dikkat edilmelidir. Isıtma döneminde enerji giderlerini azaltan bir strateji, kış mevsiminde enerji maliyetini artmasına neden olabilir. Uygulanan senaryolar ve stratejiler, her mevsim için kontrol edilmelidir [48].

3.4.2.2. Etkin Aydınlatma Sistemleri

Aydınlatma konusu, ışığın üretimi, dağıtımı, ekonomisi ve ölçülmesi başlıkları altında incelenmektedir. Işığın kökenine göre doğal ve yapay aydınlatma, aydınlatılan yere göre iç ve dış aydınlatma, amacı bakımından fizyolojik, dekoratif ve dikkati çeken aydınlatma olarak kendi içerisinde ayrılmaktadır. Işık elektromanyetik dalga (radyasyon) enerjisinin 380 ile 760 nm dalga uzunluklarında göze etki eden bir enerji şekli olup dalga veya foton şeklinde yayılmıştır [49].

Türkiye’de aydınlatmanın tüketilen toplam elektrik enerjisi içerisindeki payı yaklaşık %20 olduğu belirtilmektedir. Sanayide ise aydınlatmanın tüketilen toplam elektrik enerjisi içerisindeki payı yaklaşık %10 seviyelerine gerilemektedir. Farklı kullanım alanları incelendiğinde aydınlatma için tüketilen elektriğin toplam tüketimdeki payının mağazalarda %30, ofislerde yaklaşık %40 olduğu gözlemlenmektedir. Bu bilgiler ışığında düşünüldüğünde aydınlatmada gerçekleştirilecek doğru uygulamalarla sağlanacak enerji tasarrufunun önemi açıkça ortaya çıkmaktadır. Bu tasarruf,

aydınlatmanın kalitesini düşürmeden, iyi bir aydınlatmanın gereklerini yerine getirerek yapılmalıdır. İyi bir aydınlatma ile gözün görme yeteneği artar, göz sağlığı korunur, kazalar azalır, iş verimi ve ekonomik potansiyel artar, güvenlik sağlanmış olur. Aydınlatma konusunda yapılacak verimlilik çalışmaları ile elde edilecek tasarruf miktarı bazen çok küçük olarak görülse de uzun mesai süresince hizmet veren yerlerde küçümsenemeyecek miktarlara ulaşabilmektedir [49].

Kaliteli ve doğru özellikteki aydınlatma sisteminden beklenen olgu aydınlatılacak mekanlara gerekli miktarda ışık sağlamasıdır. Mekan içerisindeki kullanım dışı bölgelerin gereksiz aydınlatılması ya da aktif kullanılan bölgelerde olması gerekenden fazla aydınlatma yapılması enerjinin verimsiz kullanılmasına sebep olacaktır. Buradan da anlaşılacağı üzere bulunulan mahaldeki konfor şartlarını düşürmeden gerekli olan şiddette ve uygun zaman diliminde aydınlatma yapılarak enerji verimliliği elde edilebilecektir [50]. Aydınlatma için kullanılan bazı farklı lamba çeşitleri ve ampul özellikleri Şekil 3.9’da verilmektedir.



Şekil 3.9. Ampullerin çeşitleri ve özellikleri.

Yaygın olarak bilinen yöntemlerle akıllı aydınlatma sistemlerinin kullanımı genellikle ticari binalarda uzun yıllardır görülmektedir. Bu sistemler incelendiğinde zaman kontrolü ya da varlık sensörleri vasıtasıyla varlık yokluk durumuna göre açma kapama ve gün ışığı dikkate alınarak aydınlık seviyesinin kontrolü ile bina yönetim

sistemlerinin kıymetli ekipmanlarından olduğu gör÷lmektedir. Bu kontrol elemanları ve gelişen teknoloji ile piyasaya giren yeni nesil lamba çeşitleri sayesinde akıllı aydınlatma sistemi çözümleri günümüzde artan bir eğilimle tercih edilmekte ve daha verimli, konforlu, prestijli aydınlatma sistemlerini kullanıcıların hizmetine sunmaktadır.

3.4.3. Yenilenebilir Enerji Sistemi Stratejileri

Net sıfır enerjili binaların tasarımında, sıfır enerji ya da enerji verimliliği elde etmeye yönelik birincil çözüm olarak yenilenebilir enerji teknolojileri kullanılmaktadır. Yenilenebilir Enerji Sistemleri tarafından dört bina gereksinimi ele alınmaktadır, bunlar elektrik, ısıtma, soğutma ve merkezi sıcak su (Domestic Hot Water, DHW)'dur. Tasarım stratejileri açısından, bu gereksinimler üç stratejide gruplandırılabilir; güç üretimi, ısı üretimi ve birleşik ısı ve güç üretimi. Bu üç strateji için kullanılan yenilenebilir enerji sistemlerin uygulamaları Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Bina gereksinimlerine yönelik yenilenebilir enerji önlemleri.

3.4.3.1. Güneş Enerji Sistemleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden pasif ve aktif yöntemlerle faydalanılarak; ısıtma, soğutma, aydınlatma, ve elektrik gibi ihtiyaçları karşılamak için kullanılabilir. Aktif ve pasif yöntemlerle güneş enerjisi kullanılarak binalarda enerji verimliliği sağlanabilmektedir. Binalarda aktif güneş enerji sistemleri arasında en çok güneş kolektörü (Solar Thermal Panel-STP) ve

fotovoltaik paneller (Photovoltaic Panel- PV) kullanılmaktadır. Bu iki sistemin kombinasyonu olan hibrit PV-T sistemler de yaygın olarak kullanılmaktadırlar. PV sistemler, binaların çatılarına yerleştirilebildiği gibi, bina yapısına bütünleşik olarak da tasarlanabilmiştir. Bununla birlikte, binlerce metre kare büyüklüğündeki alanlara kurularak büyük ölçekli güneş istasyonlarını oluşturabilirler. PV sistemler şebekeye bağımlı veya şebekeden bağımsız olarak kurulabilmektedir [51].

Günümüzde elektrik üretmek, enerji depolamak ve su ısıtmak amacıyla güneş enerjisini kullanan PV ve Bina Entegre Fotovoltaik (Building Integrated Photovoltaics, BIPV)'ler, bina tasarımında yaygın olarak tercih edilen teknolojiler arasındadır. Diğer teknolojiler ise güneş enerjisi destekli HVAC sistemlerdir. Güneş enerjisi ile mahal ısıtılması ve soğutulması mümkündür. Örnek olarak bu uygulamalarda yaygın olarak ısı pompası (Heat Pump) sistemleri kullanılmaktadır. Son yıllarda yenilenebilir enerji destekli olduklarında çevresel zararları vermemeleri ve diğer HVAC sistemlerine göre 3 ile 6 kat avantajlı olmaları için ısı pompası sistemleri yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [52].

Bina ısı izolasyon seviyelerindeki iyileşmeler, ısı pompası cihazlarındaki verim artışları, ısıtma sistemlerinin düşük sıcaklık – yüksek verim ilkesiyle (yerden ısıtma/serinletme, tavandan ısıtma/serinletme gibi) çalışıyor olması, öte yandan PV sistemlerinde yaşanan verim artışları, kışın güneş ışınım değerlerinin düşmesi söz konusu olsa bile ısınmanın %70 civarında kısmının bedava yapılabilmesini sağlamaktadır. Önümüzdeki yıllarda, ısı pompası-güneş PV sistemimeteorolojik tahminlerle (hava sıcaklığı ve güneşlenme miktarları) eş güdümlü olarak çalışarak, mahal sıcaklık ayarlamaları bu prensiple yapılabilecektir. Bu çalışmalar da net sıfır enerjili binaların giderek yaygınlaşmasını sağlayacaktır.

3.4.3.2. Rüzgar Enerjisi Sistemleri

Rüzgar enerjisi çoğunlukla şehir dışı alanlarda tercih edilmektedir. Bu nedenle, rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinin binalarla bütünleştirilmesi küçük ama büyüyen bir eğilimdir ve rüzgardan elektrik üretmede büyük bir kapsama sahiptir. Avrupa'da ev sahiplerinin ve işletmelerin evlerin çatılarına, okul binalarına, hastanelere, ticari

binalara ve hatta yüksek binalara küçük rüzgar türbinleri kurmaya yönelik ilgilerinin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte, bu küçük ilerleme eğiliminin ana nedenleri, kentsel kısıtlamalar; komşu binalar tarafından tetiklenen yüksek türbülans, jeneratörü rüzgar yönüne göre yeniden yönlendirmenin zorluğu gibi örneklenebilir. Ayrıca, hava binaların üzerinden, çevresinden ve arasından geçtiği ve yüksek türbülans yarattığı için kentsel çevredeki rüzgar modelleri karmaşıktır. Bu sorunlara rağmen, kentsel alanlarda rüzgar enerjisinden yararlanmak, güneşin ürettiği enerjiyi dahil etmek ve üretimin sürekliliğini artırmak, elektrik şebekesi ile depolanacak ya da değiş tokuş edilecek enerjiye katkı sağlayabilir [53].

Rüzgar enerjisi doğal, tükenmeyen, kullanımı sırasında atık üretmeyen, radyoaktif etkisi olmayan bu nedenle doğaya ve insan sağlığına olumsuz etkisi bulunmayan, teknolojik gelişimi hızlı bir enerji kaynağıdır. Yel değirmenleri rüzgar enerjisi sistemlerinin ilk örnekleri olarak kabul edilmektedir. Modern rüzgar enerjisinin kullanımı, teknolojik gelişmeler ve fosil yakıtların sebep olduğu zararlı emisyonların ekosisteme verdiği zararları önleme çabaları rüzgar enerjisinin kullanımını ve bu konuda yapılan araştırmaları hızlandırmıştır. Rüzgar enerjisi binalarda pasif sistemlerde doğal havalandırmada, aktif sistemlerde ise enerji üretimde kullanılmaktadır.

- Pasif Rüzgar Enerji Sistemleri

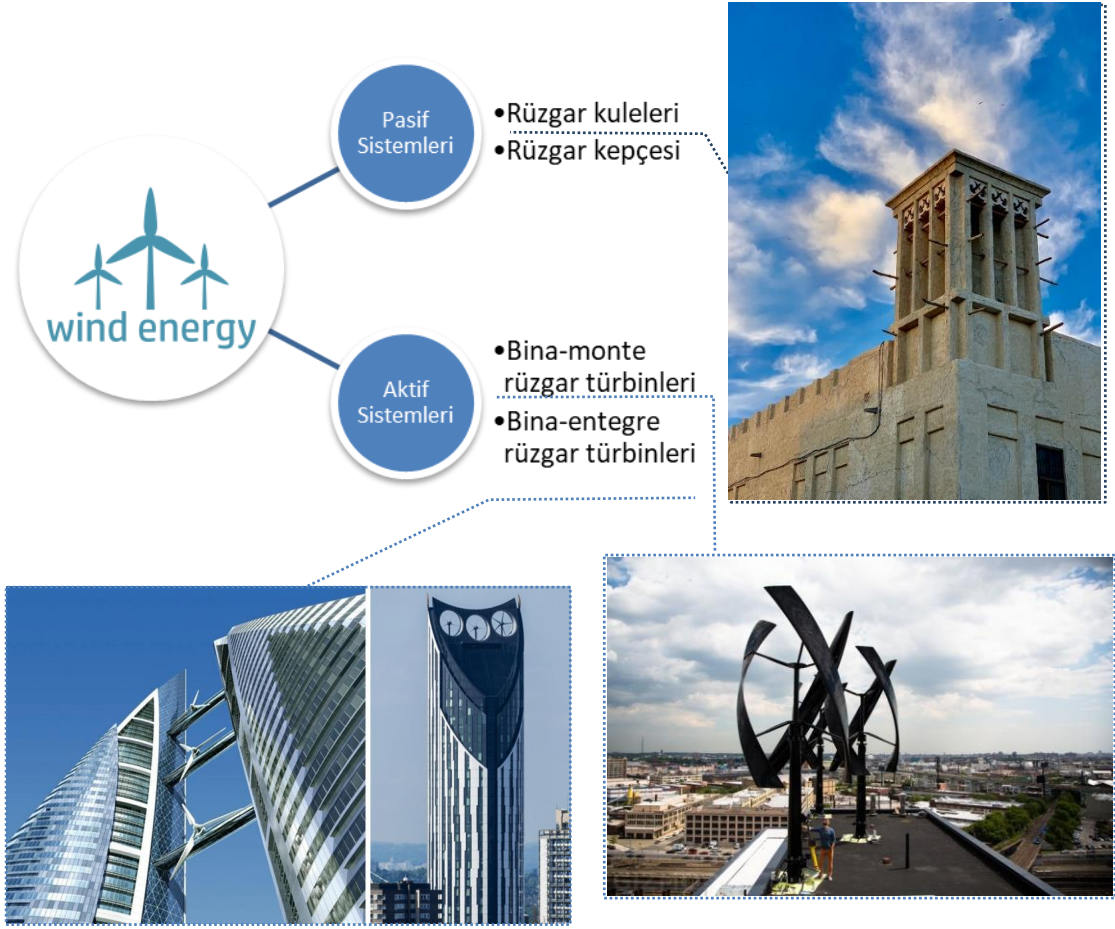
Bina çevresindeki hava akımının karakterini basınç farkları oluşturmaktadır. Binalarda oluşan pozitif ve negatif basınç, binaların soğutulmasında ve havalandırılmasında kullanılan tasarım parametrelerinde etkili olmaktadır. Rüzgâr enerjisinden pasif olarak yararlanmada başlıca amaç binalarda doğal havalandırmayı sağlamaktır. Doğal havalandırma mekanik sistemler kullanmadan dış ortamdaki havanın yapı içine alınması ve yapı içindeki kullanılmış kirli havanın yapı dışına çıkarılması olarak tanımlanmaktadır.

- Aktif Rüzgar Enerji Sistemleri

Aktif sistemlerle enerji elde edilmesi rüzgar türbinleri ile gerçekleşmektedir. Rüzgar türbinlerinde oluşan kinetik enerji jeneratör yardımı ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Modern rüzgar türbinleri yatay ve düşey eksenli olmak üzere iki gruba ayrılır. Bu türbinler arasındaki en önemli fark, düşey eksenli türbinlerin, her yönden gelen rüzgarı kullanabilmesidir. Buna karşın yatay eksenli türbinler, düşey eksenlilere göre daha hızlı çalışır. Düşey eksenli türbinlerde ise kanatlar, yatay eksenlilere göre daha yavaş çalıştığı için daha az ses çıkarırlar ve bu nedenle binaların çatılarında yaygın olarak kullanılırlar. Binalarda kullanılan aktif rüzgar türbinleri, Bina-monte rüzgar türbinleri ve Bina-entegre rüzgar türbinleri şeklinde sınıflandırılmaktadır.

- Bina-monte rüzgar türbinleri, binanın mimari formundan bağımsız olan, yapıyı kule olarak kullanan türbinlerdir. Yapı formu rüzgar enerjisini kullanmak, rüzgar akışını değiştirmek amacıyla şekillenmemektedir. Bu sistem mevcut yapılarda kullanılabildiği gibi tasarım aşamasındaki yapılara da entegre edilebilmektedir.
- Bina-entegre rüzgar türbinleri, tasarım aşamasında rüzgar enerjisinin kullanımının esas alındığı yapıların bu tasarımla şekillendiği sistem biçimidir.

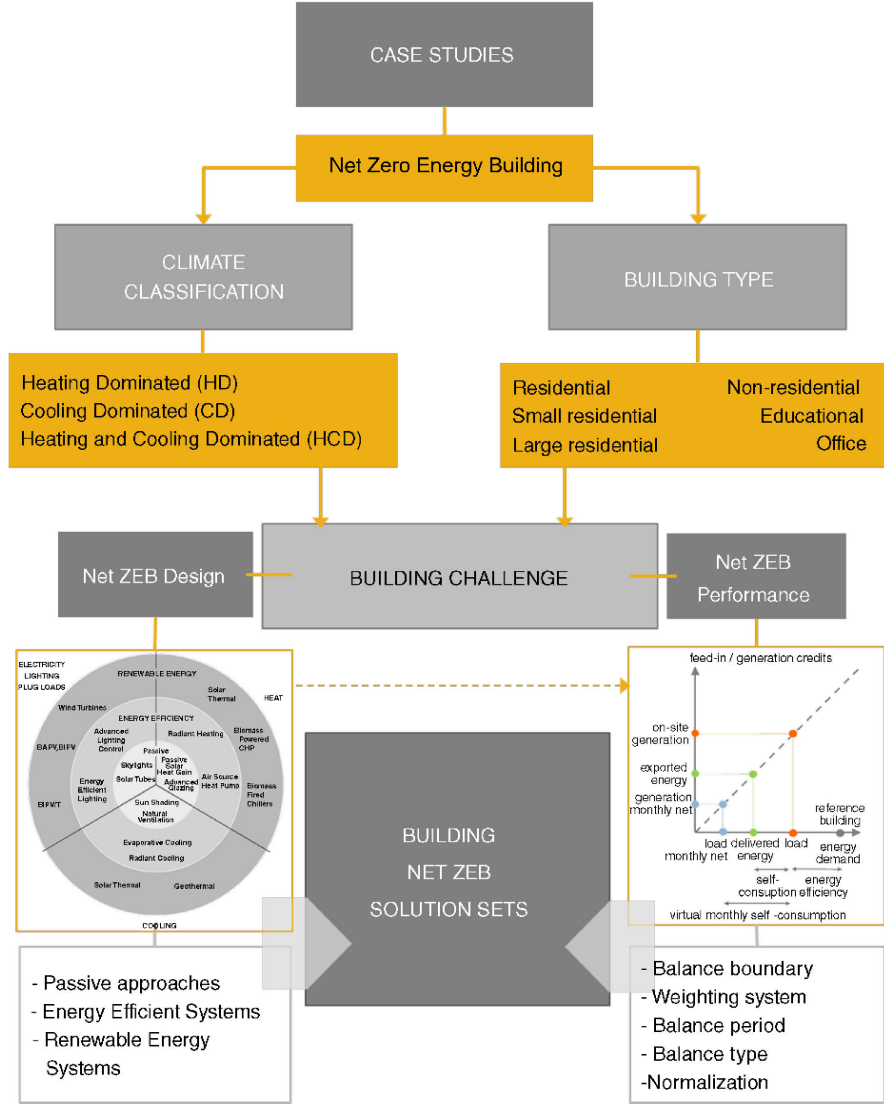
Binalarda aktif ve pasif rüzgar sistemlerin çeşitleri ve örnekleri Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Binalarda kullanılan rüzgar türbinlerine örnekler.

Rüzgar türbini projesinin başlangıç noktası, temel olarak rüzgar hızı verilerinin toplanması ile başlamaktadır. Referans binanın bölgesi yakınlarında meteoroloji için rüzgar verileri alınan istasyonlar mevcut ise, bu verilerin de değerlendirmeye alınması ve uzun süreli tahminlerin yapılması gerekmektedir. Bu aşamada, en az 1 yıl süre ile rüzgar hız ölçümleri yapılarak, bu verilerin incelenmesi, montajın yapıldığı yapıdan üretilen enerji miktarını hesaplanabilmektedir. Ayrıca bölgenin ve montaj yapılacak binanın rüzgar yoğunluğu da belirlenmelidir. Rüzgar yoğunluğu miktarının yüksek olması üretilen enerji miktarını düşürebilmektedir. Diğer taraftan, rüzgar türbini üzerine etkiyen kuvvetlerin şiddetini ve malzeme deformasyonunun hızını artırır. Böylece rüzgar türbinlerinin ekonomik ömürlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Rüzgar yoğunluğunun 0,25'den büyük olduğu bölgelere rüzgar sistemler kurmaktan kaçınılmalıdır.

Stratejilerin amacı, bu binalar tarafından benimsenen ve binanın NSEB statüsüne yaklaşmasına veya bu duruma ulaşmasına katkıda bulunan önlemleri vurgulamaktır. Bu stratejilerin şeması Şekil 3.12’de gösterildiği gibi bina tipi, mekan koşulları ve diğer bina yüklerinin enerji etkisini azaltmak için belirli bina tasarım yaklaşımları ve stratejileri uygulanarak ele alınan çeşitli bina gereksinimleri olduğu görülebilmektedir.



Şekil 3.12. NSEB tasarım aşamaları [45].

NSEB’larının ekonomik, sosyal ve çevresel faydaları vardır. NSEB’lar piyasa değerini ve en düşük yaşam döngüsü maliyetlerini sunan yüksek performanslı binalar için yeni bir standardı temsil eder. Bu binalar, sakinleri için yaşam kalitesini artıran daha yüksek kaliteli iç ortamlar sunabilir. Ayrıca, enerji ve kaynakların korunması ve sera gazı

emisyonlarının önemli ölçüde azaltılması ile ilgili derin çevresel faydalara da yol açarlar. Bu faydalar sadece bugün somut olmakla kalmıyor, aynı zamanda insanlığın daha büyük küresel sorunlarına hitap eden ve dolayısıyla daha iyi bir geleceğe işaret eden bir çözüm için yol açıyorlar.

NSEB'lerinin bir anda ortaya çıkmadığı çok açıktır. Net sıfır enerji çok uzun vadeli bir hedef ve süreç olduğundan, endüstri bugüne kadar bir yıllık veya daha fazla net sıfır enerji performansına ilişkin doğrulanabilir veriye sahip çok az bina kaydetmiştir. Ancak kanıtlanmış örneklerin sayısı zamanla artacak ve bu zorlu hedefe nasıl ulaşacağımıza dair bilgimizi artıracaktır. Aynı zamanda net sıfır enerji, yüksek performanslı binadan daha büyük bir fikirdir. Bu nedenle, net sıfır enerji, tüm binaları teslim etmek için bir yaklaşım olarak benimsenmelidir. Zaman içinde sıfır hedefine ulaşp ulaşmamaları, enerji performansından ve sürekli olarak geliştirilebilecek yerinde yenilenebilir enerji çözümlerinden daha az önemli olabilir. Sonuç olarak, mevcut binalar da dahil olmak üzere tüm binalar net sıfır enerji geleceği potansiyeline sahiptir.

3.5. ÖRNEK NET SIFIR ENERJİ VAKALARININ İNCELENMESİ

Bu kısımda, iki farklı vaka çalışması incelenerek, yöntemlerinin ve parametrelerinin karşılaştırılması ve eksikliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Örneklerin seçiminde vaka konusu olan binanın ofis yapısı olması, bina kabuğu ve cephe sistemlerinin enerji verimliliğinin incelenmiş olması dikkate alınmıştır.

3.5.1. NREL Araştırma Destek Tesisi

ABD Enerji Bakanlığı'nın Colorado, Golden'daki Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) kampüsündeki Araştırma Destek Tesisi (ADT), bu alanda önemli araştırma çalışmalarını destekleyen ve yürüten 800'den fazla kişiyi barındıran 222.000 m² federal bir ofis binasıdır. Ayrıca ADT bina tüm NREL kampüsüne hizmet veren bir veri merkezine de ev sahipliği yapmaktadır. Proje, NREL kampüsünün dışında bulunan kiralık ofis alanını, tesisin desteklediği laboratuvar binalarının yanında, yerinde bulunan devlete ait bir tesisle değiştirmek üzere tasarlanmıştır [43].

2010 yılı haziran ayında, Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) Araştırma ve Destek Tesislerinin (ADT) 1. aşamasının inşaatı tamamlamıştır. Colorado’da bulunan ADT şu anda ABD’deki en büyük sıfır enerjili bina olarak bilinmektedir. 220.000 m²’lik proje, performansa dayalı bir tasarım/inşa süreci ile enerji hedefine ulaşmıştır. Laboratuvarda araştırmacılar tarafından geliştirilen ve tasarlanan gelişmiş ısı geri kazanım teknolojilerinin dahil edilmesi ve kampüste 1,6 MW fotovoltaik güç kurulması dahil olmak üzere çok sayıda enerji verimliliği stratejisi uygulanmıştır. Bunlara ek olarak, gün ışığı aydınlatması, doğal havalandırma ve enerji tasarruflu veri merkezi, binanın diğer enerji odaklı özellikleri arasında gösterilmektedir. ADT’nin proje bilgileri Şekil 3.13’te verilmiştir.



Proje Bilgileri :

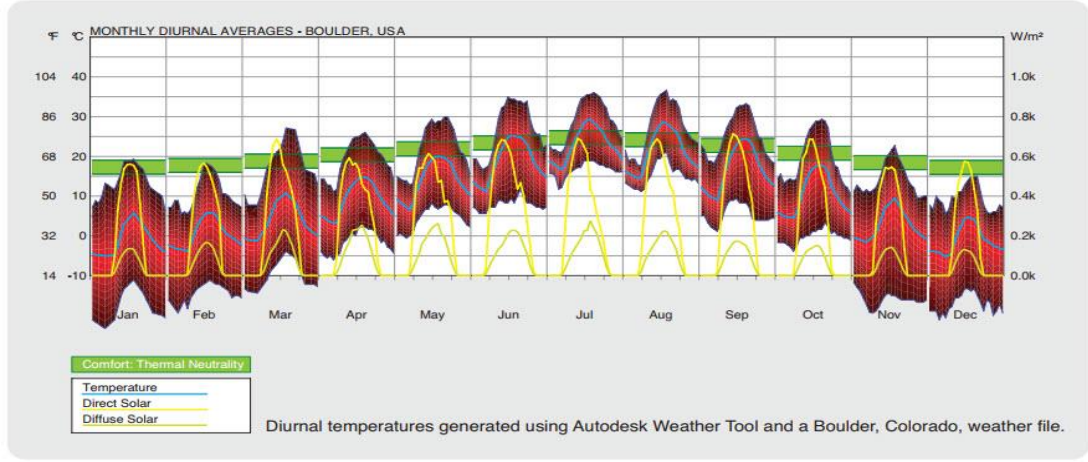
- **Proje Adı:** Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvar Araştırma Destek Tesisi
- **Yer:** Golden, Colorado, 80401
- **Bina Tipi:** Federal Ofis Binası
- **İnşaat Alanı:** 222.000 ft²
- **Sahibi/Müşteri:** ABD Dışişleri Bakanlığı Enerji
- **M&O Yüklenici:** Alliance for Sustainable Energy, LLC
- **Design-Build RFP Danışmanı:** Design Sense, Inc.
- **Mal Sahibi Temsilcisi:** Northstar Proje Yönetimi

Şekil 3.13. NREL araştırma destek tesisi “ADT”.

3.5.1.1. İklim Özellikleri

Golden, Colorado’nun iklimi pasif stratejiler için idealdir. Konum, sıcak yazlar ve soğuk kışlar dahil olmak üzere geniş mevsimsel farklılıklara sahiptir. İklim, ısınma ağırlıklıdır, ancak yaz mevsiminin en yüksek ve en düşük kış mevsimi arasında 37,77

°C üzerinde mevsimsel farklılıklar gösterir. Aynı zamanda iklimi yıl boyunca düşük bağıl nem ile kurudur. Yıl boyunca güneş ışığı, pasif güneş enerjisiyle ısıtma ve güneşten elektrik enerjisi üretimi için yüksek değere sahiptir. Rocky Dağları'nın eteklerinin yanında yer alan bu konum, tipik rüzgar modellerini güçlendirmektedir. Binanın avlularında yaya konforunu ve işlevsel doğal havalandırmayı sağlamak için sahaya özel bir rüzgar çalışması yapılmıştır. Colorado bölgesinde aylara göre ortalama günlük sıcaklık değişimleri Şekil 3.14'te gösterilmektedir [43].



Şekil 3.14. Colorado bölgesinde ortalama günlük sıcaklıkları.

Tasarım, enerji performansına odaklanması işlemi yanında proje maliyeti, inşaa zamanı, kapsamı ve performans sorunlarını çözmek için proje sahasına, kullanılan sistemlere ve iklim koşullarına özel bir yanıttır. Tasarımda net sıfır enerji yaklaşımının temelinde, çeşitli ve entegre bir dizi pasif stratejiler söz konusudur. Bütün bina enerji çözümü olarak ele alındığında, yerinde yenilenebilir enerjinin kullanılabilir kadar düşük bir enerji konumuna sahip, tüm enerjisini üreten bir bina ile sonuçlandığı anlaşılmaktadır.

3.5.1.2. ADT Binasında kullanılan Tasarım Stratejileri

1. Bina kabuğu

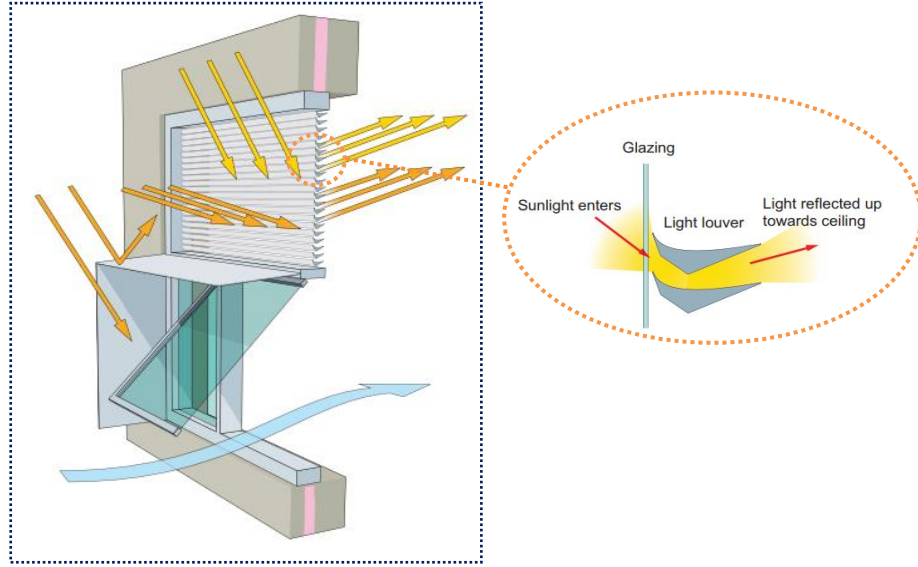
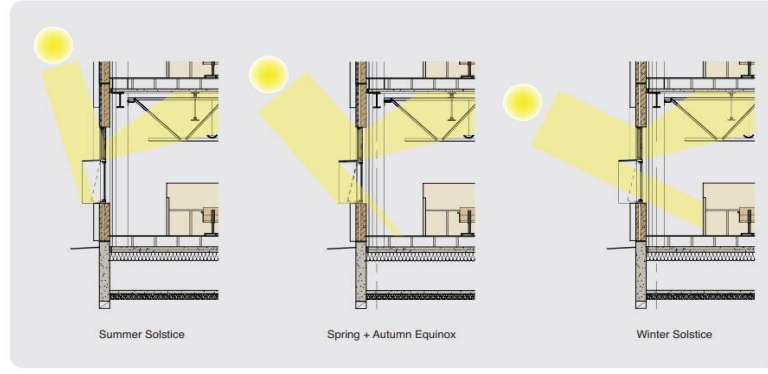
ADT bina kabuğunda, pencere alanları mekanın tamamen gün ışığı alması ve iyi bir görünüm sağlaması için tüm yönlere göre optimize edilmiştir, ancak çok büyük

değildirler. Kuzey cephe pencereleri, kış aylarında ısı kaybı yükümlülüğünü temsil eder. Kuzey cephelerde, tipik bir ofis bölmesi için temel pencere-duvar oranı %27'dir ve tüm kuzey cepheleri için toplam pencere-duvar oranı %21'dir. Pencerelerin çoğu, güney gün ışığı penceresi hariç, yeterince yalıtılmıştır (camın merkezi U-faktörü = 0.17), termal olarak kırılmış çerçevelerde üç tabakalı camdır. Tüm pencerelerde "U" faktörü oldukça yüksektir. Duvar düzenekleri, 3 inç dış betona, 2 inç katı yalıtım malzeme ve 6 inç iç betona sahip olarak hesaplanan ısı direnç değeri "R" 15 olarak tespit edilmiştir. Çatının "R" değeri ise 33 olarak hesaplanmıştır. Temel amaç, yapı katmanlarındaki termal köprülemeyi en aza indirmektir. Termal kamera kullandığında, alüminyum çerçevelerin termal elemanlardaki en zayıf nokta olduğu vurgulanmıştır [43].

2. Gün ışığı aydınlatması

Gün ışığı, ADT için temel stratejidir. Genel olarak, tesiste düzenli olarak kullanılan alanların %92'si LEED gereksinimlerine göre gün ışığı almaktadır. Gün ışığı aydınlatması, binanın çoğunda birincil ortam aydınlatmasını sağlarken gün ışığı sensörü ayar noktasının altına düştüğünde ışık seviyelerini tamamlayan gün ışığı kontrollerinde kısılabılır veya kademeli aydınlatma sağlar. Gün ışığı kontrolleri ile etkin aydınlatma gücü yoğunluğu kışın tam güneş altında 0,12 W/m² ve tam güneş altında yaz aylarında metrekare başına 0,18 Watt'tir [43].

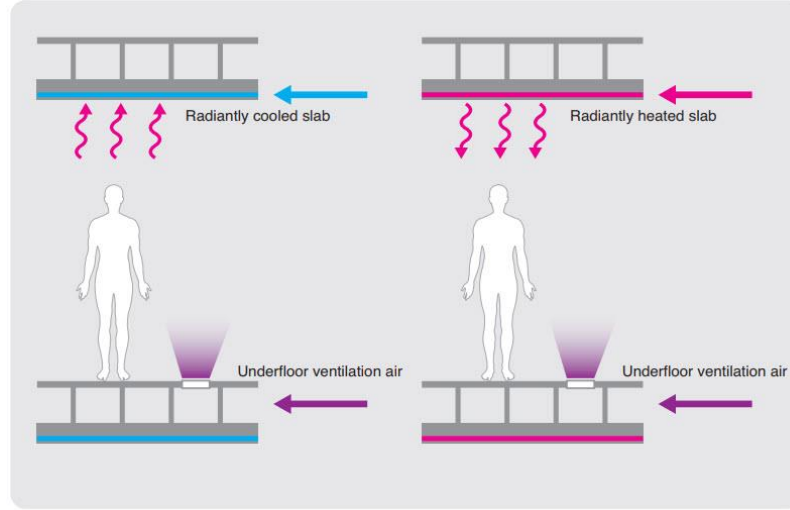
Şekil 3.15'te, ADT'de güneşe bakan cephelerde kullanılan tasarım görülmektedir. Pencerenin en belirgin özelliği, görüş bölümünün gün ışığı bölümünden ayrılmasıdır. Bu önemli bir noktadır, çünkü gün ışığı penceresinin gün ışığı için optimize edilmesine ve görüş penceresinin güneş ve kamaşma kontrolü için gölgelenmesine izin verir.



Şekil 3.15. Mevsimsel değişimde gün ışığı aydınlatma.

3. Enerji Verimli Bina Sistemleri

NREL kampüs tesisinde soğutma tesisi, su soğutmalı soğutuculardan ve yüksek performans katsayısına (COP) sahip bir soğutma kulesinden oluşur. Isıtma tesisi, doğal gaz destekli bir odun yongası brülörüdür. Soğutulmuş ve ısıtılmış su, ADT inşaa programının çoğuna hizmet eden hidronik radyant ısıtma ve soğutma sisteminde kullanılır. Hidronik boru sistemi, beton zemine ve çatı güvertelerine gömülüdür ve Şekil 3.16'daki gibi tasarlanmıştır [43].



Şekil 3.16. ADT'nin ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemi.

4. Yenilenebilir Enerji Sistemleri

ADT binasında kullanılan çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının başlıcası, yerinde fotovoltaik (PV) sistemlerden elde edilen güneş enerjisidir. PV sistemleri, başka herhangi bir yenilenebilir enerji kaynağı olmadan net sıfır enerjii karşılayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Bu durumda, üretilen elektrik miktarı, bina ısıtması ve kullanım sıcak suyu için yakıt enerjisini dengeler [43].

Binanın sıcak suyu, kampüs binaları için ısıtılmış bir su döngüsü sağlamada orman odun atıklarından odun yongalarını yakan yenilenebilir yakıtlı merkezi bir ısıtma tesisinden sağlanmaktadır. Tesisin kampüs genelindeki kapasitesi saatte 10 MBtu veya dakikada 600 galon sıcak sudur. Merkezi ısıtma tesisinin ADT'ye her yıl yaklaşık 2.000 MBtu ısıtma enerjisi sağladığı tahmin edilmektedir. Bunun yaklaşık %75'i biyokütleden; geri kalanı ise ek doğal gazdan gelmektedir.

Binanın fotovoltaik sistemi, toplam 1,67 MW kurulu PV'nin biraz üzerinde olmak üzere üç aşamada tasarlanmıştır. ADT'nin çatısında yer alan birinci faz PV sistemi, bir güç satın alma anlaşması ile kurulan 449 kW'lık bir sistemdir. 524 kW'lık ikinci faz PV sistemi, ziyaretçi otoparkı üzerinde gölgeliklerden oluşmaktadır. Gölge aynı zamanda üçüncü aşama sistemini oluşturur. Bunlar bitişik personel otoparkının en üst

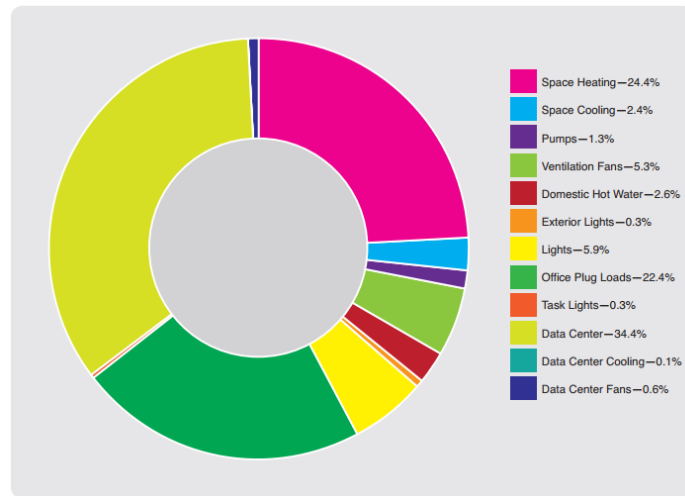
katına kurulan 706 kW'lık bir sistemdir. ADT binaya entegre edilen PV sistemleri Şekil 3.17'de gösterilmektedir.



Şekil 3.17. ADT binada kurulan PV sistemleri.

Entegre bir teslim süreci aracılığıyla, ADT projesi yüksek performans seviyelerine ulaşmayı başarmıştır. Proje, LEED-NC 2.2'ye kayıt olmuş ve 2011 yazında Platinyum sertifika olarak 69 puanın 59'unu alıp bugüne kadar onaylanmış en yüksek puanlı projeler arasına ve federal hükümet tarafından en yüksek puana sahip proje arasına girmiştir

Nihai tasarım ile tamamlanmış model, projeyi 33,2 kBtu/ft²/yıl olarak, projenin enerji hedefi olan 35,1 kBtu/ft²/yılın hemen altında yer almıştır. Şekil 3.18'deki enerji pasta grafiği, enerji son kullanımlarına göre dökümü göstermektedir.



Şekil 3.18. ADT binası için enerji kullanım dökümü.

3.5.2. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Sincan - Etimesgut Bölgesi Hizmet Binası

Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Sincan-Etimesgut Bölgesi Hizmet Binasının tasarımı sürdürülebilirlik prensibi esas alınarak Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından kurulmuştur. Türkiye’de binalarda enerji verimliliğinin artırılması üst Projesi kapsamında, Ekodenge liderliğindeki ortak girişimin teknik yeterlilik ile kazandığı bu pilot proje Türkiye’de kamu yapıları için bir örnek teşkil edecektir. “Bütünleşik Bina Tasarımı” metoduyla gerçekleştirilmiş olan projede, binanın enerji, aydınlanma ve doğal havalandırma analizleri yapılarak, yaşam döngüsü maliyet analizleri doğrultusunda mimari ve mühendislik tasarım kararları şekillendirilmiştir. Tapu ve Kadastro Müdürlüğü Binası Şekil 3.19’de ve binanın üst görünüşü Şekil 3.20’de gösterilmektedir [54].



Şekil 3.19. Tapu ve Kadastro Müdürlüğü Binası.

Bina detayları :

- Bina alanı: 5.076 m²,
- Kapalı alanı: 9.037 m² (3.051 m² otopark ve labirent alanı)
- Kullanıcı sayısı: 250 personel ve 1.000 ila 1.500 ziyaretçi/gün

Yapı tasarımında izlenen metodoloji ve adımlar şu şekildedir [54]:

- Mimari gereksinimlerin ve sürdürülebilirlik hedeflerinin tanımlanması
- Binanın pasif ve aktif sistemlerinin kurulması

- Önerilen stratejilerin enerji modellemelerinin ve ekonomik analizlerinin yapılması

Tasarımda gerçekleşen pasif ve aktif yöntemler şunlardır:

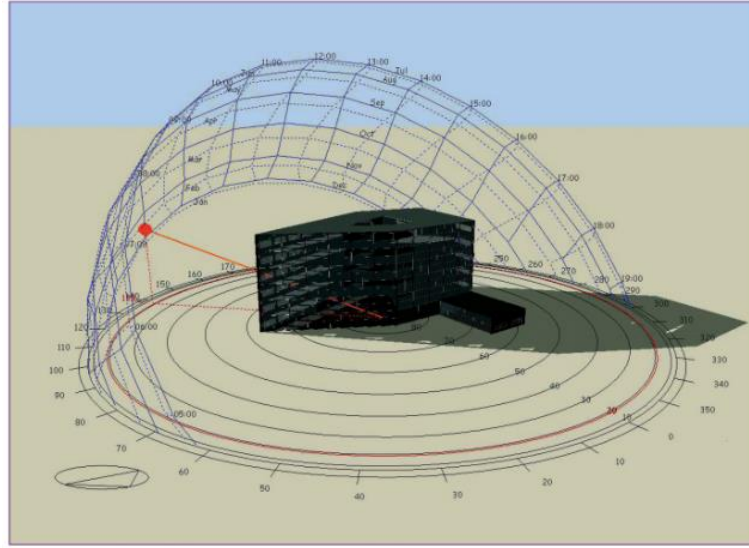
- Gün ışığı analizleri ile cephe optimizasyonu
- Isı geri kazanım sistemleri
- Pasif güneş sistemleri (Solar duvar ve güneş bacaları gibi)
- Labirent sistemi
- Yüksek verimli HVAC sistemler
- Yeşil çatılar ve sosyal alanlar



Şekil 3.20. Yapının üst görünüşü.

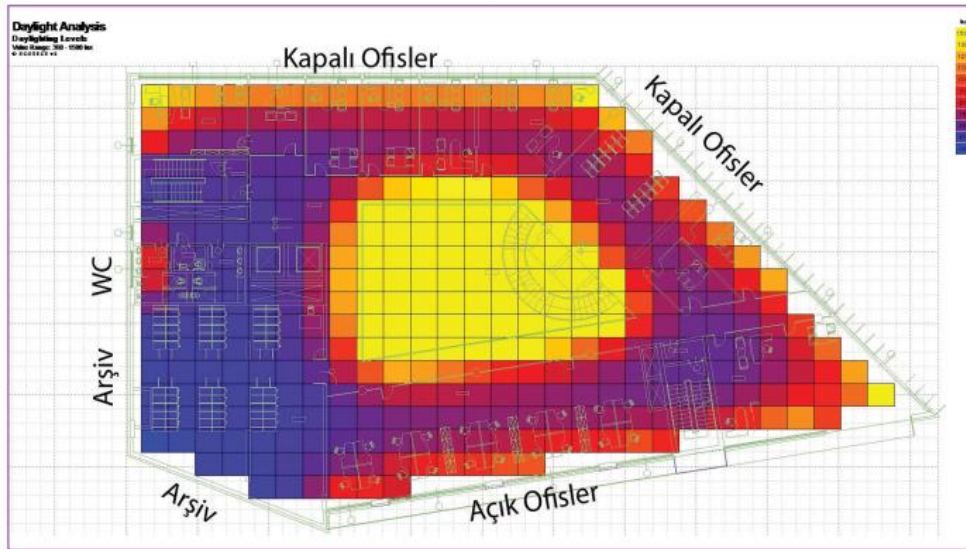
3.5.2.1. Yapının Konumu ve İklim Özellikleri

Güneş enerjisinden en olumlu şekilde faydalanmak için güneş enerji analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre cephe yüzeyleri şekillenmiş, Bina yönü belirlenmiş, ve optimizasyon işlemi yapılmıştır. Gün ışığı analizi ve modelleme, Şekil 3.21'deki gibi, sürdürülebilir bina yaklaşımında gün ışığı ve gölge analizleri ile tasarımcılara enerji performansı ve iç ortam kalitesi yüksek verimli bina tasarlama fırsatı sağlamaktadır [54].



Şekil 3.21. Gün ışığı analizi.

Zemin katta masa seviyesinde sağlanacak lüks cinsinden gün ışığı miktarları Şekil 3.22’de görülmektedir. Normlara göre, ofis mahallerin aydınlık miktarı 300 ile 500 lux arasında olmalıdır. 300-700 lux arası alan bölgeler mor rengiyle ve 300 lüksün altında alan bölgeler lacivert ile gösterilmiştir. Bunun neticesinde doğal aydınlatmanın yeterli ölçüde açık ve kapalı ofislerde sağlanmaktadır.

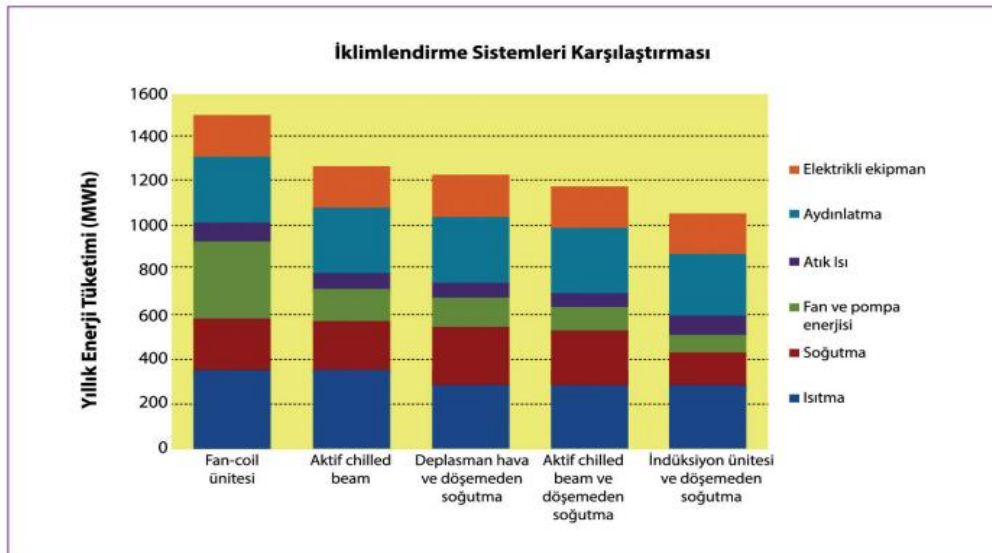


Şekil 3.22. Günışığı analizi sonucu.

3.5.2.2. Binada Kullanılan Pasif Sistemler

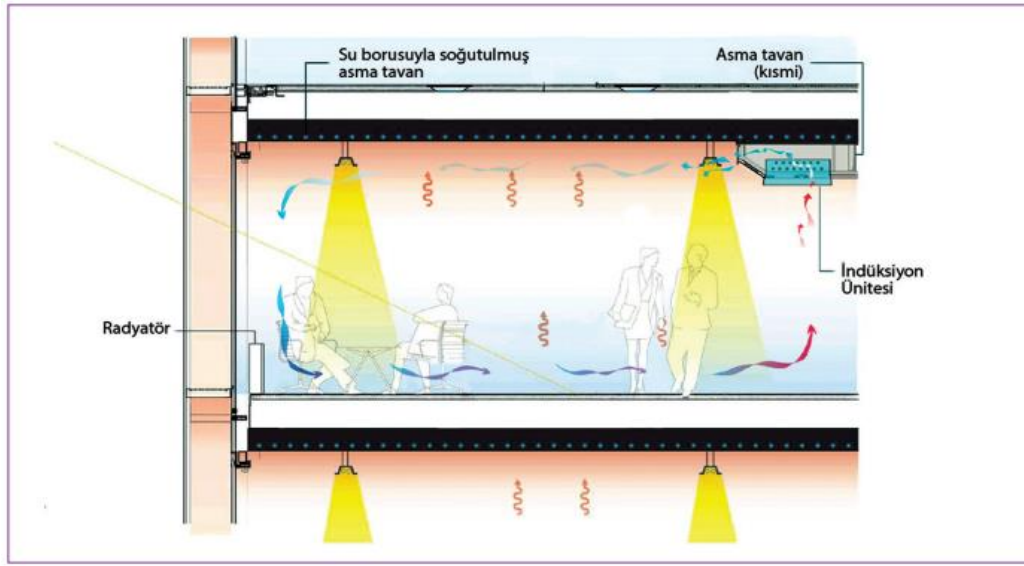
Beton Isısı Kontrol Sistemi

Binalar buldukları iklim bölgesinin, fonksiyonunun, kabuğunun fonksiyonu olarak yıllık belirli bir miktar enerji tüketimine ihtiyaç duyarlar. Binaların enerji performansının artırılması için verilen bu özellikler altında bir binanın pik durumda ve yıllık bazda ne kadar enerji tüketiceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Mekanik sistemler arasında yıllık enerji tüketimi karşılaştırması Şekil 3.23'te verilmektedir [54]. Sonuçlara göre en yüksek enerji tüketilen sistem FanCoil sistemidir. Aktif chilled beam sisteminde doğal olarak hava çevrimi sağlandığından dolayı fan ve pompa enerji ihtiyacı daha düşüktür. Fan enerji tüketimi ise aktif chilled beam iklimlendirmesi ile benzerdir. Simülasyonlara göre en düşük enerji tüketilen sistem indüksiyon ünitesi ve döşemeden ısıtma/soğutma sistemidir. Fakat yüksek ilk yatırım maliyetine sahip olduğundan dolayı bu sistem tercih edilmemiştir. Soğutma ihtiyacının bir bölümü döşemede oluşturulan ısı kütlesi ile sağlandığından deplasman havalandırma ve döşemeden soğutma sisteminin enerji tüketimi diğer sistemlere göre orta bir tüketimdir.



Şekil 3.23. Binadaki bulunan sistemlerin yıllık enerji tüketimi.

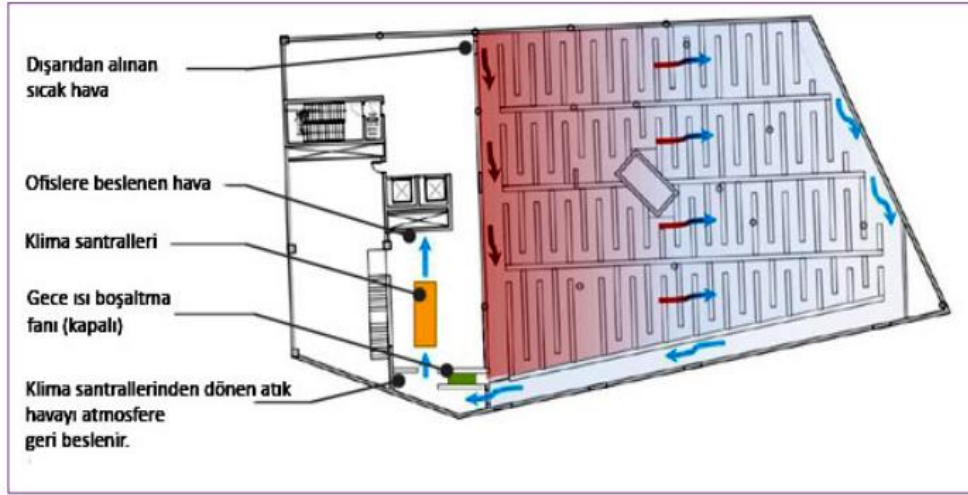
Beton ısısı kontrolü inşaat aşamasında kat betonunun donatılarına uygulanan borulara sıcak su göndermek sureti ile kat betonunun ısıtılması veya aynı borulara soğuk su gönderilmek sureti ile kat betonunun soğutulması gerçekleştiren sistemdir. Şekil 3.24'te gösterildiği gibi, beton ısısı kontrol sistemi, döşemeleri ısıl kütle olarak kullanılıp, aktif ısıtma ve/veya soğutma sistemlerinin yanında binanın ısı kaybını veya kazancını herhangi bir enerji harcamadan da dengelemektedir, bundan dolayı bina ısıtma veya soğutma ihtiyaçlarını pasif olarak azaltmaktadır.



Şekil 3.24. zemin ısısı kontrol sistemi.

Labirent Tasarımı

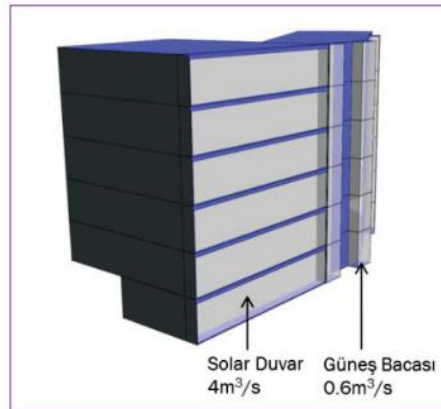
Labirent sistemi, Şekil 3.25 görüldüğü gibi, zemin altında labirent şeklindeki beton duvarlardan oluşmaktadır. Labirent sistemi, yazın ön soğutma, kışın ön ısıtma sağlayacaktır. Ankara'daki tipik karasal iklim şartlarının en olumlu göstergesi olan gündüz ve gece sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkını kullanarak ısıtma ve soğutmadaki enerji ihtiyacını minimize etmek üzere, bodrum katta labirent tasarlanmıştır [54].



Şekil 3.25. Labirent sistemin çalışma prensibi.

Güneş Duvarı Sistemi

Güneş duvarı sistemi (Solarwall) binaların güneş enerjisi ile ısıtılmasında kullanılan ve iç ortama sürekli olarak temiz hava sağlanan bir sistemdir. Merkezi havalandırma sistemlerinde bina içinin ısıtılması için kullanılan sistemlerde ön ısıtıcı vardır. Bu ön ısıtıcı dışarıdan alınan temiz havayı nem oranını düşürmek amacıyla ısıtır. Güneş duvarı sisteminde ise ön ısıtıcı görevini her hangi bir enerji tüketmeden pasif olarak güneş duvarı üstlenir. Bu şekilde havalandırma sisteminin enerji sarfıyatı ciddi oranlarda düşer, ve ortama sağlanan taze hava ile de konforlu bir ortam sağlanır. Binaya entegre edilen güneş duvarı sistemi Şekil 3.26’da gösterilmektedir [54].

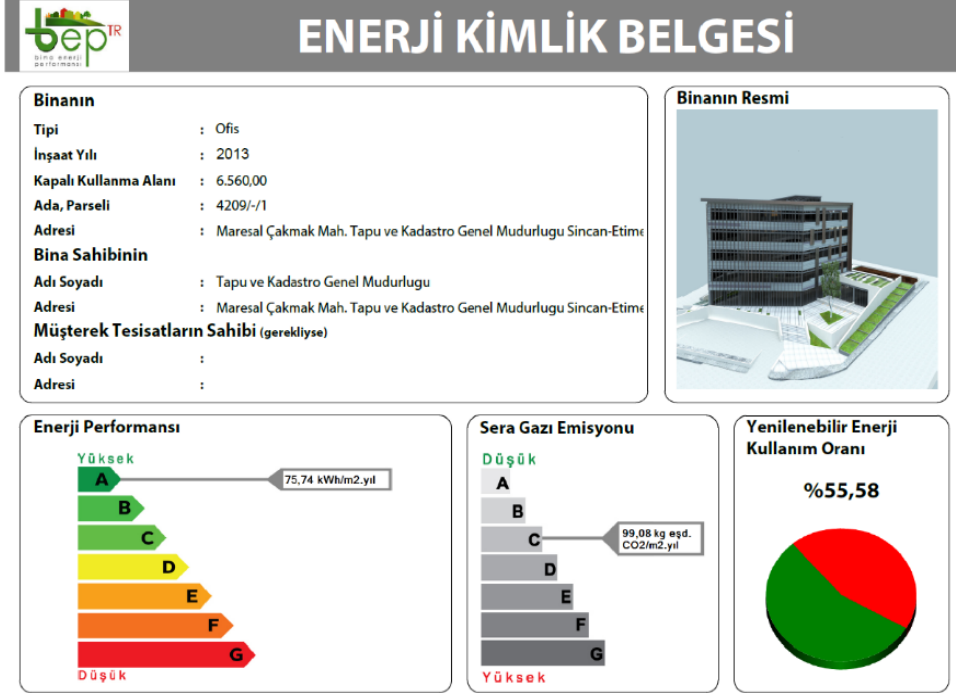


Şekil 3.26. Güneş duvarı prensibi.

Tapu ve Kadastro Müdürlüğü Binası'nda gerçekleşen enerji iyileştirme stratejileri aşağıda verilmiştir [54]:

- Bina güneş enerji sistemlerine göre optimum güneş yöneliminin sağlanması
- Artırılmış yalıtım malzemeleri ve aydınlatma kontrol sisteminin sağlanması
- Beton ısı kontrol sistemi kullanılarak HVAC yüklerinin azaltılması
- Havalandırma sisteminde %70 ısı geri kazanımlı klima santralleri kullanılması
- Labirent sisteminin yıllık faydasının eklenmesi
- Isıtma ve soğutma amacıyla ısı pompası kullanılması
- Güneş duvarı sisteminin yıllık faydasının eklenmesi
- PV sisteminin yıllık elektrik enerji üretiminin eklenmesi
- Güneş kolektörlerinin yıllık katkısının eklenmesi

Ankara Sincan'daki Tapu Kadastro Binası'nın ilk yatırım ve bakım maliyetlerinin standart binaya oranla %16 daha fazla olmasına rağmen, enerji etkinliği nedeniyle ömür boyu maliyet analizinde daha ekonomik, evre dostu ve sürdürülebilir olduğu görülmüştür. Binanın enerji maliyeti standart binaya göre 5/1 oranında azalmaktadır. Tapu ve Kadastro Müdürlüğü Binasının Enerji Kimlik Belgesi Şekil 3.27'de gösterilmektedir.



Şekil 3.27. Tapu ve Kadastro Müdürlüğü Binasının Enerji Kimlik Belgesi [54].

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, araştırılan ilgili literatüre bağlı kalınarak çalışmanın yöntemi oluşturulmuştur. Çalışma dört ana aşamadan oluşmaktadır.

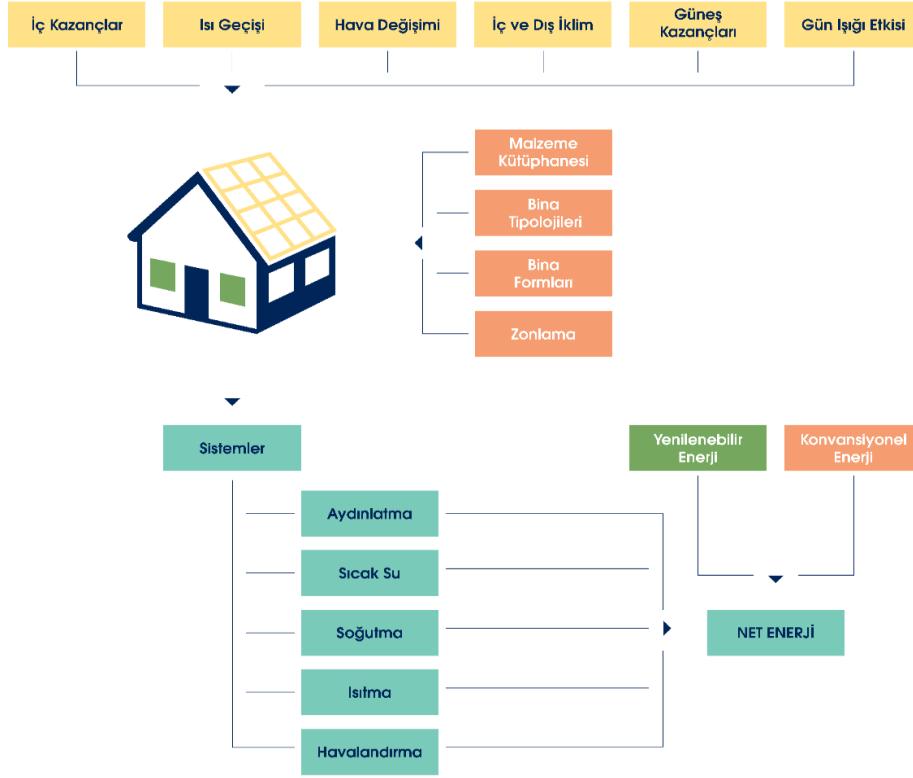
Birincisi; çalışmanın yapıldığı yer ve binanın seçilmesi işlemidir. Burada, bina yerinin dış ortama ilişkin parametreleri, topografya, iklimsel şartlar ve yakın çevredeki yapılaşma parametreleri dikkate alınmıştır.

İkincisi; seçilen binanın termal analizinin yapılmasıdır. Binada ısı geçişi olan yüzeyler ve bu yüzeylerin ısı transfer katsayıları ile yapı elemanlarının ısı iletim katsayıları TS 825 standardına göre hesaplanmıştır.

Üçüncüsü ise binanın enerji ihtiyacını belirlenmesidir. Bu aşamada soğuk aylarda ısıtma, sıcak aylarda ise soğutma yükleri tespit edilerek binanın elektrik tüketim değerleri hesaplanmıştır. Isıtma ve soğutma yükünde bina dış kabuğu önemli bir rol oynamıştır. Bu ihtiyaçlar belirlendikten sonra, gerekli yakıt ve elektrik tüketimi belirlenmiştir.

Dördüncü ve son aşamada binanın enerji modellemesinin yapılması ve tasarım alternatif senaryolarının değerlendirilmesi çalışmaları Revit yazılımı aracılığı ile yapılmış ve Yapı Bilgi Modellemesi (Building information modeling, BIM) sürecine dahil edilmiştir. Autodesk Revit'in web tabanlı enerji analizi programlardan GBS "Green Building Studio" kullanılarak bina enerji modellemesi (building energy modeling, BEM) süreci tamamlanmıştır. NSEB özelinde, uygun tasarım değişikliklerinin alınmasında yol gösterici olarak Autodesk Insight sitesinden de yararlanılmıştır. Daha sonrasında ise Net Sıfır Enerjili bina "NSEB" dönüşümü için

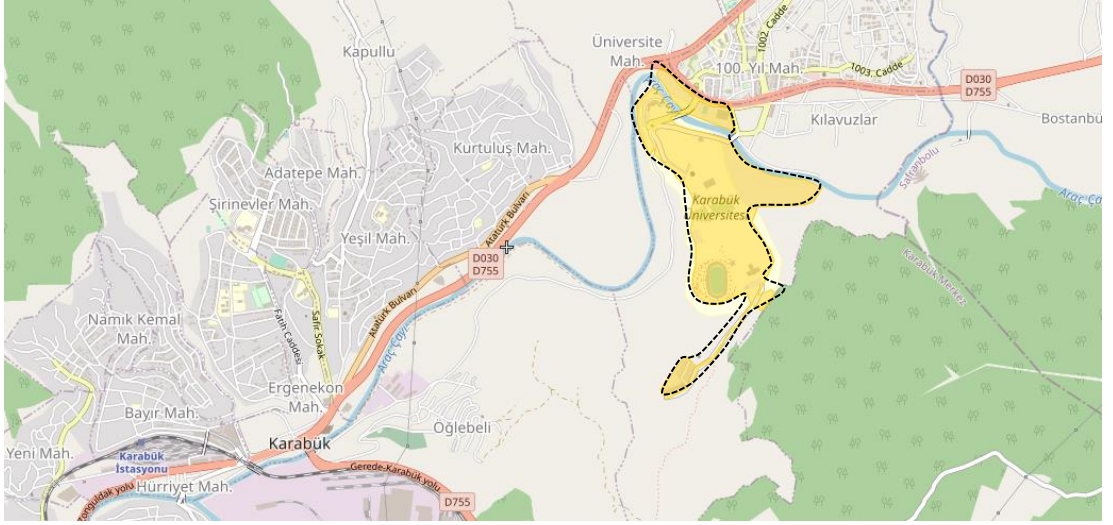
seçilen stratejiler üzerinde durulmuştur. Bu stratejiler tezin 5. Bölümünde detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Özet olarak tez çalışmanın yöntemi ve bina enerji modelinin akış planı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. NSEB tasarım yönteminde girdiler ve enerji dengesi arasındaki ilişki.

4.1. KARABÜK ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ

Karabük Üniversitesi Demir-Çelik Kampüsü merkez kampüs konumundadır ve bünyesinde birçok fakülte, enstitü, araştırma merkezi ile olimpik yüzme havuzu, kapalı spor salonu, postahane, banka, botanik bahçesi, cami, 25.000 kişilik stadyum ve yurt bulunmaktadır. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi kampüsün çevresinden Araç Çayı geçmektedir [55].



Şekil 4.2. Karabük Üniversitesi Kampüsü'nün yerleşimi.

NSEB tasarımının uygulanacağı örnek bina olarak Karabük Üniversitesi Öğrenci İşleri Merkezi (ÖİM) binasını seçilmiştir. Yapı, Şekil 4.3'teki gibi, üniversite merkez kampüsünün yeni gelişim yeri olarak belirlenen Batı Kampüsü'nde bulunmaktadır. $41^{\circ}12'38.4''K$ enlem ve $32^{\circ}39'18.3''D$ boylamında bulunan bina, kuzey-güney doğrultusu ile $61,54^{\circ}$ açı yapacak biçimde konumlanmıştır. Bina dış görünüşleri Şekil 4.3-4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.3. Karabük Üniversitesi Öğrenci İşleri Merkezi uydu görüntüsü.



Şekil 4.4. Öğrenci İşleri Merkezi kuzeyden genel görünümü.



Şekil 4.5. ÖİM binasının güneyden görünüşü.

Karabük Üniversitesi merkez kampüsü içerisinde yer alan yapı öğrenci işleri daire başkanlığı başta olmak üzere, araştırma merkezleri, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uluslararası Öğrenci Koordinatörlüğü, Kongre Koordinasyon Birimi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü gibi birimleri barındırmaktadır [56].

ÖİM bina dahilinde oluşturulan alt katlar, amfilerin yoğun olduğu bölümü ana girişin yer aldığı üst katlardan ayırmakta ve kullanım yoğunluğunu bina bütününde gürültü başta olmak üzere pek çok parametreyi etkileyecek şekilde düzenlemektedir. Zemin

kat ile bodrum katlar arasında öğrencilerin aşırı olarak kullandığı mahallara yer verilmiş ve bu iki kısım bir açık alanın oluşturduğu sosyal yerle birlikte bağlanmıştır. Biri tümüyle zemin kat, toprak altında kalan 3 bodrum kat ve 3 normal kattan oluşan yapı toplam 9.060 m² inşaat alanına sahiptir.

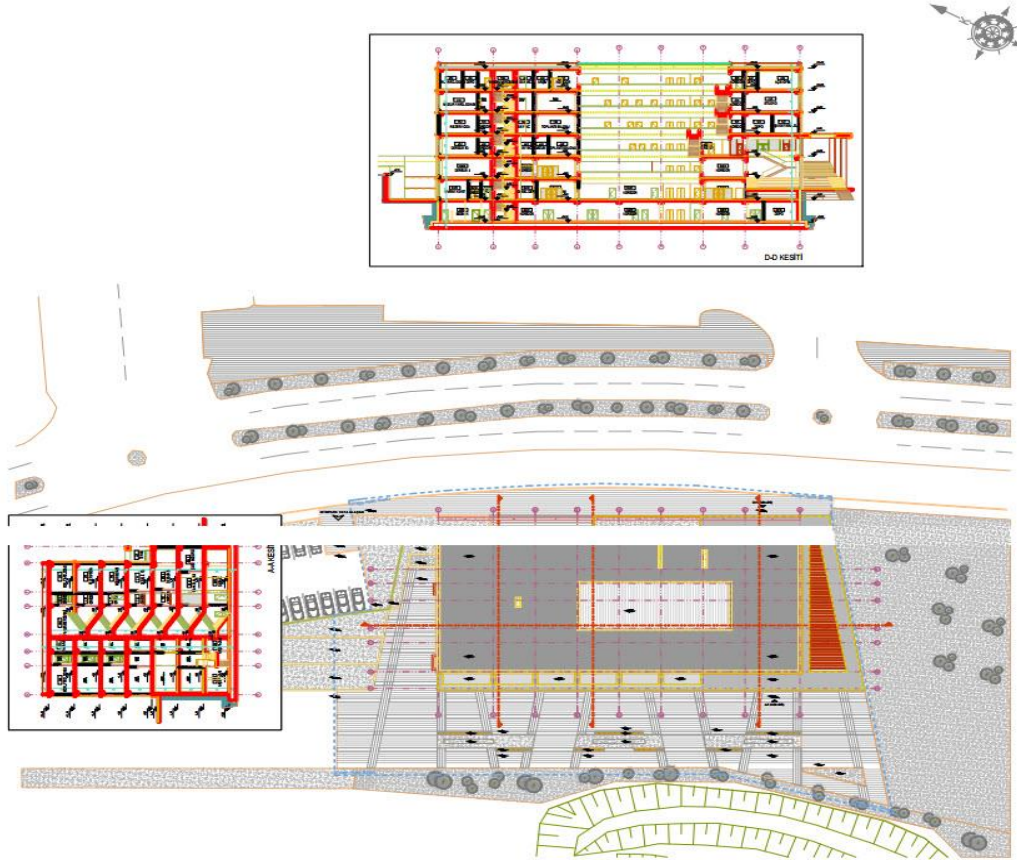


Şekil 4.6. ÖİM binasının güneyden görünüşü.

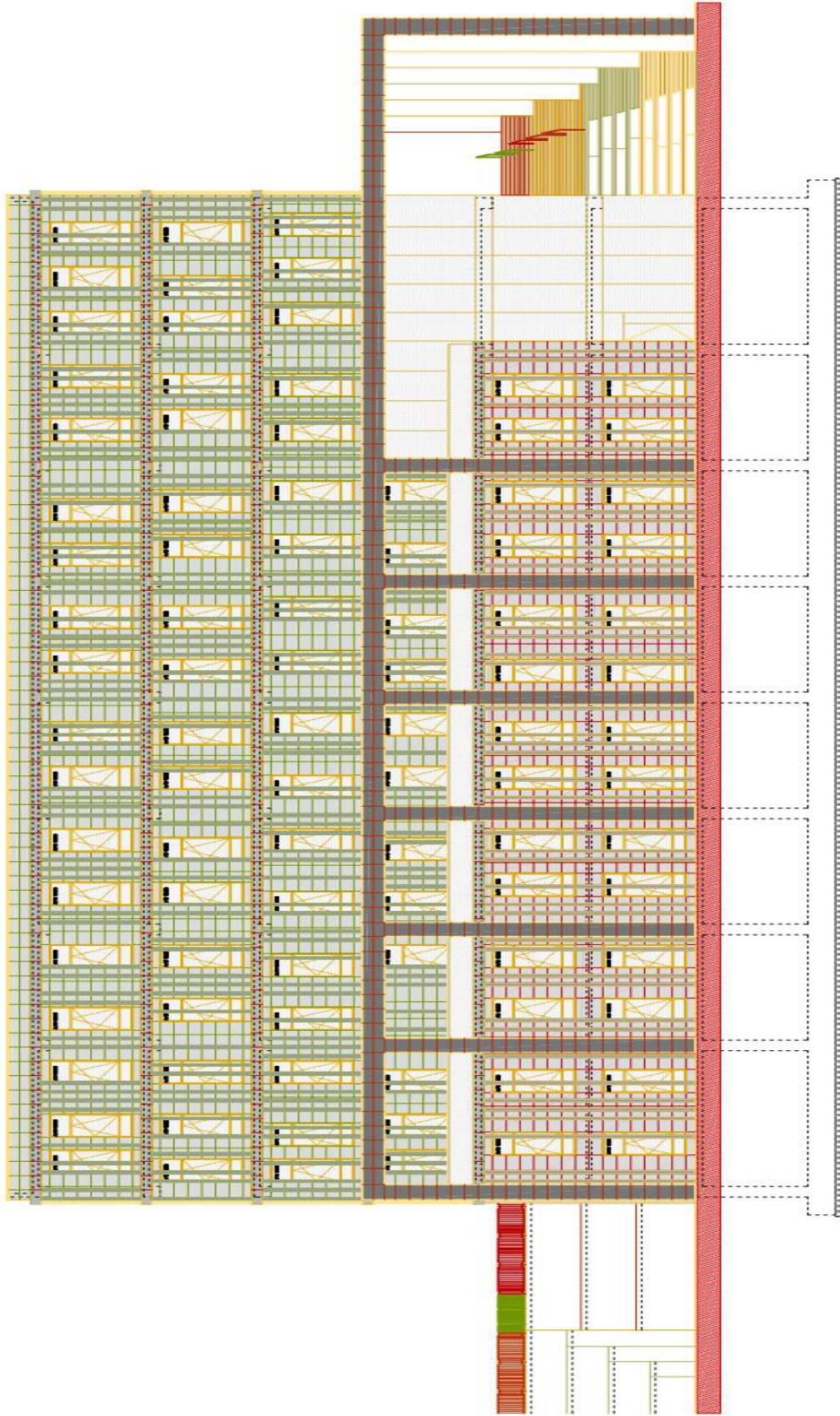
KBÜ-ÖİM binasına ait genel özellikler Çizelge 4.1 ve Şekil 4.7’de vaziyet plan görünüşü ve bina dış görünüşleri Şekil 4.8-11’de verilmiştir. ÖİM binasının kat yerleşim planları ve hesaplamalarda kullanılacak ölçülerin de olduğu ölçekli kat planları ise EK AÇIKLAMALAR A’da verilmiştir.

Çizelge 4.1. Binaya ait genel bilgiler.

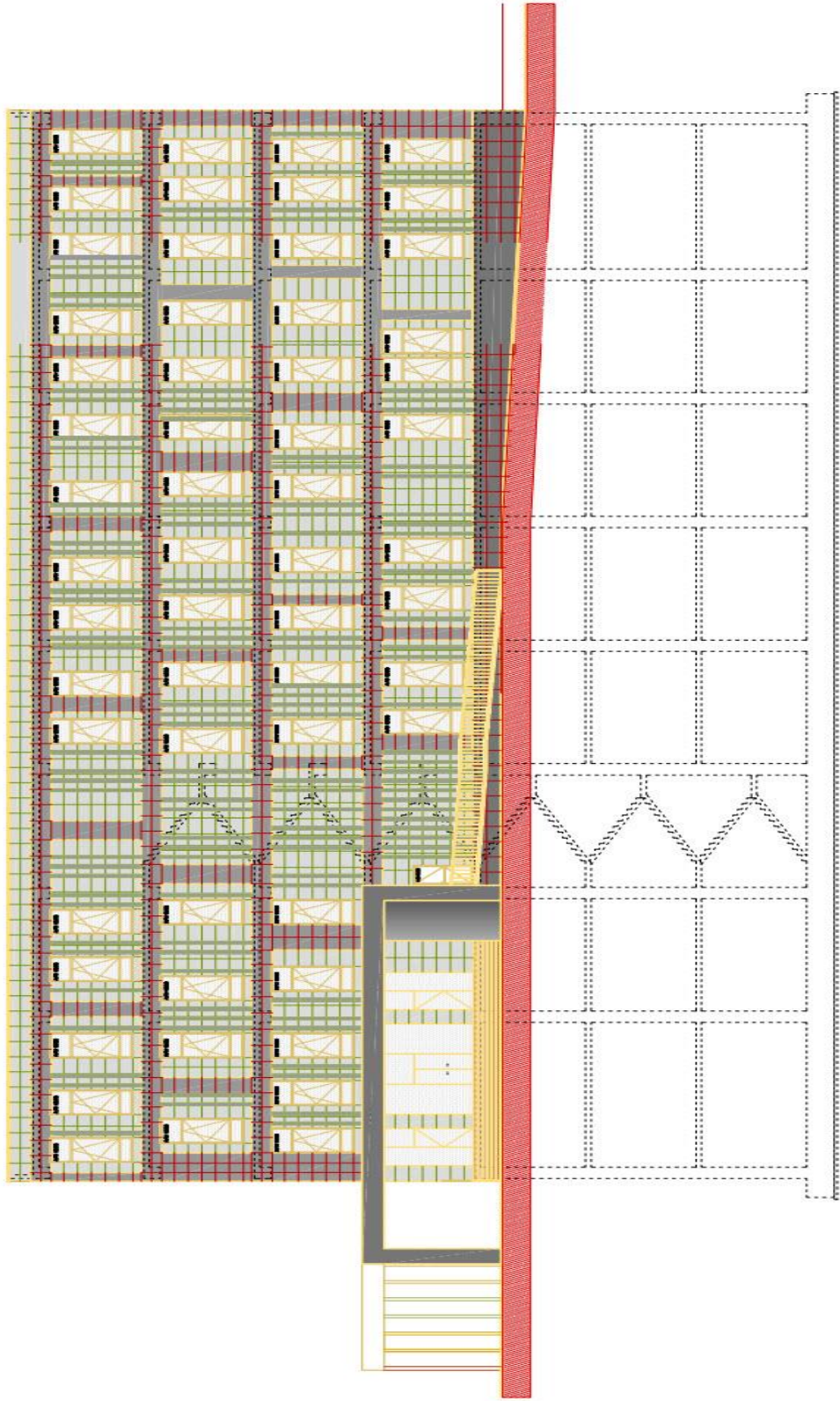
Yerleşim	Enlem	41°12'38.4''K	
	Boylam	32°39'18.3''D	
Yönlenme	Doğu batı aksında Kuzey'le 16° açı		
Genel Özellikler	Kat Adedi	3 bodrum kat, zemin kat ve 3 normal kat	
	Alan	Taban Alanı	9.060 m ²
	Yükseklik	Kat Yüksekliği	4 m
		Toplam Yükseklik	28 m
	Yüzey Alanı	Güneybatı Cephesi Yüzey Alanı	1344 m ²
		Kuzeydoğu Cephesi Yüzey Alanı	1000 m ²
		Güneydoğu Cephesi Yüzey Alanı	500 m ²
		Kuzeybatı Cephesi Yüzey Alanı	576 m ²
		Toplam Cephe Yüzey Alanı	3420 m ²
	Pencere Alanı ve Oranı	Güneybatı Cephesi Yüzey Alanı	366,6 m ²
		Kuzeydoğu Cephesi Yüzey Alanı	226,2 m ²
		Güneydoğu Cephesi Yüzey Alanı	250 m ²
		Kuzeybatı Cephesi Yüzey Alanı	206,7 m ²
		Toplam pencere Yüzey Alanı	1049,5 m ²



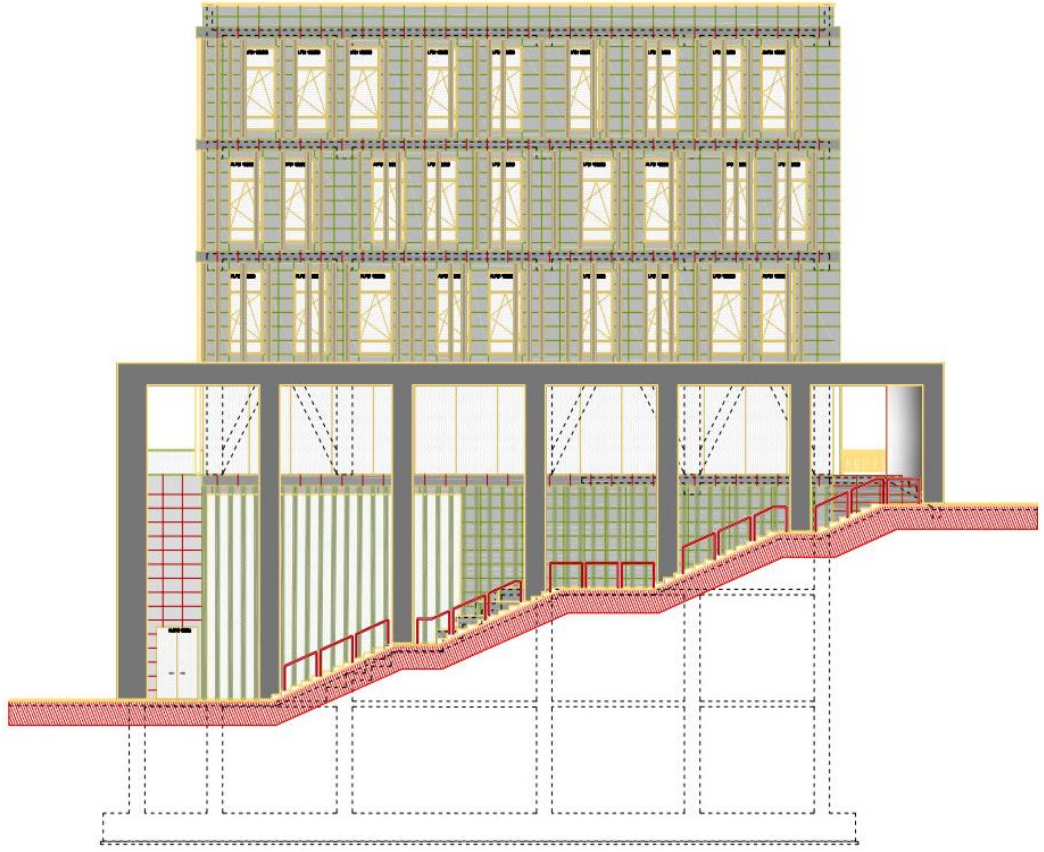
Şekil 4.7. Vaziyet plan görünüşü.



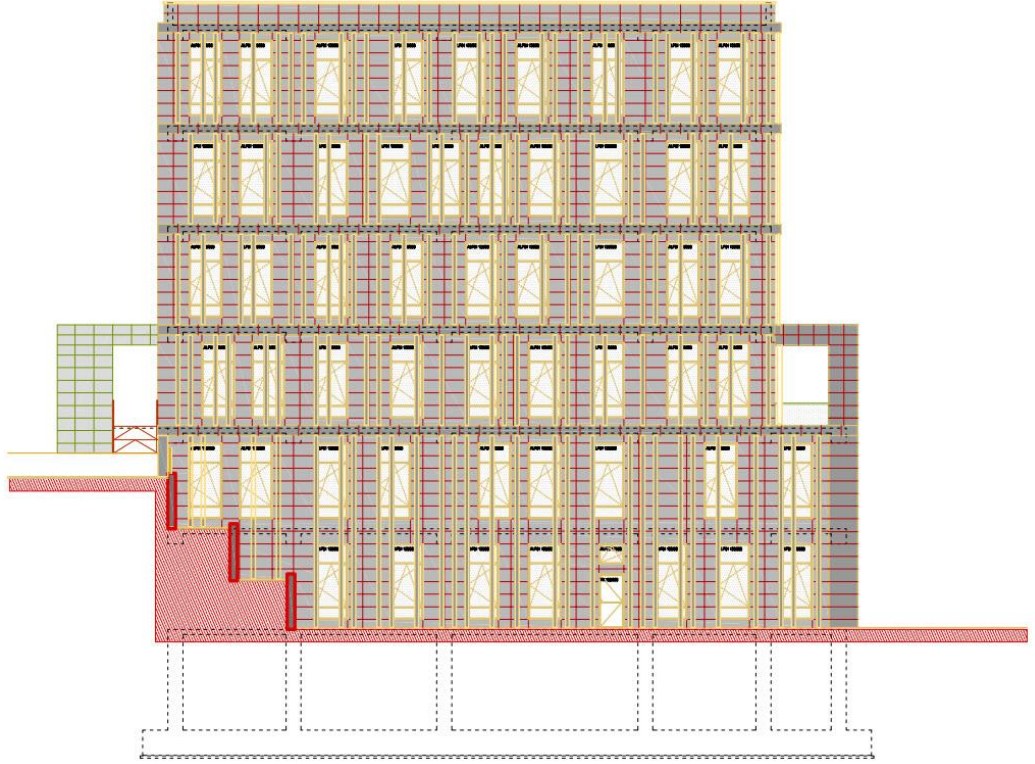
Şekil 4.8. Güneybatı cephesi görünüşü.



Şekil 4.9. Kuzeydoğu cephesi görünüşü.



Şekil 4.10. Güneydoğu cephesi görünüşü.



Şekil 4.11. Kuzeybatı cephesi görünüşü.

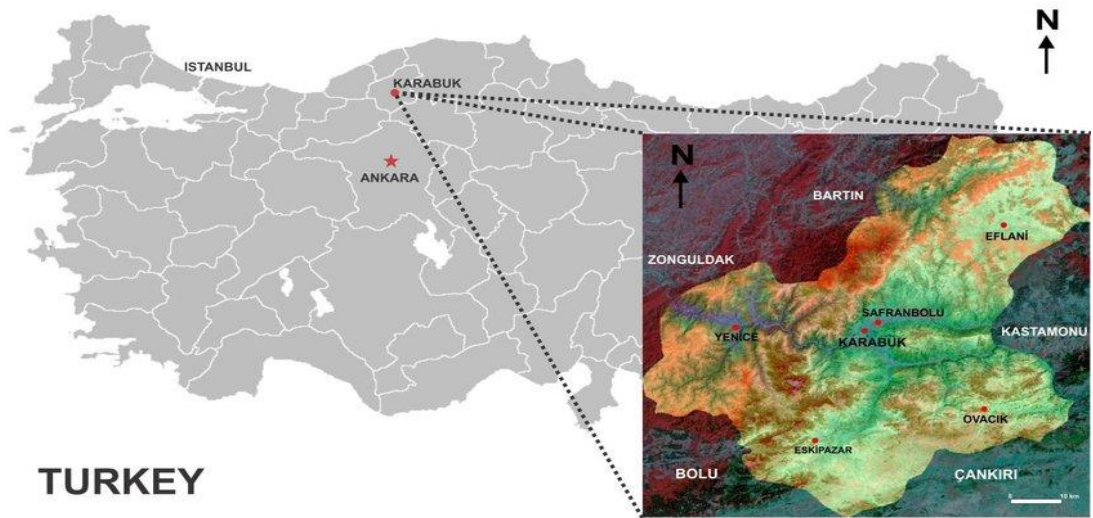
4.2. İKLİM VE DIŞ ORTAMA İLİŞKİN BİLGİLER

4.2.1. Karabük İlinin İdari ve Konum Özellikleri

Karabük, Batı Karadeniz bölümünün orta kesiminde, Küre Dağları'nın güney kesimleri ile Köroğlu Dağları arasında yer almaktadır (bknz. Şekil 4.12). Karabük-Safranbolu tersiyer havzası Bolu'dan başlayıp Kastamonu'ya kadar uzanmaktadır. Karabük, Ankara'ya 215 km İstanbul'a 396 km mesafesinde yer almaktadır Dağların geniş yer kapladığı Karabük'te ormanlar son derece yaygındır. Karabük, Türkiye geneli ormanlık alan durumlarına göre %68,8'lik orman alanı ile ilk sıralarda yer almaktadır [57].

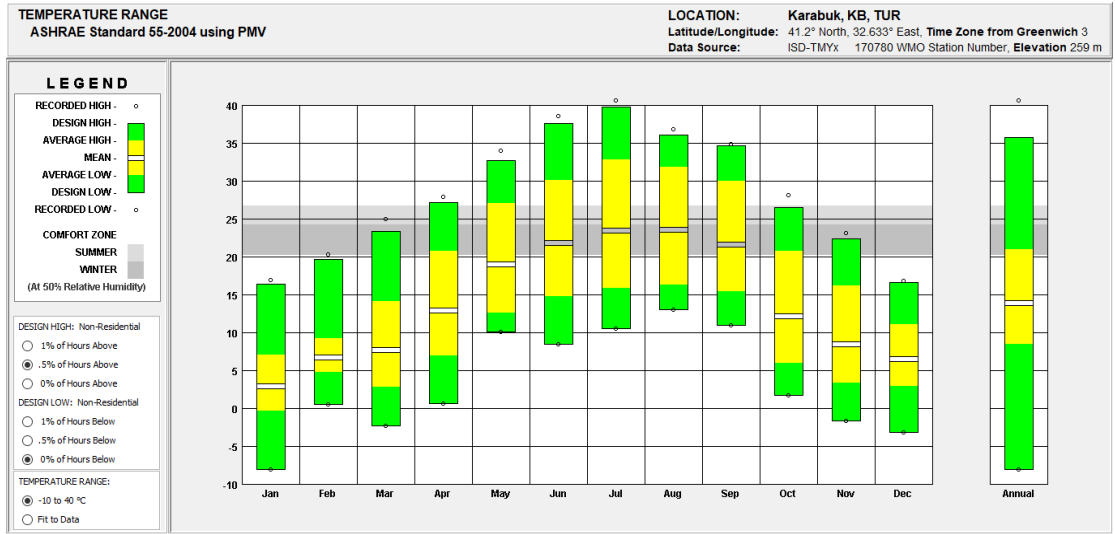
4.2.2. Karabük İlinin Coğrafi ve İklim Özellikleri

Karabük vadiler ve platolardan oluşmaktadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 270 m olmasına rağmen 2000 m'yi bulan tepe ve yaylalar mevcuttur. Kısmen Karadeniz ikliminin özellikleri görülen Karabük, kıydan içeride kaldığı için, Karadeniz'in nemli havasından yeterince yararlanamamakta, karasal iklimin özellikleri daha ağır basmaktadır. Ancak, İç Anadolu'da olduğu gibi şiddetli kış soğukları ile kurak yaz sıcakları görülmez. En çok yağış ilkbahar ve kış aylarındadır [57].

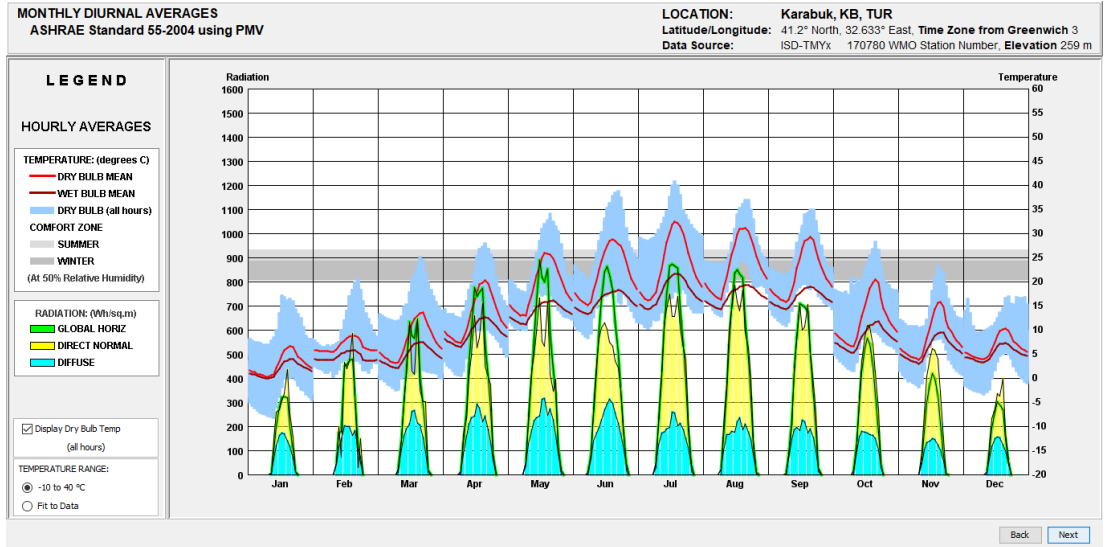


Şekil 4.12. Karabük ovası ve çevresi.

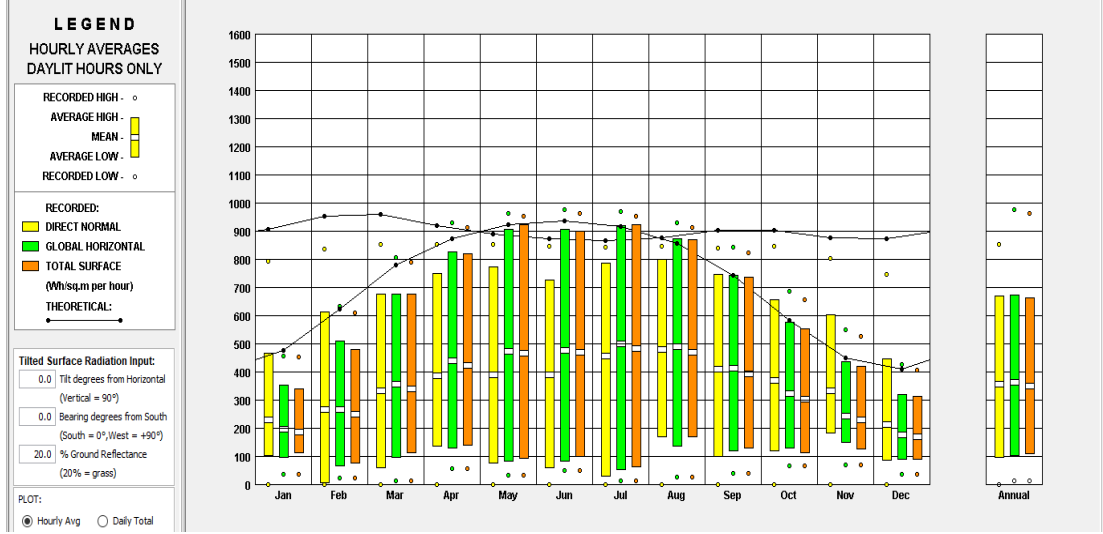
Karadeniz iklim bölgesi içerisinde Karabük özelinde iklim verilerinin özetlenmesi için; saatlik iklim bilgilerini resim olarak sunan Climate Consultant 6 programı kullanılmıştır. Climate Consultant programı epw uzantılı iklim bilgilerini kullanarak kullanıcıya ortalama sıcaklık, psikrometrik grafik, bağıl nem, rüzgar gülü gibi çeşitli grafikler sunmaktadır. Karabük iline ait epw uzantılı iklim verileri “Climate.OneBuilding.Org” sitesinden alınmış ve elde edilen diyagramlar Şekil 4.13-4.20 aralığında gösterilmiştir.



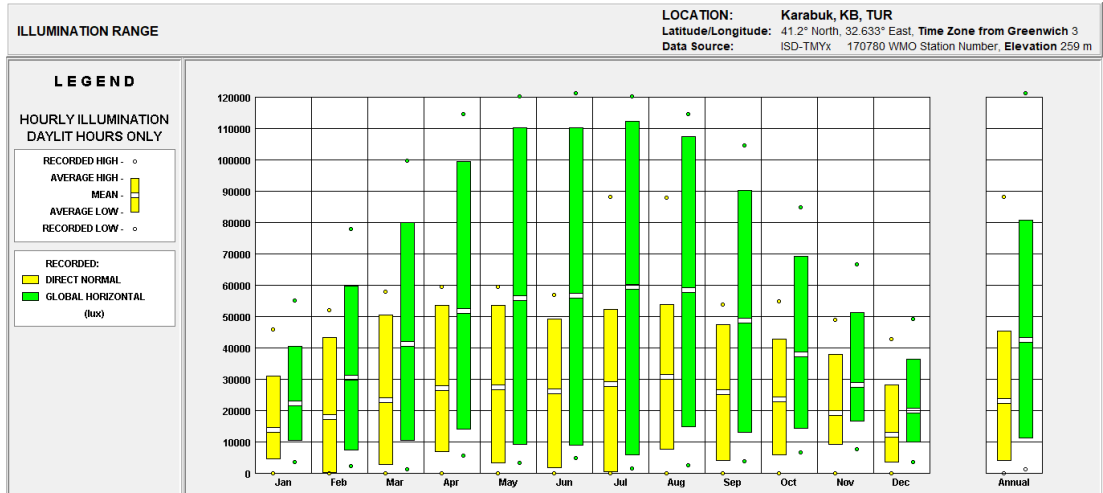
Şekil 4.13. Aylara göre sıcaklık dağılımı.



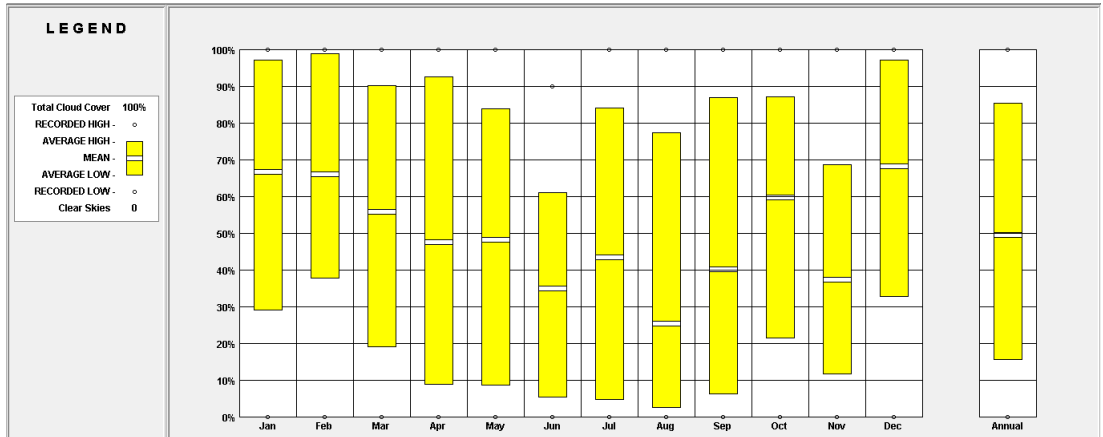
Şekil 4.14. Aylık ıslak ve kuru sıcaklığın ortalamaları.



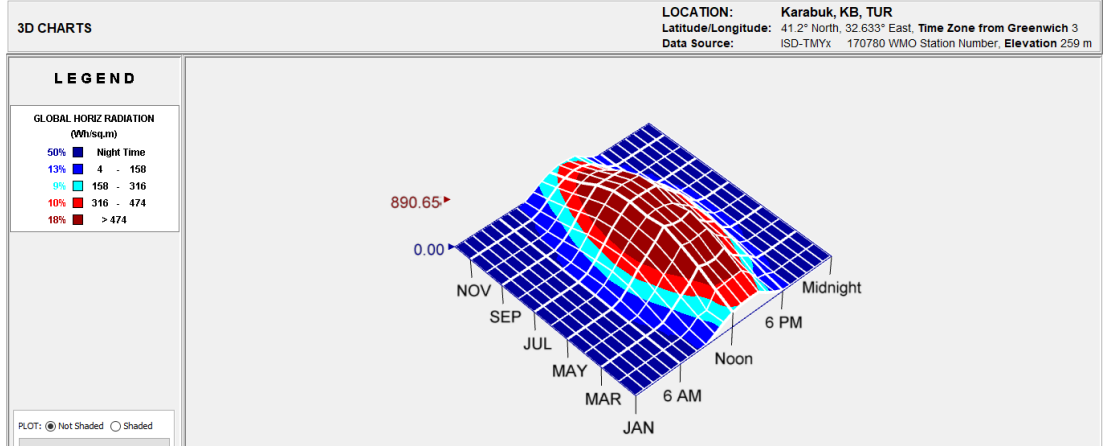
Şekil 4.15. Aylık radyasyon dağılımı.



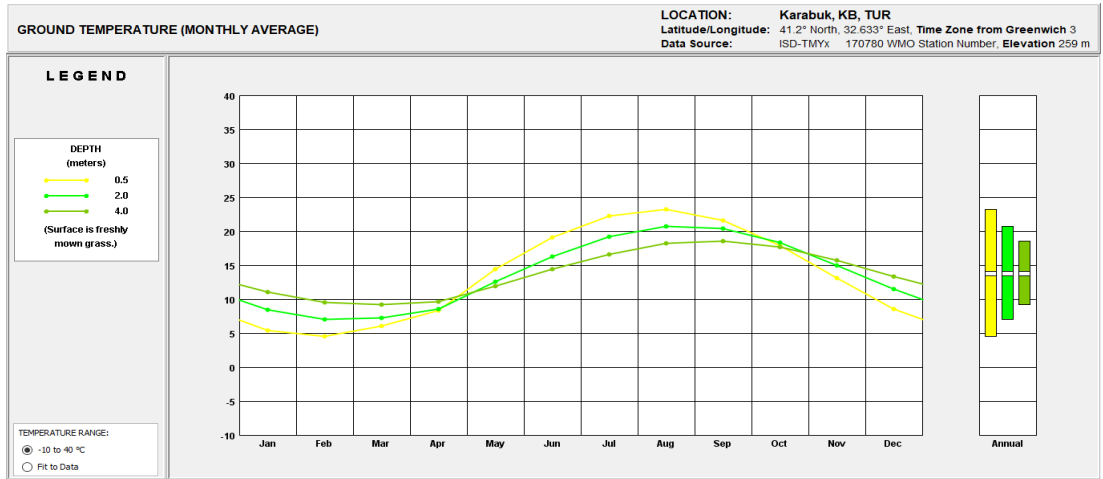
Şekil 4.16. Aylık aydınlatma aralığı.



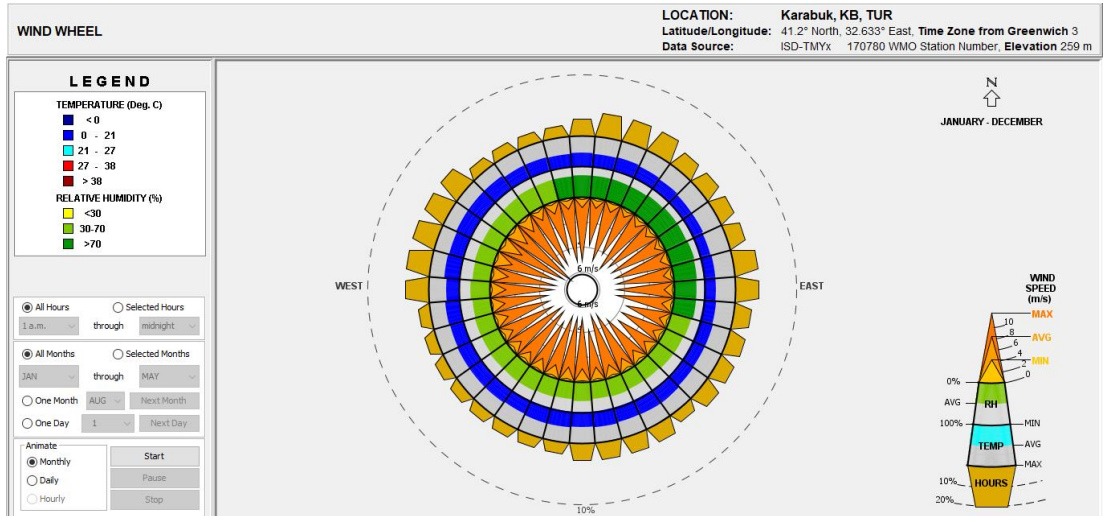
Şekil 4.17. Aylara göre gökyüzü örtüsü dağılımı.



Şekil 4.18. Aylık ve saatlik küresel yatay radyasyonu.



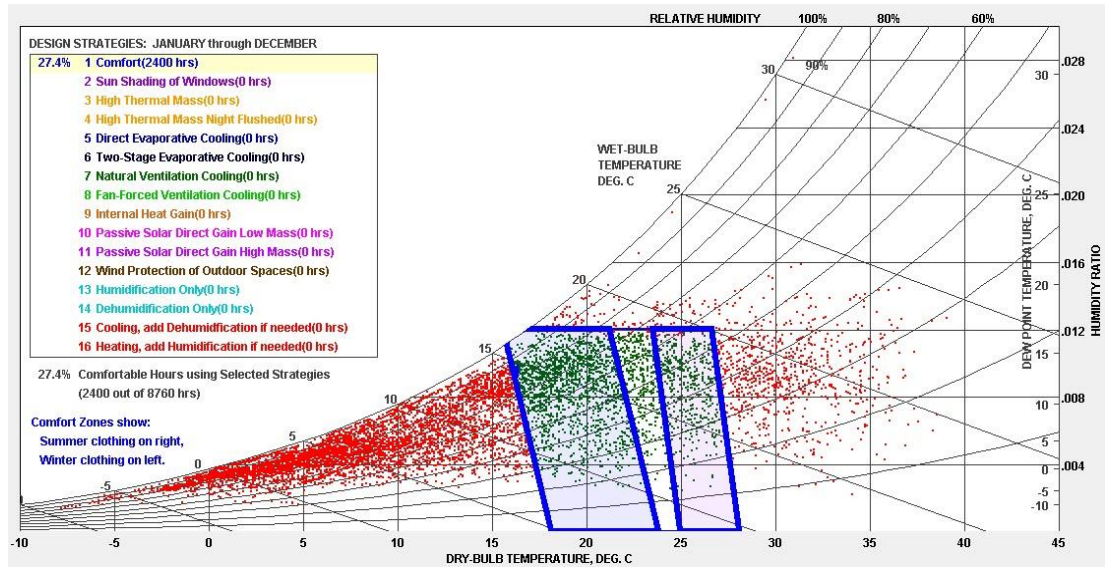
Şekil 4.19. Aylık ortalama toprak sıcaklığı.



Şekil 4.20. Yıllık rüzgar gülü.

Öte yandan, Climate Consultant programı ise belirlenen bir yere özgü iklim bilgilerini kullanarak, aralarında uluslararası kabul edilen ASHARE 55 standardı da bulunan termal konfor şartlarına göre ısıtma ve soğutma ihtiyacı doğan zaman aralıklarını tespit etmektedir. Kullanıcıya psikrometrik diyagramı da sunan program, konfor şartlarının sağlanamadığı durumlarda pasif ısıtma ve soğutma sağlayacak pasif yöntemleri de sunmakta, birçok iklimsel verileri grafikleştirilmektedir [58].

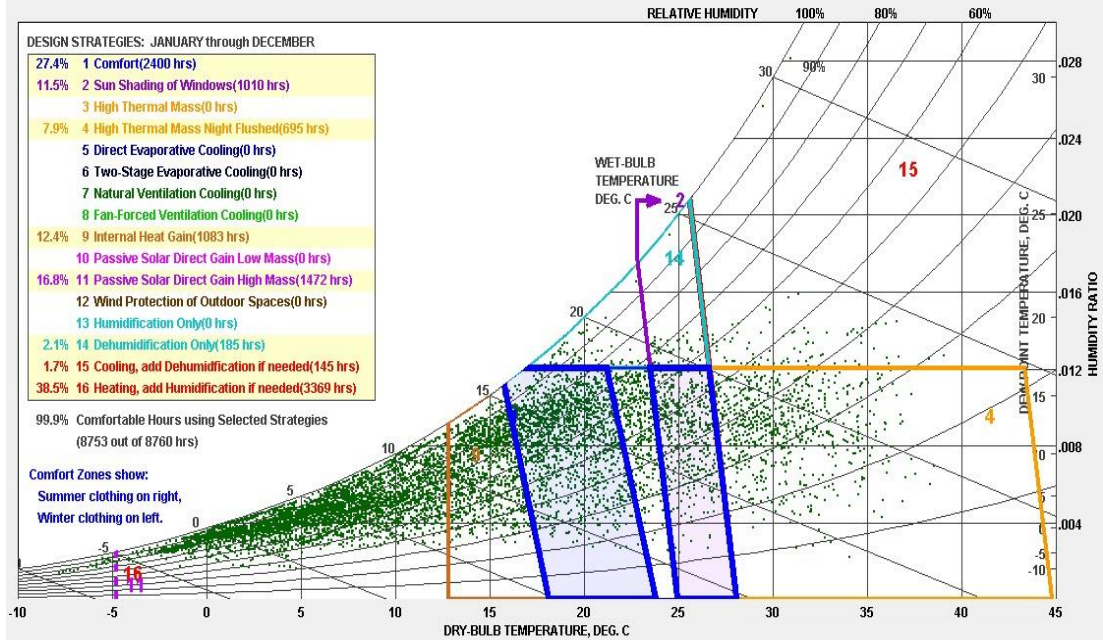
Psikrometrik diyagram, iç mekan konfor standardını gösteren bir parametredir. İç mekan konfor oranı arttıkça, insanların yaşam kalitesi artmakta, bina enerji verimliliği sağlanmakta ve çevreye duyarlı yapılar inşa edilmektedir. Çalışma alanı olan Karabük ilinde psikrometrik diyagram analizi başlangıcında, hiçbir enerji tasarım kriterinin olmadığı varyasyondan başlanarak Şekil 4.21’de görüldüğü üzere sadece konfor katsayıları geçerli ayarlar (default) alınarak iç mekan konfor oranı %27.4 olarak elde edilmiştir. Bu oran oldukça düşük olup psikrometrik diyagramdaki konfor oranının artırılması için yeni değerlerin tanımlanması gerekmektedir.



Şekil 4.21. Climate Consultant programında psikrometrik diyagram.

Sonraki aşamada; %27.4 olan konfor oranının %100’e çıkarılması için Şekil 4.22’de gösterildiği üzere pencerelerde güneş kırıcı elemanların tahkik edilmesi, ortam neminin optimize edilmesi, ısıtma ve nemlendirme aktif sistemlerinin kullanılması

başta olmak üzere bazı stratejik tasarım kararları alınmıştır. Bütün bu işlemler neticesinde iç mekan konforu %100'e çıkarılmıştır.



Şekil 4.22. İç mekan konfor oranı= %100 için önerilen stratejiler.

4.2.3. Karabük İklim Değerlerinin TS 825 Standartlarına Göre Değerlendirilmesi

Yapılardaki ısı yalıtımının sağlanmasına ilişkin düzenlemeleri içeren TS 825, bu konuda enerji tasarrufunun sağlanması için alınabilecek önlemleri tanımlamaktadır. TS 825 içerisinde tanımlanan uygulamaların temel amacı, binaların konforlu iç mekan şartlarını oluşturma için kullanılan enerji tüketimini azaltmaktır. 14 Haziran 1999 tarih ve 23725 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan TS 825 ile binalardaki dört temel yapı unsuru olan duvar, çatı, döşeme ve pencereler için ısı geçirgenlik katsayıları (U değeri) belirlenmiştir [59].

Yapılarda kullanılacak her malzemenin termofiziksel özellikleri farklıdır. Malzemelerin ısı iletkenliğine dair katsayılar, o malzemenin ısıyı ne kadar ilettiğini göstermektedir. U değerleri, yapının inşası ve yenilenmesi sürecinde kullanılacak olan malzemelerin yalıtım ve ısı iletimine dair standartları belirlemektedir. TS 825 yapılardaki enerji tüketim değerlerini ve yalıtım gereksinimlerini belirlemek amacıyla, aylık ortalama sıcaklık değerleri ve güneşli gün sayısı üzerinden Türkiye’yi 4 yalıtım bölgesine ayırmaktadır. TS 825 standartlarına göre Karabük, 3. derece bölgesi içerisinde yer almaktadır. Bu bağlamda önemli olan, yapının yapıldığı bölgenin şartlarına uygun olan U değerine sahip yapı malzemesinin seçilmesidir. Çizelge 4.2’de verildiği gibi TS 825, farklı bölgelerde kullanılacak maksimum U değerlerini tanımlamıştır. TS 825’e göre Karabük’te yapılan yeni yapıların U değerleri duvarlar için 0,48; çatılar için 0,28; pencereler için 0,43 ve döşemeler (zemin) için 1,8 olarak belirlenmiştir [59].

Çizelge 4.2. Bölgelere göre U-değerleri [59].

TS 825 iklim bölgesi	Duvar [W/(m ² .K)]	Çatı [W/(m ² .k)]	Zemin [W/(m ² .K)]	Pencere [W/(m ² .K)]
1. Bölge	0,66	0,43	0,66	1,8
2. Bölge	0,57	0,38	0,57	1,8
3. Bölge	0,48	0,28	0,43	1,8
4. Bölge	0,38	0,23	0,38	1,8

4.3. ÖİM BİNASINDAKİ YAPI ELEMANLARININ TERMAL ANALİZİ

Bina enerji tüketiminin belirlenebilmesi için ısıtma yükü, soğutma yükü ve elektrik tüketiminin hesaplanması gerekir. Isıtma ve soğutma yükünde bina dış kabuğu önemli bir rol oynar. Bu nedenle öncelikle yapı elemanlarının özellikleri belirlenmeli ve ısı transferi katsayıları hesaplanmalıdır.

İç ve dış ortamı birbirinden ayırarak tasarımcıların konfor koşullarını sağlayan bina yapısı; duvar, döşeme ve pencere bileşenlerinden oluşmaktadır. Binadaki ısı kazanç ve kayıpları çoğunlukla bina kabuğundan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla bina kabuğunu oluşturan elemanların termofiziksel özellikleri, yapıların enerji ihtiyacını ve enerji tüketimini doğrudan etkilemesi açısından önemlidir.

ÖİM binasında NSEB uygulaması yapılırken öncelikle binanın enerji ihtiyacını belirlemek gereklidir. Bu işleme soğuk aylarda ısıtma, sıcak aylarda ise soğutma yükleri tespit edilerek başlanmıştır. Bu ihtiyaçlar belirlendikten sonra, mevcut durumda gerekli yakıt ve elektrik tüketimi hesaplanacaktır. Daha sonrasında ise NSEB dönüşümü için seçilen sistem tasarımı yapılarak gerekli enerji tüketimi değeri hesaplanacaktır. Bu adımlara başlarken binada ısı geçişi olan yüzeyler ve bu yüzeylerin ısı transfer katsayıları ile yapı elemanlarının ısı iletim katsayıları, TS 825 standardına uygun şekilde belirlenmiştir.

Karabük şehrinde yerleşen bina yapısında bulunan ısı yalıtım katmanlarının belirlenmesinde TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardında verilmiş, tavsiye edilen en fazla ısı geçirgenlik katsayısının “U” değerleri esas alınmıştır. Karabük şehrine göre; dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı (U_{duvar}) 0,55 W/m²K, pencerenin ısı geçirgenlik katsayısı ($U_{pencere}$) 2,4 W/m²K, tavanın ısı geçirgenlik katsayısı (U_{tavan}) 0,30 W/m²K, zemine oturan döşemenin ısı geçirgenlik katsayısı ($U_{döşeme}$) 0,45 W/m²K olarak TS 825’den alınmıştır. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri çekilmiştir. Her bir elemana ait yapı katmanları malzeme verileri aşağıda ayrı ayrı verilmiştir.

4.3.1. Yapı Elemanları ve Isı Transfer Katsayıları

4.3.1.1. Isıl Geçirgenlik Direncinin (R) Hesaplanması :

Çok Tabakalı Yapı Bileşenleri

Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ısı geçirgenlik direnci (R), tek tek yapı elemanı kalınlıkları (d_1, d_2, \dots, d_n) ve bu yapı elemanlarının, ısı iletkenlik hesap değeri (k_1, k_2, \dots, k_n) kullanılarak eşitlik 4.1 ile hesaplanabilmektedir [59].

$$R = \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{d_n}{k_n} \quad (4.1)$$

Burada;

R : Isıl geçirgenlik direnci ($m^2.K/W$),

d : Yapı bileşeninin kalınlığı (m),

k : Isıl iletkenlik hesap değeri ($W/m.K$)'dir.

4.3.1.2. Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısının (U) Hesaplanması

Bir yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik katsayısı (U), eşitlik 4.2'deki denklemin aritmetik tersi alınarak eşitlik 4.1'e göre hesaplanmaktadır.

$$U = \frac{1}{R_{iç} + R + R_{dış}} \quad (4.2)$$

Burada ;

U : Yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik katsayısı ($W/m^2.K$)'dir.

Yeterli seviyede ısı yalıtımı sağlanmış bir binada, ısıtma periyodunda, iç ortamda belli bir iç sıcaklığı sağlamak için gereken ısı enerjisinin bir kısmı iç kaynaklardan ve güneş enerjisinden sağlanmıştır. Kalan miktarın ısıtma sistemi tarafından iç ortama verilmesi gerekir. Aşağıda tanımlanan hesap metodu kullanılarak, ısıtma sisteminin iç ortama vermesi gereken ısı enerjisi miktarı belirlenmiştir. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olarak

tanımlanan bu miktar, toplam kayıplardan güneş enerjisi kazançları ve iç ısı kazançları çıkartılarak bulunmaktadır [59].

Tanımlanan hesap metotunda, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ısıtma dönemini kapsayan aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanması ile bulunmuştur. Böylece binanın ısı performansının gerçeğe daha yakın bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Hesap metotunda ısıtılan ortamın sınırları, bu ortamı dış ortamdan ve eğer varsa ısıtılmayan ortamlardan ayıran duvar, döşeme, çatı, kapı ve pencereden oluşur. Hesaplamalarda dıştan dışa ölçüler kullanılmıştır.

4.3.1.3. İletim ve Taşınım Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybının Hesabı

İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (4.3) eşitlikle bulunmaktadır [59].

$$H_T = \sum A U = U_{Duvvar}A_D + U_{Pencere}A_P + U_{Kapı}A_K + U_{Tavan}A_T + 0,5 U_{taban}A_t \quad (4.3)$$

Burada;

A_D : Dış duvarın alanı.

A_P : Pencerenin alanı.

A_K : Dış kapının alanı .

A_T : Tavan alanı.

A_t : Zemine oturan taban/döşeme alanını ifade etmektedir.

4.3.1.4. Havalandırma Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybının Hesabı

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (4.4) no'lu eşitlik ile hesaplanır.

$$H_v = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h \quad (4.4)$$

Burada;

n_h : Hava değişim oranı (h^{-1}),

V_h : Havalandırılan hacim ($V_h = 0,8 \cdot V_{brüt}$) (m^3)'dir.

Doğal havalandırma yapılan binalarda havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesabında havalandırma sayısı “ n_h ” değeri 0,8 (h^{-1}) olarak alınır.

4.3.1.5. Aylık Ortalama İç Kazançlar ($\Phi_{i,ay}$)

İç kazançlar aşağıda verilenleri kapsar;

- İnsanlardan kaynaklanan metabolik ısı kazançları,
- Aydınlatma sisteminden kaynaklanan ısı kazançları,
- Binalarda kullanılan muhtelif elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazançları.

Ortalama değerler ile çalışılması halinde, konutlarda, okullarda ve normal donanımlı (büro binaları vb.) binalarda iç kazançlar olarak birim kullanım alanı başına en fazla 5 W/m^2 alınırken; yemek fabrikaları gibi pişirme işleminin ağırlıklı olduğu binalarda, normalin üstünde elektrikli cihaz çalıştırılan binalarda (aydınlatmanın sadece elektrikle sağlandığı binalar, tekstil atölyeleri, vb.) veya etrafa ısı veren sanayi cihazların kullanıldığı binalarda, iç kazançlar için birim döşeme alanı başına en fazla 10 W/m^2 değeri alınır.

Konutlarda, okullarda ve normal donanımlı binalarda $\Phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n$ dir.

Burada;

A_n : Bina kullanım alanı (m^2) olup aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A_n = 0,32 \cdot V_{brüt}$$

$V_{brüt}$: Binanın ısıtılan brüt hacmi (m^3)

4.3.1.6. Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Kazançları ($\Phi_{s,ay}$)

Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı ($\Phi_{s,ay}$) aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \cdot g_{i,ay} \cdot I_{i,ay} \cdot A_i \quad (4.5)$$

Burada;

$r_{i,ay}$: “i” yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü,

$g_{i,ay}$: “i” yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü,

$I_{i,ay}$: “i” yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti (W/m^2),

A_i : “i” yönündeki toplam pencere alanı (m^2) ‘dır.

4.3.1.7. Güneş Enerjisi Geçirme Faktörü

$$g_{i,ay} = F_w \cdot g_{\perp} \quad (4.6)$$

Burada;

F_w : Camlar için düzeltme faktörüdür.

g_{\perp} : Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörüdür.

4.3.1.8. Kazanç Kullanım Faktörü (η)

İç kazançlar ve güneş enerjisi kazançlarının toplamının, ısıtma enerjisi ihtiyacının azaltılması açısından faydalı enerji olarak kabul edilmesi her zaman uygun olmaz. Çünkü ısı kazançlarının yüksek olduğu sürelerde, kazançlar anlık kayıplardan fazla olabilir veya kazançlar ısıtmanın gerekmediği zamanlarda gelebilir. İç ortam sıcaklık kontrol sistemi mükemmel değildir ve yapı elemanlarının bünyesinde bir miktar ısı depolanır. Bu nedenle iç kazançlar ve güneş enerjisi kazançları bir yararlanma faktörü ile azaltılır; bu faktörün büyüklüğü, kazançların ve kayıpların bağıl büyüklüğüne ve binanın ısı kütlesine bağlıdır.

Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü, aşağıda verildiği gibi hesaplanmalıdır.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{\left(-\frac{1}{kko_{ay}}\right)} \quad (4.7)$$

Burada;

kko_{ay} : Kazanç/kayıp oranı olup, aşağıda verildiği gibi hesaplanmalıdır.

$$kko_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay}) \quad (4.8)$$

Burada;

$\theta_{i,ay}$: Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı (°C),

$\theta_{e,ay}$: Aylık ortalama dış hava sıcaklığı (°C),

$\Phi_{i,ay}$: Aylık iç kazançlar (W),

$\Phi_{s,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W)'dır.

4.3.2. Binadaki Yapı Malzemelerinin Sıralanışı ve Detayları

Çalışma kapsamında Karabük Üniversitesi ÖİM binasının opak yapı elemanları olan duvar, döşeme ve çatıya ait özellikler incelenmiş olup aşağıda açıklanmıştır.

4.3.2.1. Döşemeler (Taban ve Tavan)

Yapıdaki döşemeler; çatı döşemesi, zemine oturan döşeme ve ara kat döşemeleri olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Zemine oturan döşeme, tüm katmanları ile birlikte yaklaşık 135 cm kalınlığa sahiptir. Toprak zemine 15 cm kalınlığında tüvenan zemin dolgusu serilmiş ve üzerine 10 cm kalınlığında düzeltme betonu dökülmüştür. Düzeltme betonu ve 95 cm kalınlığındaki betonarme döşeme arasına XPS ısı yalıtım malzemesi (3 cm) ve geotestik keçe yerleştirilerek ısı ve nem yalıtımı sağlanmıştır. Betonarme döşeme üzerine tekrar düzeltme betonu (3 cm) dökülmüş ve düzeltme betonunun üzerine de 3 cm kalınlığında traverten döşeme kaplaması yerleştirilmiştir. Taban bileşenlerine ait katmanların detayları Şekil 4.23'te ve U-değerleri Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Taban katman bileşenleri.

Çizelge 4.3. Taban katmanlarında ısı kaybı hesabı.

Isı kaybeden Yüzey	Binadaki Yapı elemanları	Kalınlık	Isıl iletkenlik Hesap Değeri	Isıl iletkenlik Direnci	ısı geçirgenlik katsayısı	ısı kaybedilen Yüzey Alanı	Isı Kaybı
		d (m)	K (W/m.K)	R (m2.K/W)			
Taban	$R_{iç}$			0,013	0.470	1700	798.921
	Terrazo Karo	0,03	1,6	0,019			
	Tesviye Betonu	0,03	1,4	0,021			
	Geotekstil Keçe	0,002	0,065	0,031			
	Isı Yalıtımı XPS	0,03	0,031	0,968			
	Radye Temel	0,95	1,75	0,543			
	Koruma Betonu	0,05	1,28	0,039			
	Geotekstil Keçe	0,002	0,065	0,031			
	Su yalıtım Geomembran	0,002	0,19	0,011			
	Geotekstil Keçe	0,002	0,065	0,031			
	Grobeton	0,1	1,1	0,091			
	Stabilize Malzeme	0,15	0,7	0,214			
	$R_{dış}$			0			
Toplam				2.128			

Bina kabuğundaki çatı döşemesinde, 20 cm genişliğindeki betonarme döşemenin altında, iç mekanda, tavan sıvası ve boyası bulunmaktadır. Döşemenin üzerinde ise sırası ile eğimli yalıtım şapı, geotekstil keçe ve su yalıtım örtüsünden (2 mm) oluşan yalıtım katmanı bulunmaktadır. Bu katmanın üzeri 3 cm kalınlığındaki buhar kesici ve ortalama 3 cm kalınlığındaki eğim betonu ile örtülüdür. Buhar kesicinin üzerinde ısı yalıtımı ve geotestik keçeden oluşan ikinci yalıtım katmanı bulunmaktadır. Bu yalıtım katmanının üzeri 5 cm kalınlığındaki granülometrik çakıl ile kaplanmıştır. Traverten döşeme kaplaması (3 cm), tesviye betonun üzerine oturmaktadır. Tavan bileşenlerine ait katmanların detayları Şekil 4.24'te ve U-değerleri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Tavan katman bileşenleri.

Çizelge 4.4. Tavan katmanlarında ısı kaybı hesabı.

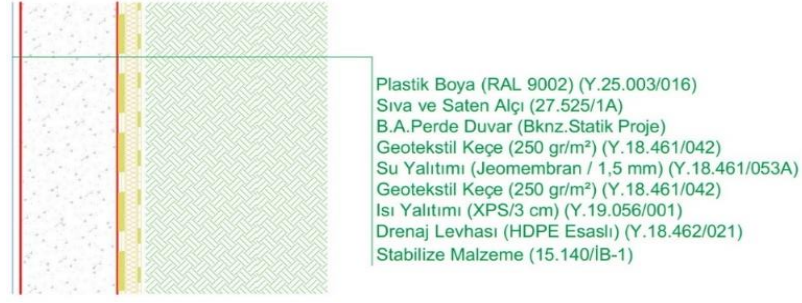
Isı kaybeden Yüzey	Binadaki Yapı elemanları	Kalınlık	Isıl iletkenlik Hesap Değeri	Isıl iletkenlik Direnci	ısı geçirgenlik katsayısı	ısı kaybedilen Yüzey Alanı	Isı Kaybı
		d (m)	K (W/m.K)	R (m ² .K/W)			
Tavan	$R_{iç}$			0,013	0,237	1344	318,239
	Sıva	0,025	0,35	0,071			
	B.A.Döşeme	0,2	2,5	0,080			
	Şap	0,035	1,4	0,025			
	Geotekstil Keçe	0,002	0,065	0,031			
	Su yalıtımı Geomembran	0,002	0,19	0,011			
	Buhar Kesici	0,03	0,19	0,158			
	Isı Yalıtımı XPS	0,1	0,031	3,226			
	Geotekstil Keçe	0,002	0,065	0,031			
	Granülometrik Çakıl	0,08	0,19	0,421			
	$R_{dış}$			0,04			
Toplam				4,223			

4.3.2.2. Bina Duvarları

ÖİM binasında farklı duvar tipleri bulunup değişik ısı yalıtım malzemeleriyle inşa edilmiştir. Bina inşaatı donatılı beton uygulaması ile gerçekleştirilmiştir. Binada granit kaplamalı dış duvar ve toprağa temaslı dış duvar olmak üzere iki farklı duvar kesiti kullanılmıştır. Granit kaplamalı duvarlar ve toprağa temaslı duvarlar sırasıyla, 35 cm ve 50 cm kalınlığındadır. Duvar bileşenlerine ait katmanların detay görünümleri Şekil 4.25'te ve U-değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.



(b)



Şekil 4.25. Dış duvar katman bileşenleri a) havaya açık olan b) toprağa temaslı olan.

Çizelge 4.5. Dış duvar katmanlarında ısı kaybı hesabı.

Isı kaybeden Yüzey	Binadaki Yapı elemanları	Kalınlık	Isıl iletkenlik Hesap Değeri	Isıl iletkenlik Direnci	Isı geçirgenlik katsayısı	Isı kaybedilen Yüzey Alanı	Isı Kaybı
		d (m)	K (W/m.K)	R (m ² .K/W)			
Toprağa temas eden dış duvarlar	$R_{iç}$			0,013	0,628	979,450	614,813
	Sıva	0,025	0,35	0,071			
	B.A.Perde Duvar	0,3	2,5	0,120			
	Geotekstil Keçe	0,002	0,065	0,031			
	Su yalıtımı Geomembran	0,0015	0,19	0,008			
	Geotekstil Keçe	0,002	0,065	0,031			
	Isı Yalıtımı XPS	0,03	0,031	0,968			
	Drenaj Levhası	0,01	0,29	0,034			
	Stabilize Malzeme	0,15	0,75	0,2			
	$R_{dış}$			0			
Toplam				1,593			
Havaya açık olan dış duvarlar	$R_{iç}$			0,013	0,397	1970,58	782,58
	Sıva	0,025	0,35	0,071			
	Gazbeton Duvar	0,2	0,24	0,833			
	Kaba Sıva	0,012	0,51	0,024			
	Isı Yalıtımı Taşyünü	0,05	0,04	1,250			
	Buhar Kesici	0,03	0,19	0,158			
	Granit Kaplama	0,03	2,53	0,012			
	$R_{dış}$			0,04			
Toplam				2,518			

4.3.2.3. Bina Pencereleeri

Mahalde pencereler temperlenebilir Solar Low-E Cam olarak yapılmıştır. Bu tip pencereler tek bir kaplama ile ısı yalıtımını bir arada sağlayabilmektedir. Pencereleer, 6 mm Temperli, Solar Low-E Cam + 16HB + 6 mm Düz Cam tabakalarından oluşmaktadır. Pencereye ait belirlenen U değeri ve hesaplanan ısı kaybı değeri Çizelge 4.6'daki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6. Pencere katmanlarında ısı kaybı hesabı.

Kullanılan Pencere Tipi	Bina Cepheleri	Pencere Alanı	Pencere Adedi	Isı kaybedilen Yüzey Alanı	Isı geçirgenlik katsayısı	Isı Kaybı
		A (m ²)	K (W/m.K)	A (m ²)	U (W/m ² K)	U*A (W/K)
6 mm Temperli, Solar Low-E Cam + 16HB + 6 mm Düz Cam	Güneybatı Cephesi	3,9	94	366,6	1,3	476,58
	Kuzeydoğu Cephesi	3,9	58	226,2		294,06
	Güneydoğu Cephesi	3,9	27	105,3		136,89
	Kuzeybatı Cephesi	3,9	53	206,7		268,71
Toplam			232	904,8		1176,24

Isı kaybeden yüzey	Bina Cepheleri	Duvar Alanı	Isı kaybedilen Yüzey Alanı	Isı geçirgenlik katsayısı	Isı Kaybı
		A (m ²)	A (m ²)	U (W/m ² K)	U*A (W/K)
Dış cam duvarlar	Güneybatı Cephesi	3,9	51,3	1,3	66,69
	Kuzeydoğu Cephesi	3,9	36,9		47,97
	Güneydoğu Cephesi	3,9	199,8		259,74
	Kuzeybatı Cephesi	3,9	2,2		2,86
Toplam			288		377,26

Önceki yapılan hesaplamalar kullanılarak bina dış kabuk elemanlarına ait hesaplanan iletim, taşınım ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıplarının değeri aşağıdaki Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Yapı elemanların ısı kaybı değeri.

Yapı elemanlarından gerçekleşen ısı kaybı (W/K)						
Taban	Tavan	Duvar 1	Duvar 2	Duvar 3	Pencere	Cam Duvarı
798,921	318,239	614,813	126,106	656,478	1176,24	377,26
İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı;						

$H_T = U_{Duvan}A_D + U_{Pencere}A_P + U_{Kapı}A_K + U_{Tavan}A_T + 0,5 U_{taban}A_t$ $= 614,813+126,106+656,478+1176,24+377,26+(318,239 \cdot 0,8)+(798,921 \cdot 0,5)$ $= 3604,948 \text{ W/K}$
Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı;
$H_v = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h = 0,33 \cdot 0,8 \cdot (0,8 \cdot V_{brüt}) = 6708.72 \text{ W/K}$ $V_{brüt} = 31764.78 \text{ m}^3 \text{ Olarak Alındı.}$
Toplam özgül ısı kaybı;
$H = H_T + H_v = 3604,948 + 6708.72 = 10313.67 \text{ W/K}$

Güneş enerjisi kazançlarının hesaplanması sırasında kullanılacak olan gölgelenme faktörü ($r_{i,ay}$); binanın güney, kuzey ve doğu yönlerinde, müstakil binaların bulunduğu kabulüyle 0,8, doğu yönünde ise ağaçlardan kaynaklanan gölgelenmeye maruz kaldığı kabulüyle ($r_{doğu}$) 0,6 alınmıştır. ($I_{i,ay}$) değerleri her ay için Çizelge 4.8'den alınmıştır. Bu veriler doğrultusunda her ay için güneş enerjisi kazancı Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Karabük ili ortalama aylık güneş ışınımı şiddeti değerleri (W/m^2) [59].

KARABÜK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Kasım	Aralık	Yıllık
$I_{güney}$	72	84	87	90	92	95	93	93	89	82	67	64
I_{kuzey}	26	37	52	66	79	83	81	73	57	40	27	22
$I_{Doğu/Batı}$	43	57	77	90	114	122	118	106	81	59	41	37

Çizelge 4.9. Güneş enerjisi kazancı hesaplanması.

Aylar	Güneş Enerjisi Kazancı				Toplam
	Kuzeydoğu Cephesi	Güneybatı Cephesi	Güneydoğu Cephesi	Kuzeybatı Cephesi	
Ocak	2188.2	9628.4	2159.8	2307.6	16283.9
Şubat	3113.9	11233.2	2863.0	3058.8	20268.9
Mart	4376.3	11634.3	3867.5	4132.1	24010.3
Nisan	5554.6	12035.5	4520.4	4829.8	26940.3
Mayıs	6648.6	12303.0	5725.9	6117.7	30795.2
Haziran	6985.3	12704.2	6127.7	6547.0	32364.2
Temmuz	6817.0	12436.7	5926.8	6332.4	31512.8
Ağustos	6143.7	12436.7	5324.1	5688.4	29592.9
Eylül	4797.1	11901.8	4068.4	4346.8	25114.1
Ekim	3366.4	10965.7	2963.4	3166.2	20461.7
Kasım	2272.3	8959.8	2059.3	2200.2	15491.6
Aralık	1851.5	8558.6	1858.4	1985.6	14254.1

Çizelge 4.10'da Karabük şehrine ait aylık ortalama sıcaklık verileri doğrultusunda hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı Çizelge 4.11'deki gibi bulunmuştur.

Çizelge 4.10. Karabük şehrine ait aylık ortalama sıcaklık değerleri [59].

KARABUK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.3	5.8	8.8	12.2	16.8	20.5	23.3	23.9	20.2	14.6	8.1	3.9

Çizelge 4.11. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı.

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç kullanım faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç ısı kazanıcı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam			
	H (W/K)	$(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$ (°C)	$H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$ (W)	$\Phi_{i,ay}$ (W)	$\Phi_{s,ay}$ (W)	$\Phi_T = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})$			
Ocak	10313.67	17.7	182552	50823.648	16283.9	67107.55	0.37	0.93	310.687.020
Şubat		14.2	146454.1		20268.87	71092.52	0.49	0.87	218.822.251
Mart		11.2	115513.1		24010.28	74833.93	0.65	0.79	146.874.692
Nisan		7.8	80446.62		26940.29	77763.94	0.97	0.64	78.590.383
Mayıs		3.2	33003.74		30795.21	81618.86	2.47	0.33	15.182.365
Hazir		Tdış yüksek	0		32364.17	83187.81	0.00	-	0
Tem		-	0		31512.83	82336.47	0.00	-	0
Ağus		-	0		29592.85	80416.5	0.00	-	0
Eylül		-	0		25114.1	75937.75	0.00	-	0
Ekim		5.4	55693.82		20461.68	71285.32	1.28	0.54	44.178.836

Kası		11.9	122732.7		15491.64	66315.28	0.54	0.84	173.241.111
Aralı		16.1	166050.1		14254.09	65077.73	0.39	0.92	274.870.654
Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı							$Q_{yıl}$	1.262.447.311 Kj	
								350.960 kWh	
A_{Toplam}		7189.030 m ²		$V_{brüt}$	31764.78 m ³				
ÖİM binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi; $Q = Q_{yıl} / V_{brüt} = 11,048 \text{ kWh/m}^3$									

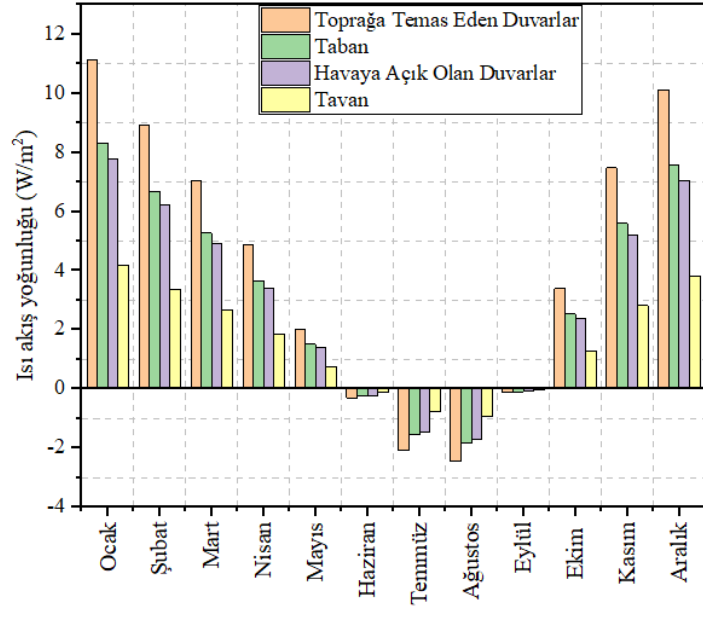
ÖİM binasındaki hesaplanan birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi $Q=11,04 \text{ kWh/m}^3$ olarak hesaplanmıştır. TS825’de 3.bölge için gereken en büyük ısı kaybı “ $Q' = 24,4 A_t / V_b + 11,7$ ” yardımıyla $Q' = 17,22 \text{ kWh/m}^3$ olarak bulunmuştur. Bu değer hesaplanan Q ile karşılaştırılarak ($Q < Q'$; $11,048 < 17,22$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, sınır değerinin altındadır. Proje, TS 825 standartta verilen hesap metoduna göre standarda uygundur.

4.3.3. Termal Analiz Sonuçları

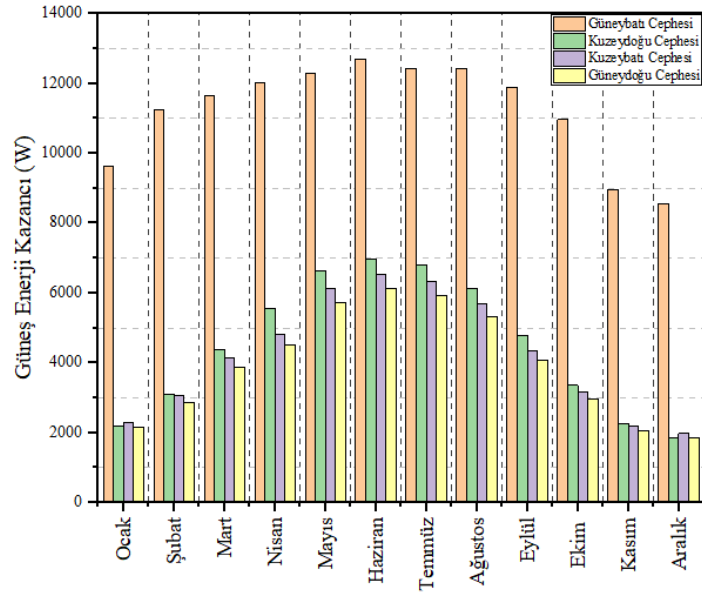
TS 825 termal analiz sonuçları incelendiğinde çıkarılacak sonuçlar şu şekildedir;

- Standarta göre yalıtım yapılmış durumda hem yoğuşmanın görülmemesi hem de iç yüzey sıcaklığının $20 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığına ulaşmasıyla ısı konfor sağlanmış olur. Ayrıca yapı bileşeninin iç yüzey sıcaklığı $17 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde olduğundan küf oluşma riski yoktur.
- Bina yapı malzemelerinin ısı geçirgenlik katsayıları, TS 825 ısı yalıtım standartlarında, 3. Bölge için tanımlanan sınır değerlerini aşmamıştır. Yapı bileşenleri TS 825 standartlarına uygundur. Bu sebeple, bina yapı malzemelerinde herhangi bir değişikliğe gerek duyulmamıştır.

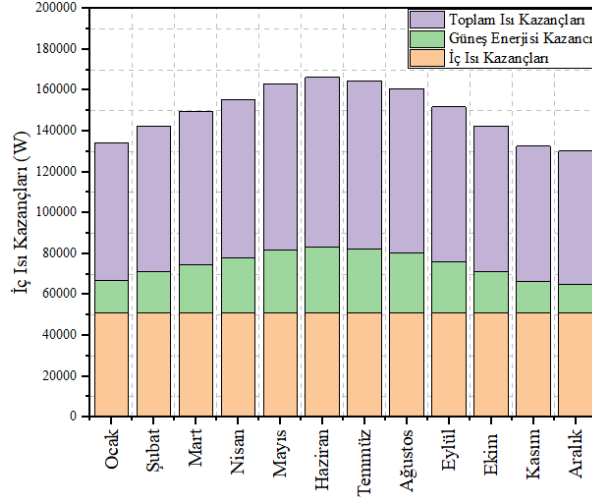
Sonuç olarak TS 825 Standardına göre yapılan enerji performans analiz sonuçlarında binanın sınırlarından geçen ısı akış yoğunluğu, bina cephelerinden kazanılan güneş enerjisi kazancı, toplam iç ısı kazancı ve ısı kaybı Şekil 4.26-4.30’da verilmiştir.



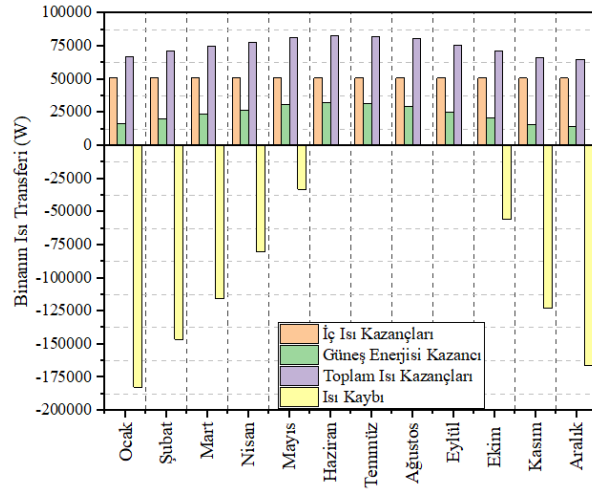
Şekil 4.26. ÖİM bina katmanlarından geçen ısı akış yoğunluğu.



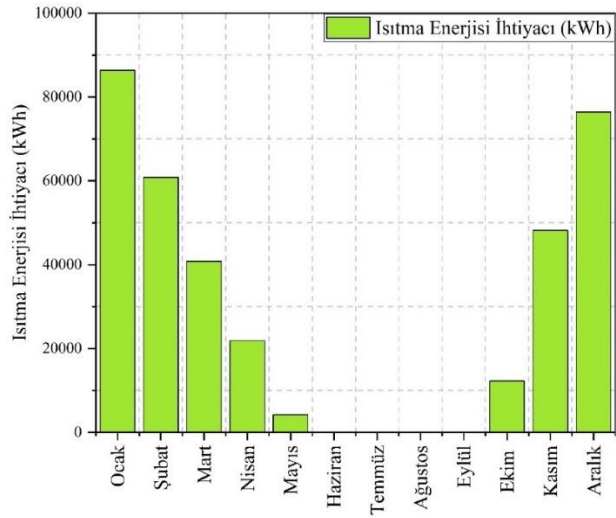
Şekil 4.27. ÖİM bina cephelerinden kazanılan güneş enerjisi.



Şekil 4.28. ÖİM binasına ait toplam iç ısı kazançları.



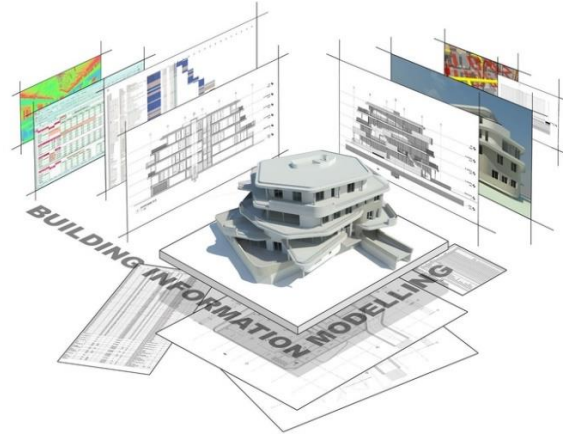
Şekil 4.29. ÖİM binasının toplam ısı kazançları ve kaybı.



Şekil 4.30. ÖİM binasının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı.

4.4. BINA BILGI MODELLEMESİ (BIM)

Bilgi teknolojisinin gelişimi, mimar ve mühendislere yapı modelinde kullanabilecekleri çeşitli programlar sunmaktadır. Bu programların engelişkin olanları geleneksel tasarım programlarına kıyasla çok daha fazla özellik hakkında sürekli ve hemen geri bildirim vermektedir. Bu tür programların kolayca sağladığı bilgi tipleri arasında malzeme miktarları ve özellikleri, enerji performansı, ışıklandırma kalitesi, çevreye etkisi, yeni yapı ve renovasyon arasındaki "eğer... olursa... ne olur?" karşılaştırmaları sayılabilir. Yapı tasarımına olan bu yaklaşım, geleneksel CAD yazılımının kullanımından farklı olması nedeniyle yapı endüstrisi bunu BIM (Building Information Modeling-Yapı Bilgi Sistemi) şeklinde adlandırmıştır [60].



şekil 4.31. Bina Bilgi Modellemesi (BIM).

Bina Bilgi Modellemesi (BIM), farklı araçları ve süreçleri tasarıma dahil ederek proje verilerinin sayısal ortamda yönetilmesine olanak sağlayan bir teknolojidir. Bir başka tanımda ise, BIM geometri biçim gibi grafik veya grafik olmayan maliyet, malzeme fiziksel evre verileri gibi bina ile ilgili verilerden üç boyutlu bir model meydana getirerek (şekil 4.31), bu modelin farklı disiplinlerden katılımcılar tarafından ortak kullanımını sağlayan bir çalışma yöntemi olarak ifade edilmektedir [61].

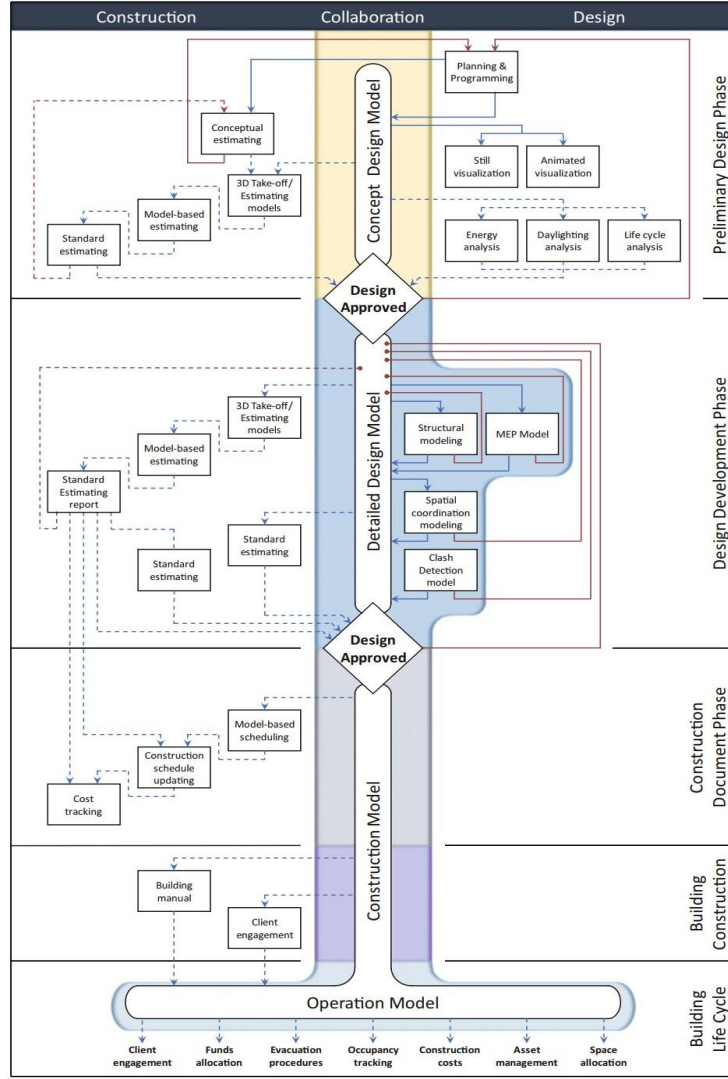
Bina Bilgi Modellemesi, binayı oluşturan elemanları temel almakta ve elemanların birbirleriyle olan ilişkilerini modellemektedir. BIM yazılımları yardımıyla yapı elemanlarına ait nesnelere bir araya getirilerek binanın sanal bir modeli

oluşturulmaktadır. Model, tüm yapı elemanlarını ve onların farklı niteliklerini içermektedir. Ayrıca BIM yazılımları kendi içinde veya üçüncü parti yazılımlar vasıtasıyla, yapı modeli performansını ölçen simülasyon ortamları sunmaktadır. Böylece BIM [62];

- Enerji, aydınlatma vb. fiziksel çevre kontrolü hesaplamalarında,
- Yapısal analizlerde,
- Yapım sürecinde çakışma tespiti uygulamalarında,
- Çok boyutlu simülasyonlarda,
- Yönetmelik uygunluk kontrollerinde kullanılabilir.

Şekil 4.32’de görüldüğü gibi BIM, aynı yapıya ait birbirinden bağımsız farklı disiplinler ile yapının yaşam döngüsü boyunca alınacak kararlara bir temel oluşturmaktadır. Bu şekilde bir temel oluşturması ile farklı disiplinlerde projenin tekrar işlenmesinden dolayı oluşacak farklılıklar engellenmiş olacaktır. İnşaat sektöründe, birden fazla disiplinin bir projede işbirliği ve koordinasyon gerektirmesi nedeniyle BIM kullanımı kolaylık sağlayacaktır [63].

BIM erken tasarım aşamasındaki bazı önemli kararların alınmasını sağlamakta oldukça etkilidir. Projeye daha planlı başlanmasında ve inşaat sürecinde daha az hata yapılmasında önemli payı vardır. Tasarımın üç boyutlu oluşu görselleştirme için avantaj sağlamaktadır. Model içindeki değişikliğin bütün planlarda güncellenmesi zamandan tasarruf sağlamaktadır. Farklı disiplinler arasında işbirliği yapılabilmesi iletişimden kaynaklanabilecek aksaklıkları engellemektedir. Maliyet ve enerji analizleri ile bina performansının iyileştirilmesi ise binanın kalitesini artıracaktır. Binanın modellenmesi ve bina inşa edilmeden önce gerekli olan analizler için kullanılabilmesi BIM kullanımının en önemli yönlerinden biridir [63].



Şekil 4.32. Binaya ait farklı disiplinler ile yapının yaşam döngüsü boyunca BIM kullanım alanları [63].

4.4.1. Bina Enerji Modellemesi ve Performans Analizi

Bina Enerji Modellemesi “BEM” önceden belirlenmiş bina kompozisyon ve kullanımını tanımlayan kriterlerin simülasyonu yoluyla bina enerji performansının analizidir. Diğer bir deyişle bina performans analizi, binanın enerji modellemesi veya bina performans çalışmalarına yardımcı kaynak durumundadır. Bina enerji modellemesi, bir bina tasarımının ihtiyaç olduğu detayda soyut bir modelinin bilgisayar ortamında oluşturulması ve kullanımı süresince oluşacak koşullar altında test edilmesidir. Bina enerji modellemesi ile bina tipi, bina geometrisi, iklim, kabuk özellikleri, HVAC, aydınlatma verilerini kullanarak yakıt ve elektrik tüketimine bağlı

enerji analiz değerleri hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar; iklim analizi, güneş-gölge çalışması, gün ışığı, rüzgar, kavramsal CFD analizi gibi performansa dayalı tasarım çalışmalarını içermektedir [64].

Bina enerji modellemesi, bir defa yapılan bir çalışma değil, tasarım ilerledikçe sürekli tekrarlanması gereken bir analiz yöntemidir. Uygulama projeleri üzerinden yapılan bir enerji modellemesi, sadece tasarlandığı şekilde binanın enerji performansının nasıl olacağını ortaya çıkaracaktır. Enerji performansının iyileştirilmesi için tasarımın erken safhalarından itibaren enerji modellemesinin, tasarımın entegre bir parçası haline gelmesi önemlidir. Bu şekilde bakıldığında, enerji modellemesi detaylı giderek artan modeller üzerinden yürüyen bir süreçtir. Konsept tasarım aşamasında bina ile ilgili genel kararların alınmasında destek olunurken, ileriki aşamalarda bina sistemlerinin daha detaylı olarak analiz edilmesi ve enerji tüketimini azaltıcı önlemlerin belirlenmesi söz konusu olacaktır [64].

Diğer taraftan, bina enerji modellemesinin sadece yeni binalarda değil, mevcut binaların işletmeyle ilgili kararlarında veya renovasyonlarında da kullanılmaktadır. Bu şekilde yürütölen enerji modellemesi çalışmaları, binanın enerji tüketimi ile ilgili mevcut verilerin elde bulunması nedeniyle modellerin ayrıca gerçek duruma göre düzeltilmelerini gerektirmekte ve çoğunlukla daha çok emek isteyen bir süreç olmaktadır.

Günümüzde, yapı bilgi sistemi işleyişli pek çok bilgisayar yazılımı bulunmaktadır. Autodesk Revit, Bentley Microstation, DDS-CAD, Graphisoft Archicad, IDEA Architectural, Nemetschek Allplan, Tekla Structures, VectorWorks Architect gibi yazılımlar, inşaat sektöründe çeşitli aşamalarda ve konularda tasarımcılar, mimarlar, inşaat mühendisleri, proje koordinatörleri, proje yöneticileri ve mal sahiplerinin daha doğru karar ve çözümler bulmasına yardımcı olmaktadır. Bu yazılımlardan özellikle Autodesk Revit, Bentley Microstation, VectorWorks Architect ve ArchiCAD'in sektörde bir adım daha öne çıktıkları söylenebilir [65].

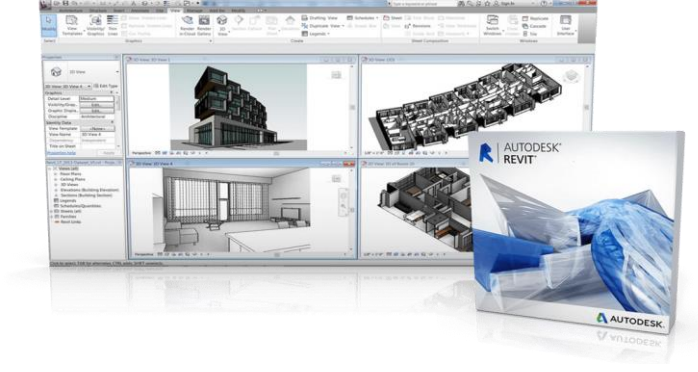
Bina enerji analizine yönelik simülasyon araçları arasında; DOE-2, EQUEST, EnergyPlus, Autodesk ECOTECH, DesignBuilder, Autodesk Green Building Studio (GBS) ve Autodesk Insight 360 gibi programlar vardır [65].

Bu çalışmada incelenen binanın enerji modellemesi için gerekli olan analizler BIM araçları Autodesk Revit 2022, Autodesk Insight 360 ve Autodesk Green Building Studio (GBS) kullanılarak oluşturulmuştur.

Önceki aşamada TS 825 standardına göre bina dış kabuğundan ısı kayıpları belirtilerek termal analizi değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, incelenen binanın enerji modellemesi için gerekli olan analizler yapılmış ve tasarım alternatifleri değerlendirilmiştir. Modellemede farklı parametrelerden en çok etki edenler incelenmiş ve program kısıtlamalarıyla hareket ederek çalışılmıştır. Çalışma kapsamında belirtilen parametreler doğrultusunda oluşturulan modelin BIM süreci için Autodesk Revit 2022 programı kullanılmıştır. Bina enerji performans analizlerinin yapılması ve tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesinde ise Autodesk Green Building Studio (GBS) yazılımı kullanılmıştır. Aynı zamanda enerji etkin bina özelinde, uygun tasarım kararlarının alınmasında yol gösterici olarak Autodesk Insight 360 yazılımından yararlanılmıştır.

4.4.2. Autodesk Revit 2022

Çalışma kapsamında kullanılan Autodesk Revit programı Charles River Software Cambridge firması tarafından 2000 yılında oluşturulmuştur. Autodesk tarafından 2002 yılında satın alınmıştır. Revit Autodesk'in geliştirdiği 3D modelleme yapılabilen bir tasarım programıdır. Revit özellikle BIM sürecinin yaygınlaşmasıyla değeri daha da artan bir programdır. Revit ile hem mimari, hem yapısal hem de mekanik modeller yapılabilir. Bu modellerin içine akıllı nesnelere yerleştirilebilmektedir. Şekil 4.33'te Revit yazılımının ara yüzü görülmektedir [66].



Şekil 4.33. Revit ara yüzü.

Üç boyutlu modelleme amacıyla kullanılmak üzere donanımlı bir bina bilgi modelleme yazılımı olarak Autodesk Revit programı, model oluşturmak amacıyla duvarlar, çatılar, kapılar, pencereler gibi yapı bileşenlerini kullanır. Hızlı ve kolay geometri oluşturmayı desteklemektedir. Yerleşik araçlar barındırması sayesinde karmaşık formlar oluşturmayı ve yapı modeline dönüştürmeyi sağlar. Kontrol imkanı yüksektir. Tasarım aşamasından son ürünün analiz edilebilmesi aşamasına kadar çeşitli araçlara sahiptir. Revit insan hatalarını minimum seviyede tutarak geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında çok daha hızlı proje oluşumunu sağlamaktadır [67].

Autodesk Revit Architecture'ın bazı avantajları aşağıdaki gibidir;

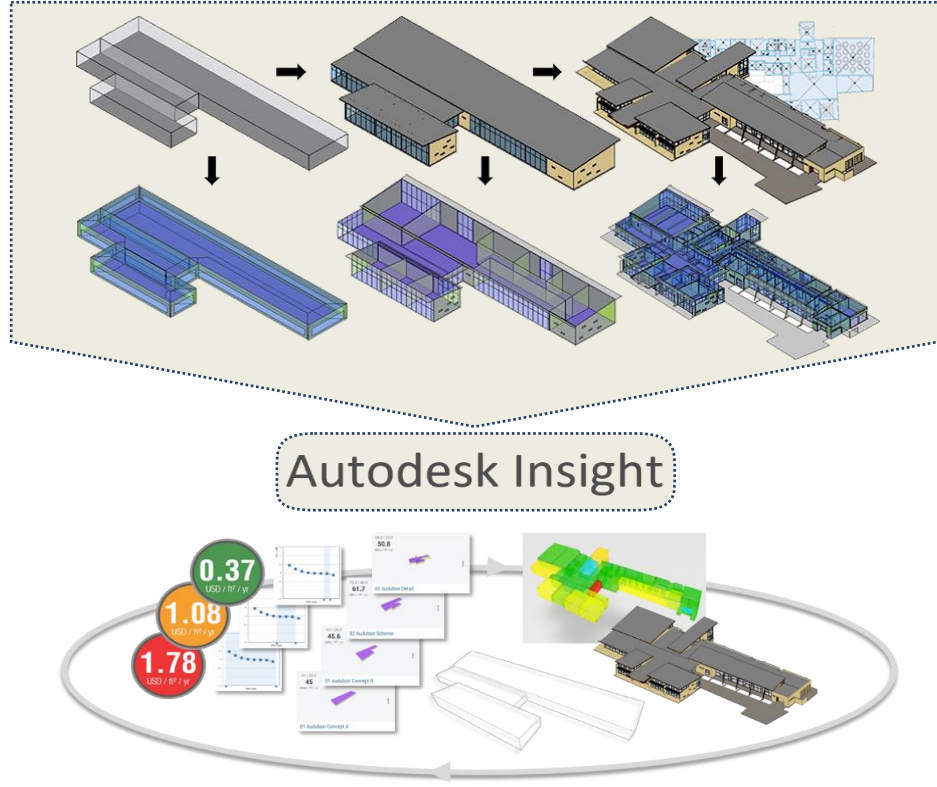
- Gün ışığı ve yapay ışıklandırma analizleri, enerji performansı, ısıtma-soğutma yükü hesaplanması, yıllık CO₂ tüketiminin hesaplanması gibi çeşitli enerji performans analiz işlemlerini gerçekleştirebilir.
- Tanımlanan termal zonlarda seçilen ekipmanlara ve yapı bileşenlerine göre bina enerji tüketimi, enerji kullanım değeri, enerji talebi, sıcaklık değerleri gibi enerji ile ilgili verilere ulaşılabilmektedir.
- Binada yapılan herhangi bir tasarım parametresi değişikliğinin enerji açısından oluşturduğu etkiler anında kolaylıkla takip edilebilir.
- Tasarımda kullanılacak malzemelerin ısı özelliklerine otomatik olarak ya da kullanıcının tanımladığı değerlerle elde edilebilir ve enerji simülasyonlarında kullanılır.

- Revit programında hazırlanan projeler DWG, DXF, DGN ve ACIS (SAT) formatlarında dışarıya çıkarılabilir.

Revit'i, tüm tasarım ve binaya ait bilginin içerdiği veri sistemi olarak düşündüğümüzde, bu sistemdeki verilerin enerji analizi için problemsiz aktarımı noktasında sorunlar oluşabilmektedir. İdeal bir aktarımın olabilmesi için Revit'te model oluşturulurken enerji simülasyonu için gerekli tüm bilgilerin tanımlanması gerekmektedir.

4.4.3. Autodesk Insight 360

Autodesk Insight, Autodesk Revit ile entegre olmuş bir şekilde çalışan, web tabanlı bir enerji performans analiz platformudur. Bu platform, enerji simülasyonlarını oluşturmada, Energy Plus programını kullanır. Autodesk Insight platformunun kullanılabilmesi için, tasarım modelinin Autodesk Revit'te oluşturulması ve enerji simülasyonu yapmak üzere, enerji ayarlarının tanımlanması gerekmektedir. Model, tanımlanan değerler sonrasında simülasyonun oluşumu için Autodesk Insight'a yönlendirilir ve simülasyon sonucu çevrimiçi bir şekilde web sitesi üzerinden değerlendirilip, belli hedefler doğrultusunda alternatif tasarım senaryoları oluşturulabilir. Platform bünyesinde değiştirilen her tasarım parametresi için kullanıcı, enerji maliyet, tüketim ilişkisi için anlık geri bildirimleri görebilmektedir. Autodesk Insight, enerji simülasyonlarını $\pm\% 10$ 'luk doğruluk payı ile oluşturur. Bunun yanında tasarımcıya enerji başlığı için hızlı ve uygulamaya yönelik karar verme olanağı sunar. Autodesk Insight 360 analizi süreci Şekil 4.34'teki gibi gerçekleştirilmektedir [67].



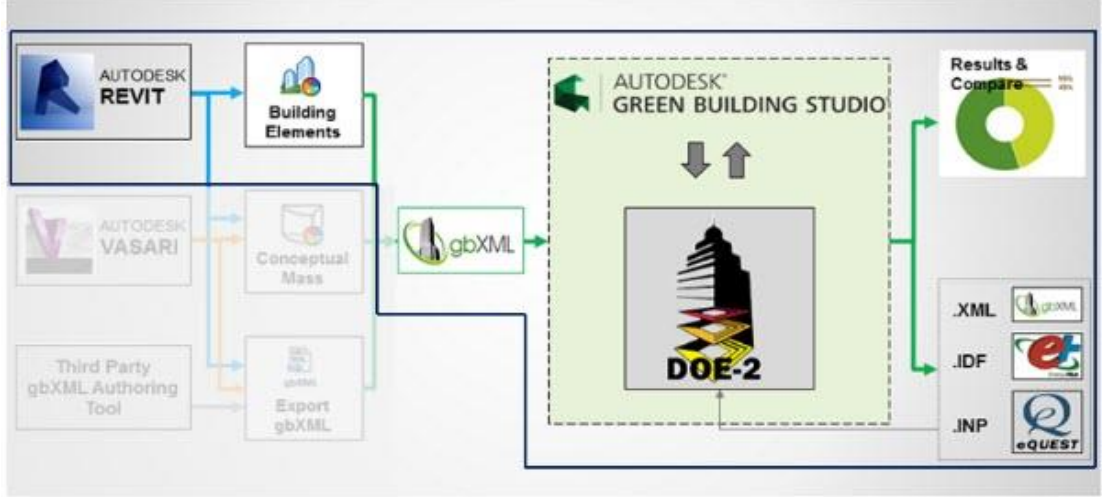
Şekil 4.34. Autodesk Insight 360 analizi süreci.

4.4.4. Autodesk Green Building Studio (GBS)

Autodesk Green Building Studio, Autodesk Revit'ten alınan bina geometrisi ve yapı elemanlarının termofiziksel bilgilerine, diğer mekanik proje bilgilerine, kullanıcı tarafından tanımlanan yapının lokasyonuna, yapının türüne ve hava istasyonu verileri gibi bilgilere göre simülasyonlar gerçekleştiren, bina karbon ve enerji analizi yapan web tabanlı bir enerji analiz simülasyonudur [67].

Green Building Studio, “gbXML” uzantılı dosyalar ile çalışır. “gbXML” (Green Building Xtensible Markup Language), yapı bilgi modelleme verilerinin bina enerji simülasyon programlarına aktarılmasını sağlamaktadır. GBS, bina performansını artırmaya yönelik enerji kullanımı, CO₂ emisyonu, su kullanımı, enerji maliyet analizi, fotovoltaik analiz, gün ışığı analizlerini kapsayan hesaplamalarda yardımcı olmaktadır. Ayrıca bina performansını iyileştirmeye yönelik bina yönlenmeleri, cephe saydırlık oranı, pencere tipi, gölge derinliği, dış duvar konstrüksiyonu, çatı konstrüksiyonu, infiltrasyon, aydınlatma verimi, kullanıcı işletim programları, HVAC

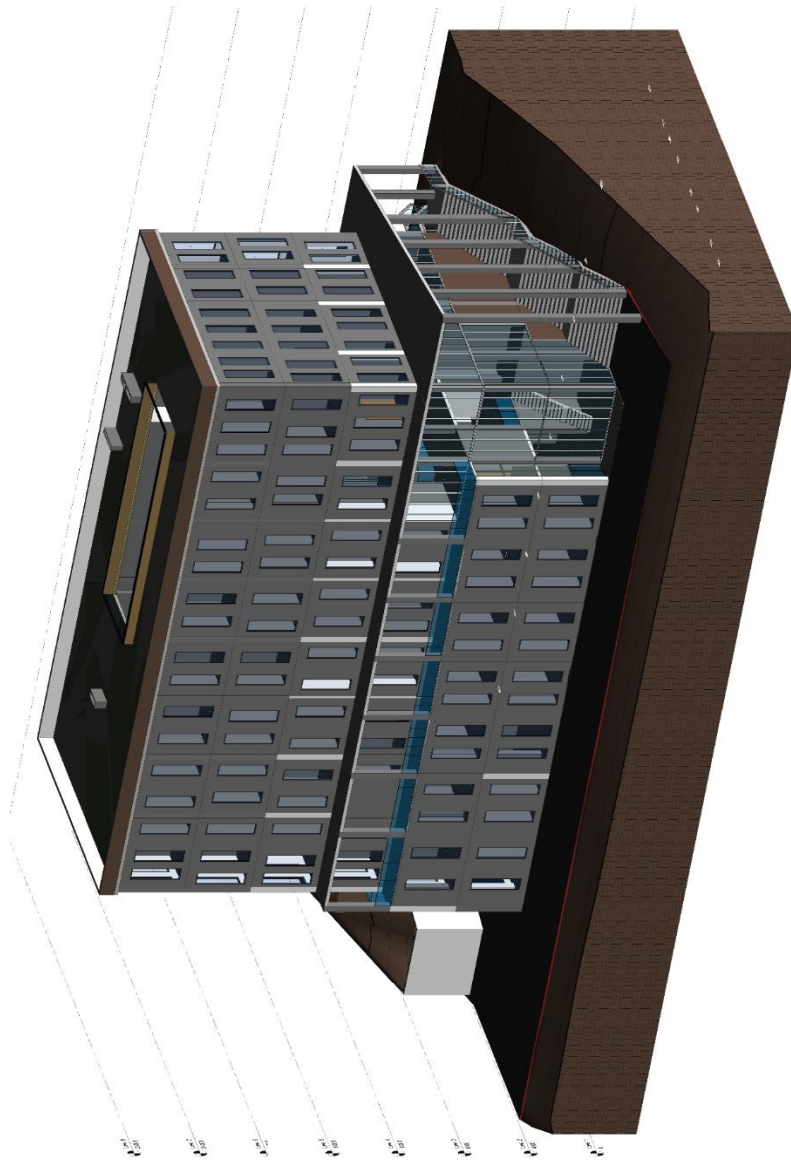
tipleri, bina formu üzerinden 250'ye yakın tasarım alternatifi sunmaktadır. Farklı tasarım alternatifleri belirli seçenekler üzerinden program kullanıcısı tarafından oluşturulabilmektedir. Autodesk'in GBS ile entegre çalışma şeması Şekil 4.35'te verilmiştir [67].



Şekil 4.35. Green Building Studio "GBS" çalışma şeması.

4.5. ÖİM BİNASININ MODELLENMESİ VE ENERJİ ANALİZİ

Başlangıçta, ÖİM binasının plan rölöveleri Karabük Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığından alınmıştır. ÖİM bina yapısının modeli Revit 2022 programında oluşturulmuştur. Modelleme yapılırken model üzerinde herhangi bir boşluk kalmamasına özellikle dikkat edilmiştir. Çalışmada ÖİM binasının Autocad programında hazırlanan 2 boyutlu mimari çizimleri Revit'e aktararak 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur. Daha sonra planlanan malzemelerden Revit kütüphanesinde olmayan malzemeler 'Materials' sekmesi altından programa girilmiştir. Malzemelerin programa girişi sırasında termofiziksel özelliklerine dikkat edilmiştir. Model üzerinden tüm yapı elemanları malzemeleri ve boyutları ile tanımlanmıştır. Revit ortamında oluşturulan ÖİM bina modeli Şekil 4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.36. ÖİM binasının Revit ortamında hazırlanan 3D modeli.

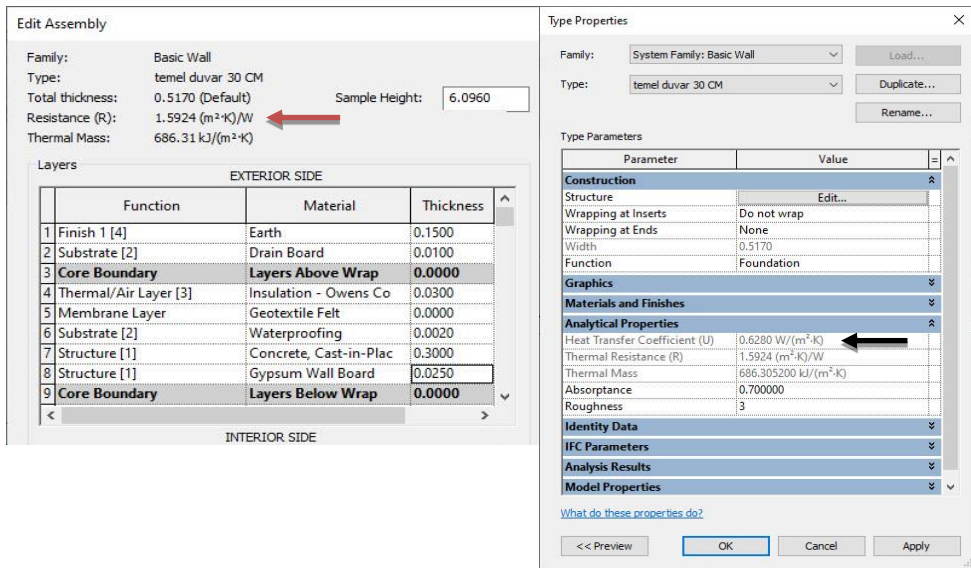
Bu bağlamda, Revit ortamında oluşturulan modelin ardından, tasarlanan binaya ilişkin enerji ayarlarının tanımlanması ve veri girişleri yapılmıştır. Bunlar; kullanılan veriler ve kabuller detaylı olarak aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir;

- Revit ile Binanın 3 Boyutlu modellenmesi
- Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri
- Mahal alanları oluşturması ve zonlaması
- İklim ve dış ortama ilişkin veri girişi

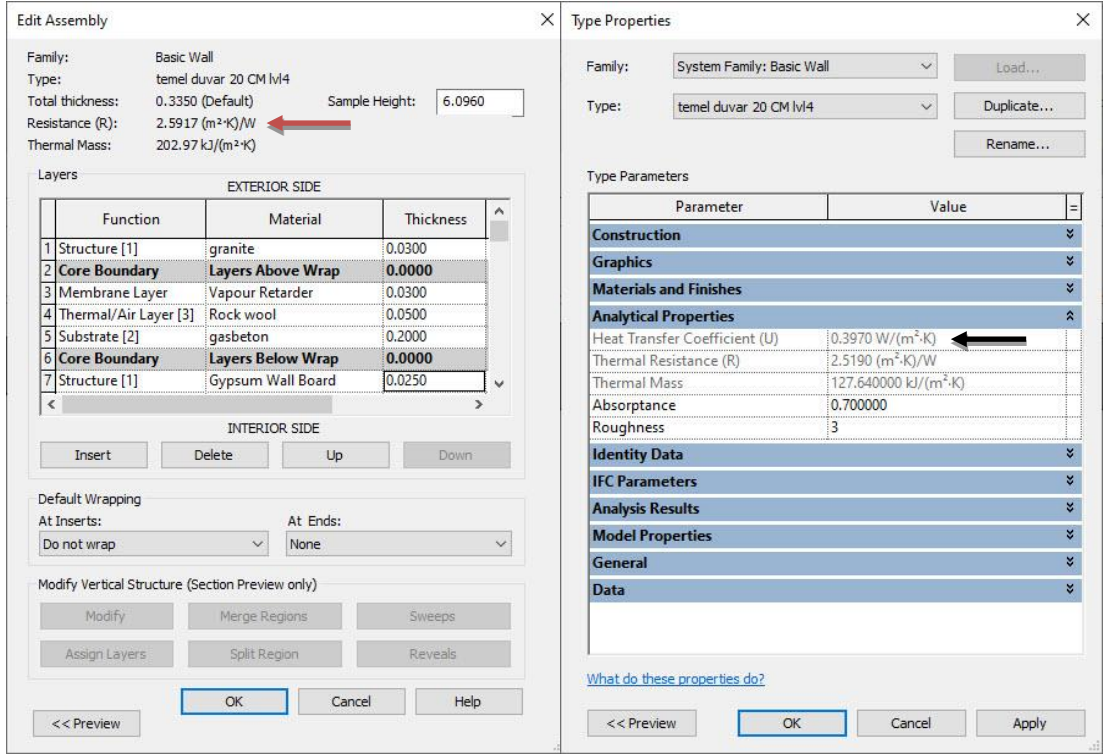
- Kullanıcıya ilişkin veri girişi
- Bina alt sistemine (HVAC) ilişkin veri girişi
- Enerji ayarlarının yapılması
- Enerji analizi sonuçları:
 - HVAC sistemin analiz sonuçları
 - Autodesk Insight 360 ile analiz sonuçları
 - Green Building Studio ile analiz sonuçları

4.5.1. Bina Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özellikleri

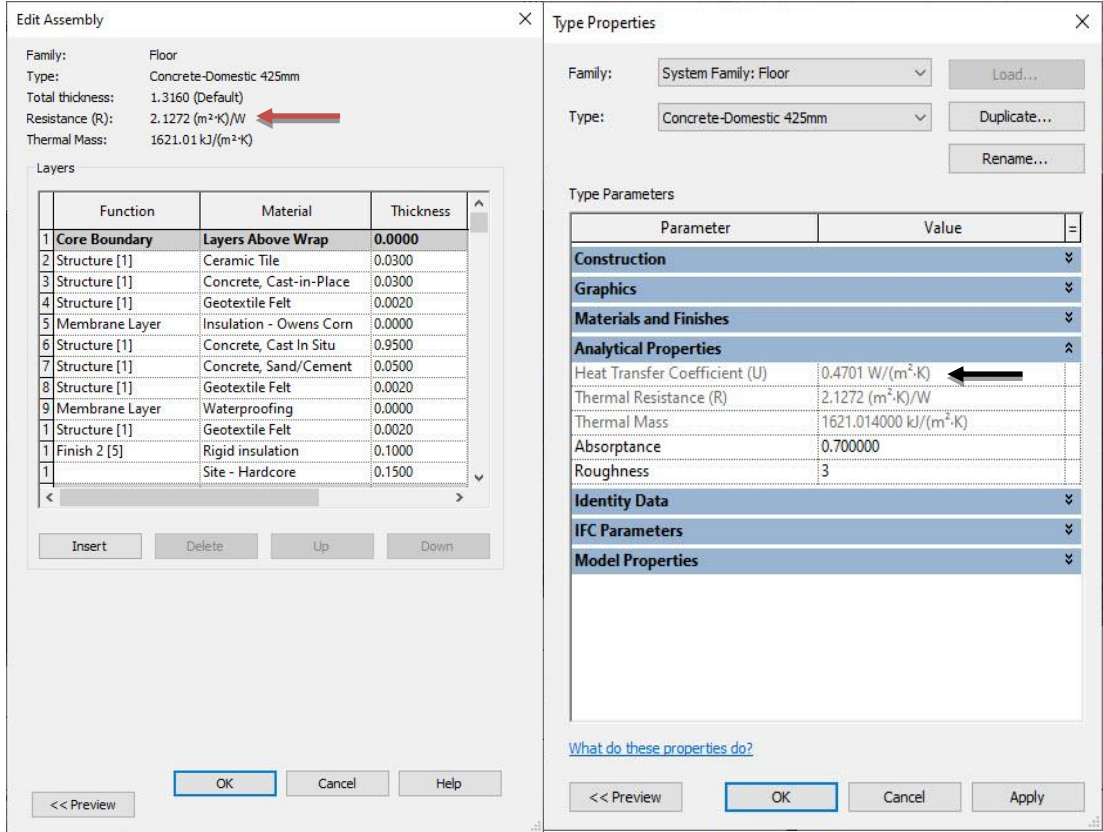
ÖİM binasının modellendiği Revit programında her malzeme için detaylı bilgi girişleri mevcut olduğundan, bina kabuk bileşenleri malzeme seçimi ve katmanlaşma kolaylıkla yapılabilmektedir. Bununla birlikte referans bina malzeme seçimi TS 825 Isı Yalıtım Kuralları Standartında kabul edilen, bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerlerini aşmayacak, minimum oranda sağlayacak şekilde seçilmiştir. Revit yazılımı da binanın model aşamasında duvar, döşeme ve çatı katmanlarının malzeme özelliklerini; kalınlık (m), ısı iletkenlik değeri (W/m.K), yoğunluk (kg/m³), ısı iletkenlik direnci (m².K/W), ısı geçirgenlik katsayısı (W/m².K) değerlerinin ayrı ayrı tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Her bir elemana ait yapı bileşenleri malzeme bilgileri aşağıda Şekil 4.37-4.40'ta ayrı ayrı verilmiştir.



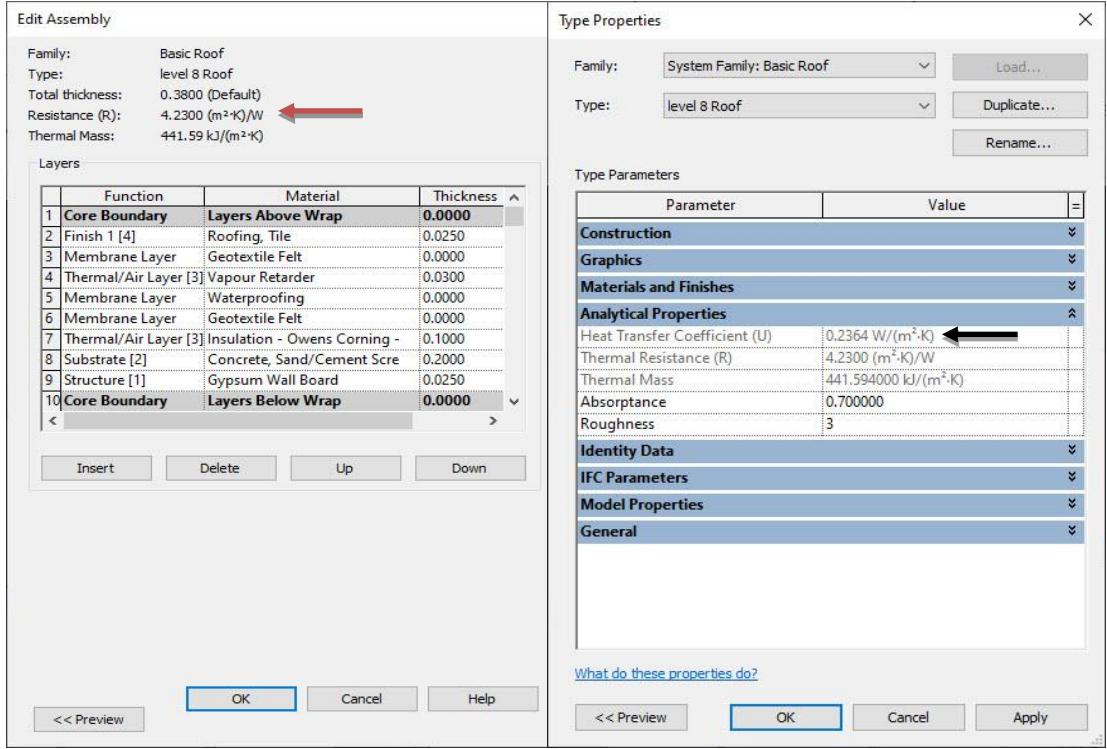
Şekil 4.37. Modele işlenmiş, toprağa temas eden dış duvar bileşenleri.



Şekil 4.38. Modele işlenmiş, havaya açık dış duvar bileşenleri.



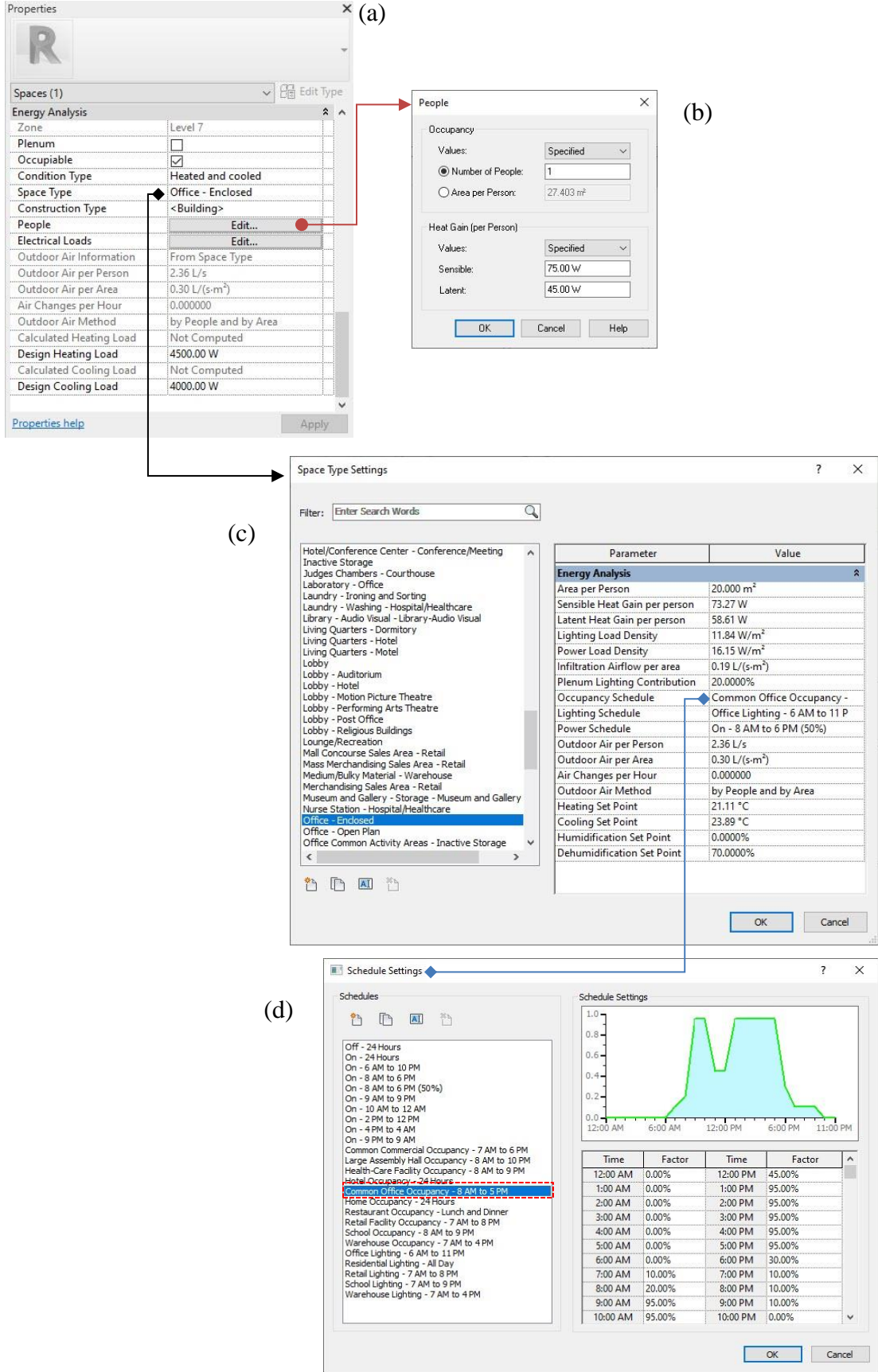
Şekil 4.39. Modele işlenmiş, zemine oturan döşeme bileşenleri.



Şekil 4.40. Modele işlenmiş, çatı bileşenleri.

4.5.2. Mahal Alanları Oluşturması ve Zonlaması

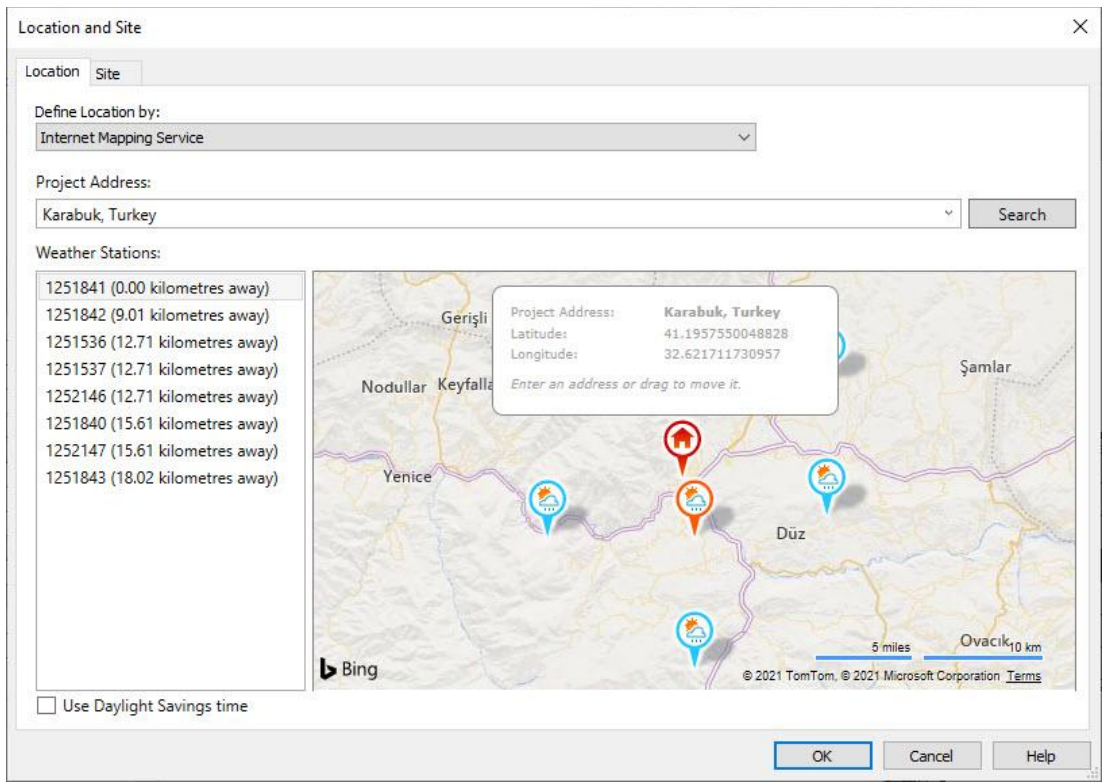
Revit'te, enerji modelini dışa aktarmak için Revit odaları yerine Revit mahalleri kullanarak performans analizi doğruluğu artırılmıştır. Modeldeki her bir mahalın türünü veya kullanımını, doluluk programını ve enerji kullanım profilini tam olarak tanımlamak için Revit mahalleri kullanılmıştır. Mahal özellikleri kısmında mahal tipi, elektrik verileri, ısıtma ve soğutma kriterleri gibi parametreleri bulunmaktadır. Mahal özellikleri kısmı Şekil 4.41 (a)'da gösterilmiştir. Enerji analizi kısmı içerisinde mahal tipi, kişi sayısı, aydınlatma ve elektrikli ekipmanlardan gelen ısı yükleri ayarları girilebilmektedir. Mahal tipi özellikleri için Şekil 4.41 (c)'de görüldüğü gibi Revit'in ASHRAE standardına göre çeşitli mahal tipleri mevcuttur. Mahal tipi ofis olarak seçildikten sonra bu ofisin saatlik çalışma programı Şekil 4.41 (d)'de "occupancy schedule" kısmında yaygın ofis programı (sabah 8'den akşam 5'e kadar) olarak seçilmiştir.



Şekil 4.41. Ofis mahalinin “space” parametreleri.

4.5.3. İklim ve Dış Ortama İlişkin Veri Girişi

Revit yazılımı, dünyadaki birçok iklim verilerine lokasyon tanımlaması ile ulaşma olanağı sağlamaktadır. Karabük ili için gerçekleştirilen bu çalışmada “GBS_06M12_18_156261” adlı hava istasyonundan alınan veriler Şekil 4.42’de gösterildiği gibi kullanılmıştır. İklim verileri, ısıtma ve soğutma derece günleri, kuru termometre sıcaklık değerleri, yıllık güneş ışıınımı değerleri, rüzgar ve nem gibi iklim parametrelerini içermektedir.



Şekil 4.42. Revit’te tanımlanan dış hava bilgileri.

4.5.4. Kullanıcıya İlişkin Veri Girişi

ÖİM binasında kişi başına duyulur ısı kazancı 75 W, gizli ısı kazancı 45 W olarak ASHRAE standardına göre Şekil 4.43’te verildiği gibi tanımlanmıştır.

Table 1 Representative Rates at Which Heat and Moisture Are Given Off by Human Beings in Different States of Activity

Degree of Activity	Location	Total Heat, W		Sensible Heat, W	Latent Heat, W	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low V	High V
Seated at theater	Theater	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	160	130	75	55	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	160	145	75	70		
Sedentary work	Restaurant ^c	145	160	80	80		
Light bench work	Factory	235	220	80	140		
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160	49	35
Walking 4.8 km/h; light machine work	Factory	295	295	110	185		
Bowling ^d	Bowling alley	440	425	170	255		
Heavy work	Factory	440	425	170	255	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285		
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315		

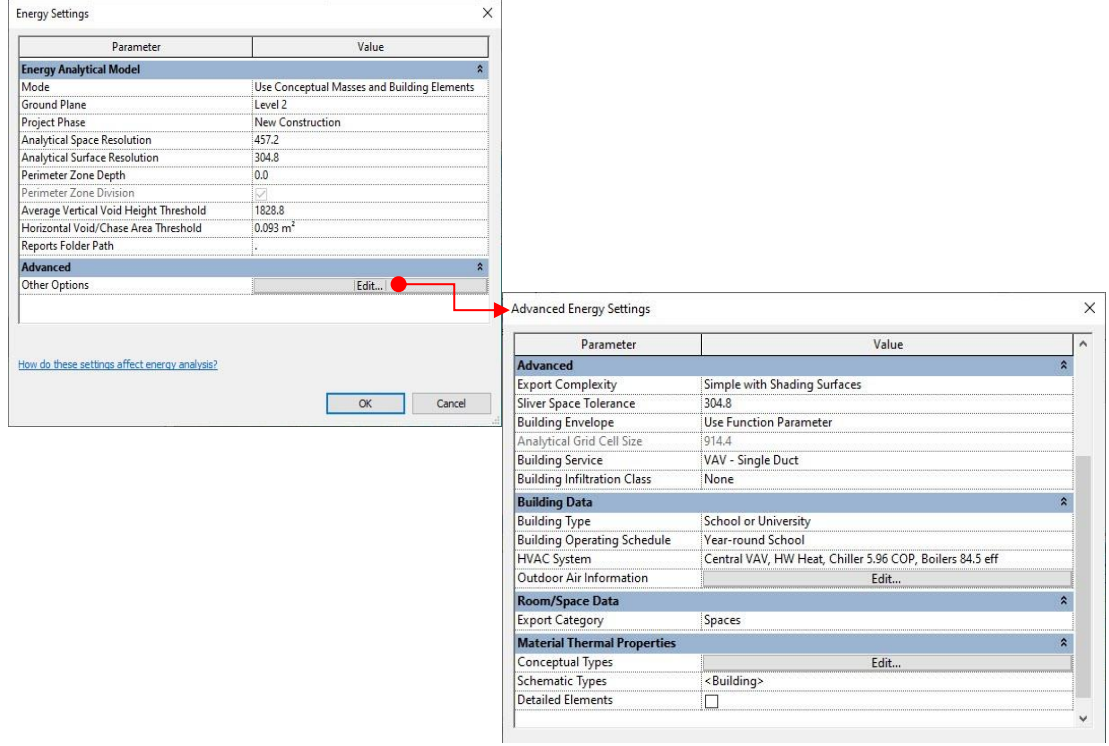
Şekil 4.43. İnsanlardan gelen duyulur ve gizli ısı kazançları.

İç iklimsel konforun gerçekleştirilmesinde önemli olan kullanıcıya ilişkin parametreler yaşam alanı ve iklimsel konfor koşullarına göre belirlenmiştir. Isıtma istenen dönemde iç hava sıcaklığı 21 °C, soğutma istenen dönemde iç hava ayar sıcaklığı 23 °C, kişi başına düşen minimum taze hava miktarı ise 10 L/s olarak belirlenmiştir.

4.5.5. Bina Alt Sistemine (HVAC) İlişkin Veri Girişi

Revit çizim ekranı üzerinden, enerji ayarları menüsü Şekil 4.44'te gösterilmektedir. Revit, enerji analizi yapmak için enerji analitik modeli oluşturmaktadır. Kütle veya bina elementleri seçenekleri arasından bir ya da iki seçenek birlikte seçilerek enerji modeli oluşturulabilmektedir. Çalışmada bina elementleri ve kütleleri üzerinden enerji modeli oluşturulmuştur. Enerji analitik modelin mahalleri (space), bina bileşenleri (çatı, duvar, pencere vb. bileşenler), konumu, bina bileşenlerinin termal değerleri ve

binaya ait veriler (bina tipi, bina işletme programı, HVAC sistem verileri) enerji ayarlarında girilmesi gereken değerleri oluşturmaktadır. İç yükler (elektrik kullanımı, aydınlatma, kullanıcı sayısı), mahal bilgilerine eklenerek çalışma girdilerine dahil edilmiştir.



Şekil 4.44. Revit enerji ayarları ekranı.

Revit programı, kullanıcılara bina yaşam döngüsü boyunca kullanılacak ısıtma ve soğutma sistemleri seçiminde sınırlı alternatifler sunmakta; manuel olarak sistem girişine olanak vermemektedir. Bu sınırlılık içinde çalışmada, ofisler için uygun olması nedeniyle “ Central VAV, HW Heat, Chiller 5.96 COP, Boilers 84.5 eff ” HVAC sistemi seçilmiştir.

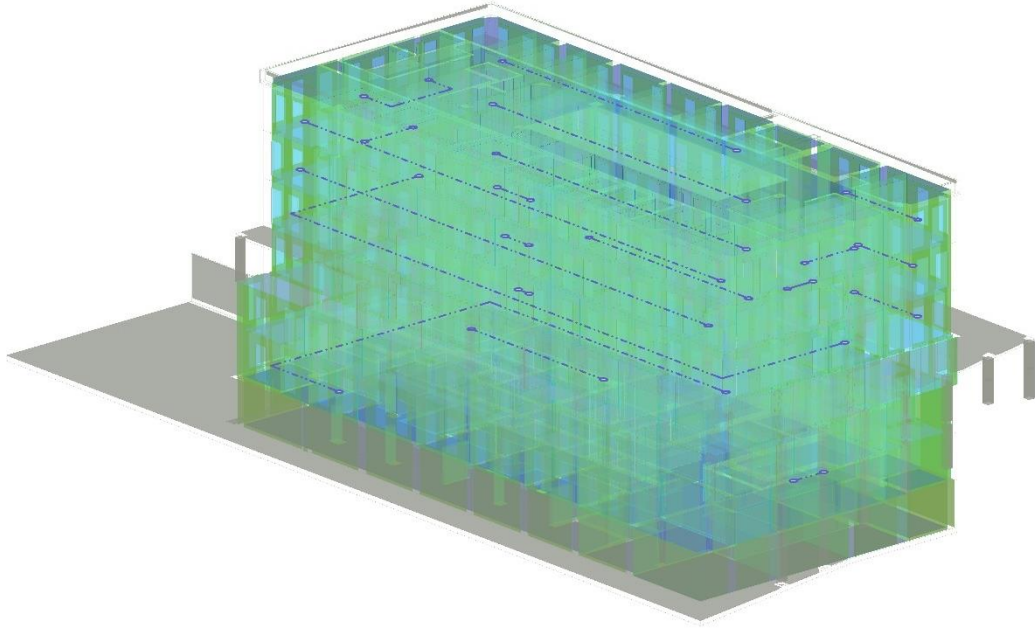
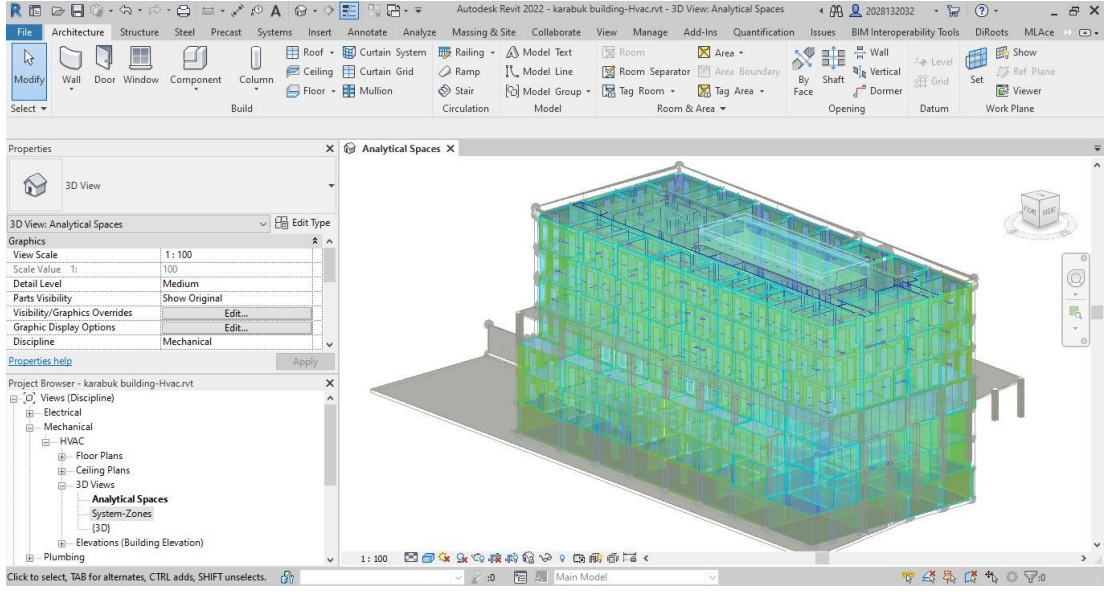
4.5.6. Aydınlatma Ekipmanları

Binanın genelinde değişik türlerde armatürler kullanıldığı görülmüştür. Karabük kampüsündeki ÖİM binasında kullanılan aydınlatma armatürlerinin cinsi, aydınlatma yoğunluğu ve aydınlatma şiddeti Çizelge 4.12’de verilmektedir.

Çizelge 4.12. Bina zonlarında kullanılan armatürler ve aydınlatma detayları.

Aydınlatma Armatürü	Aydınlatma Resmi	Tüketim Gücü
Sıva Altı LED'li Difüzoörlü Ofis Armatürü		36 W
Sıva Üstü LED'li Difüzoörlü Ofis Armatürü		36 W
4000K,150cm LED Linear Armatürü		36 W
4000K sıva altı Slim LED Armatürü		10 W
4000K sıva altı Slim LED Armatürü		24 W
4000K sıva üstü Slim LED Armatürü		18 W
Sarkıt LED armatürü		95 W
4000K,180 cm LED Linear Armatürü		40 W
Acil yönlendirme armatürü		3 W

Her alanda bulunan aydınlatma armatürlerinin aynı anda çalıştırıldığı düşünülerek alanın toplam aydınlatma gücü (W) cinsinden belirlendikten sonra mahal alanı ve armatür cinsi de dikkate alınarak aydınlatmadan gelen ısı kazancı hesaplanabilmektedir. Tüm bu veri girişleri kapsamında Şekil 4.45'te görüldüğü gibi binanın enerji modeli oluşturulmuştur.



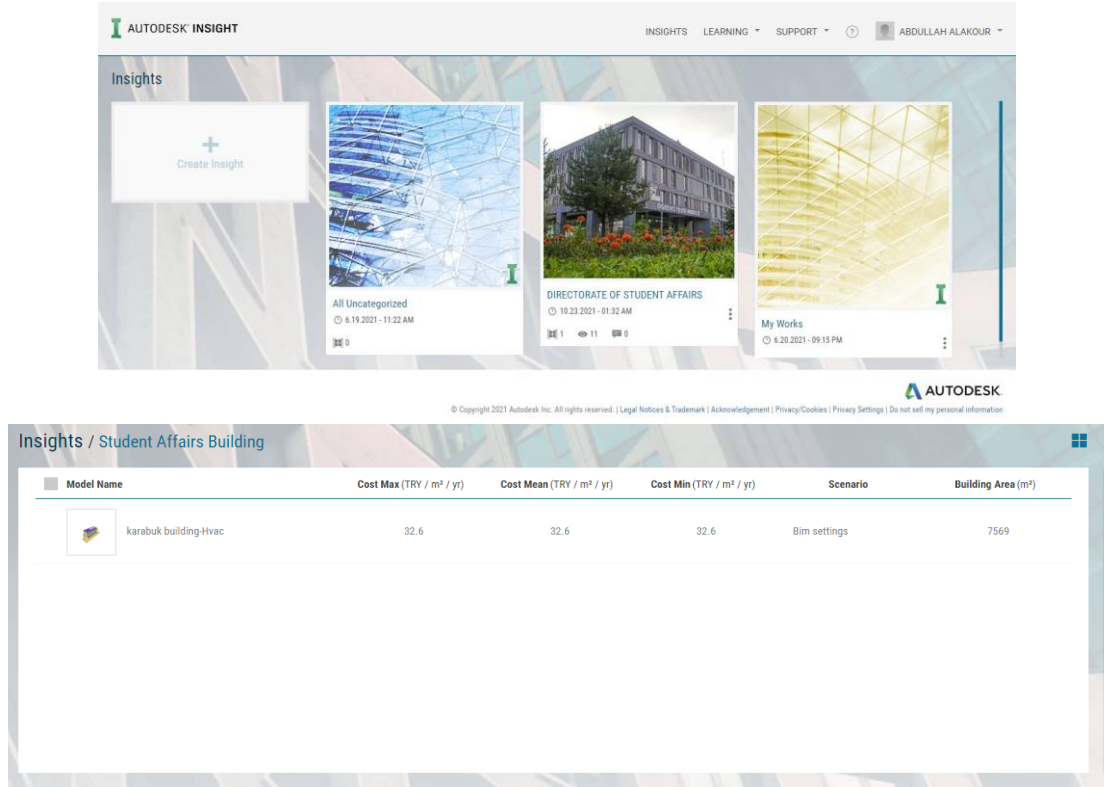
Şekil 4.45. Revit'te oluşturulmuş bina enerji modeli.

4.5.7. Autodesk Insight 360 İle Enerji Analizi Sonuçları

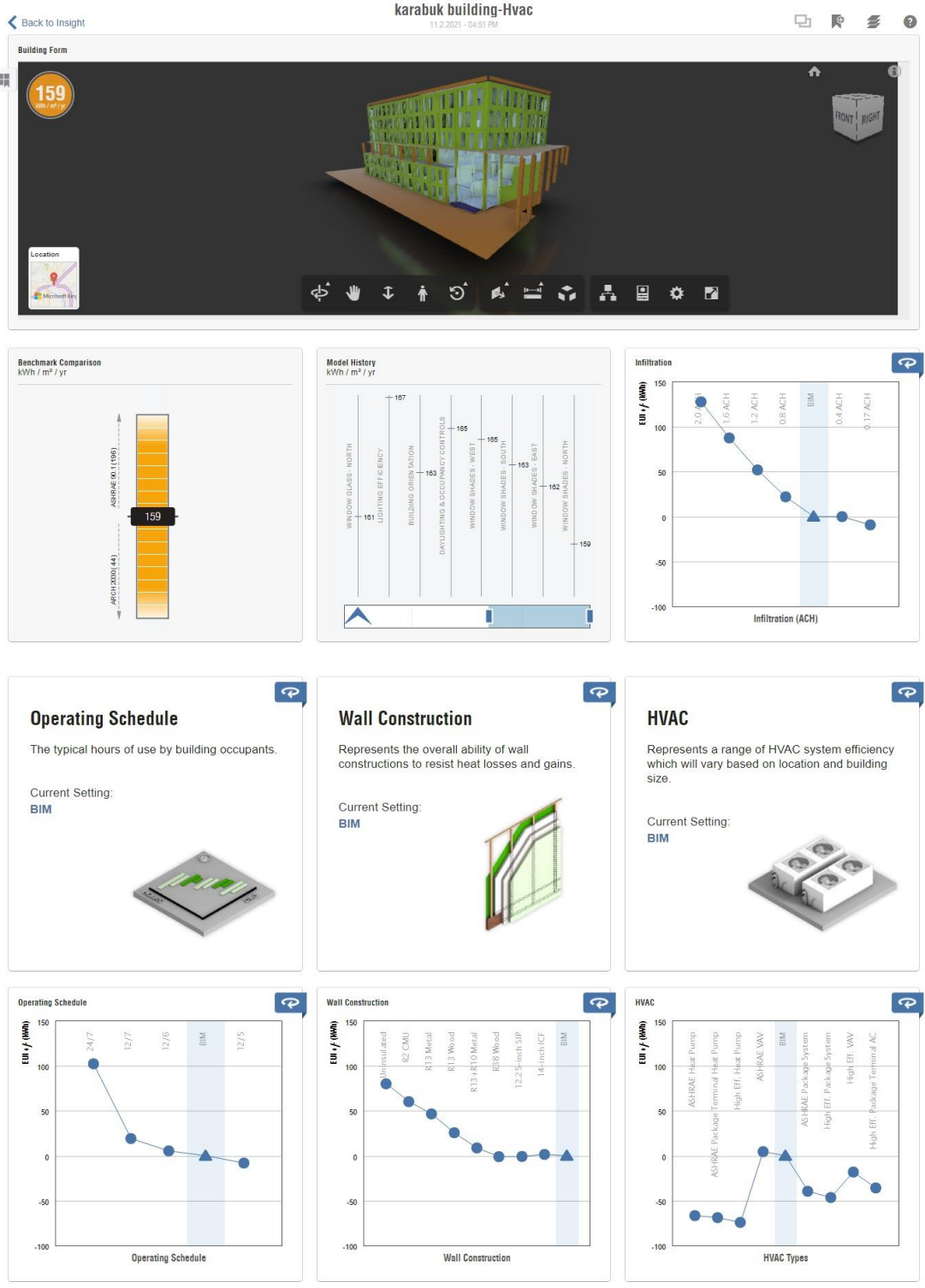
Insight programından elde edilen sonuçlarında binaya etki eden her değişkeni ayarlarken (bknz. Şekil 4.47-4.50) interaktif olarak binanın yıllık enerji tüketimine etkisini göstermektedir. Insight programı Enerji Kullanım Yoğunluğu (Energy Use Intensity, EUI) değeri üzerinden ölçüt (benchmark) değerler ve diğer alternatif

senaryolarla karşılaştırmalar yapmaktadır. Sonuçlar kötüden iyiye simülasyon sonucunun durumuna göre kırmızı, turuncu veya yeşil renklerle ifade edilmektedir.

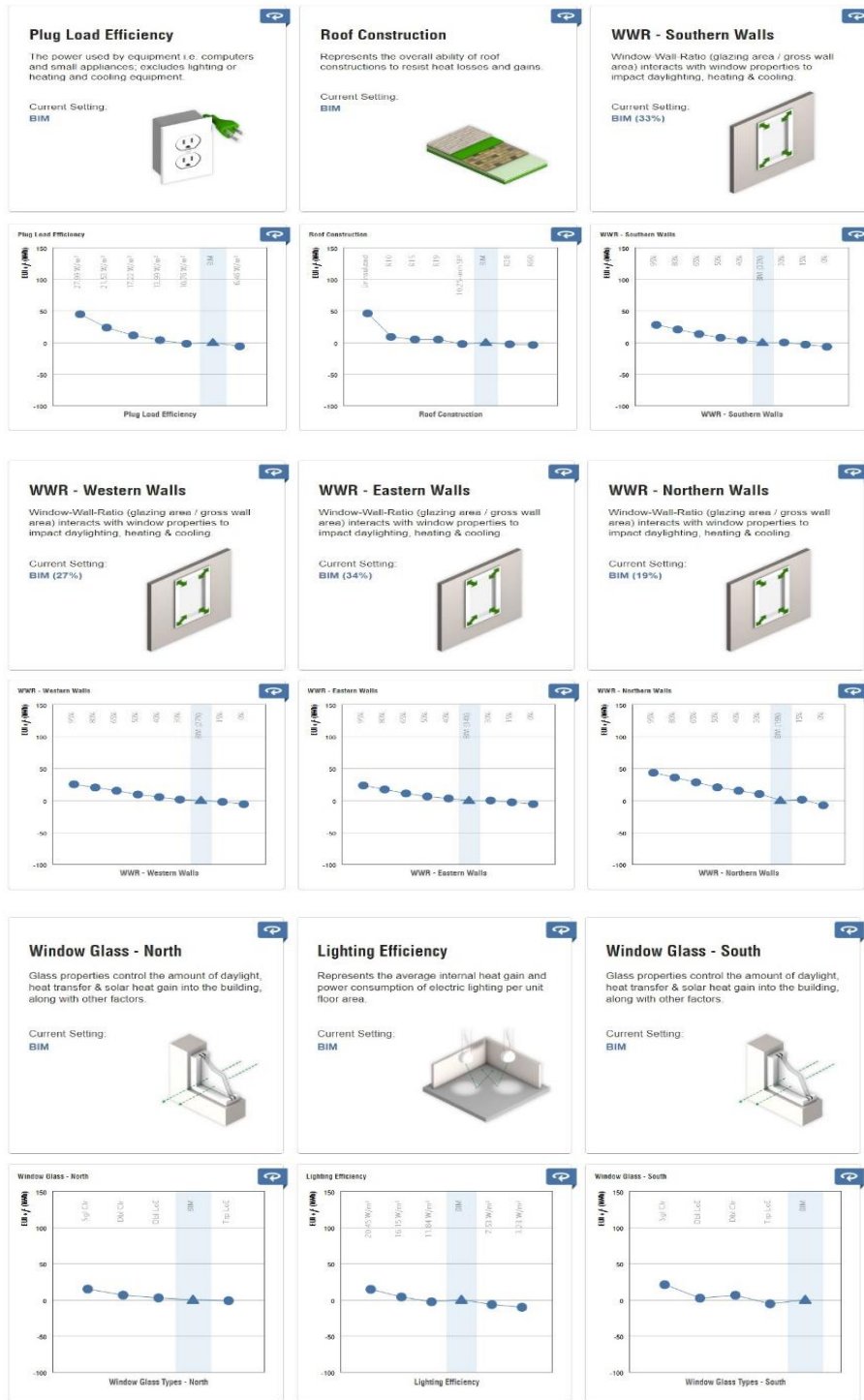
ÖİM bina içi ısıtma sisteminin merkezi sıcak sulu sistem ve yakıt tipinin doğalgaz, soğutma sisteminin ise split klima olduğu kabulü ile enerji performans analizi yapılmıştır. Belirlenen parametrelerin ardından referans bina için enerji etkin tasarım kararlarının uygulanması sürecinde hızlı karar verme olanağı sağladığı için Autodesk Insight kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda Şekil 4.46-4.50’de verildiği gibi, ÖİM binasının yıllık enerji tüketim miktarının 159 kWh/m^2 olduğu tespit edilmiştir.



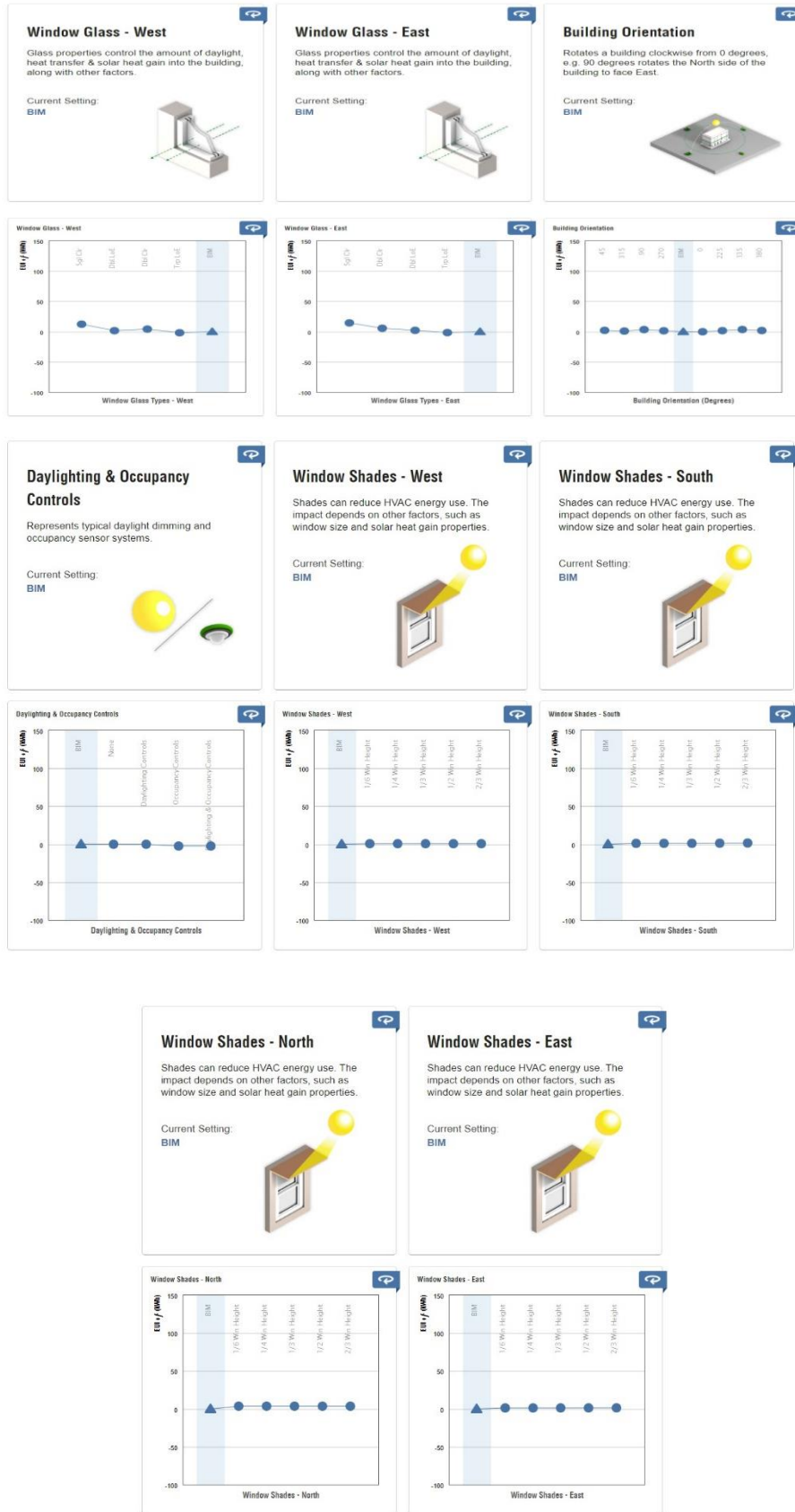
Şekil 4.46. Insight simülasyonundan sonuç görselleri.



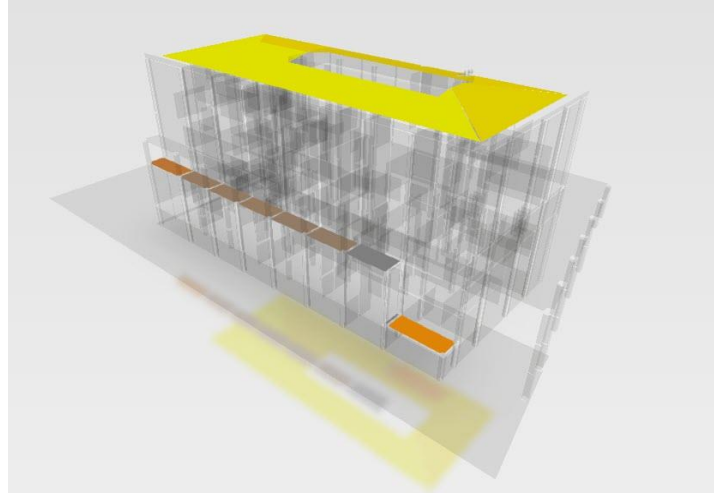
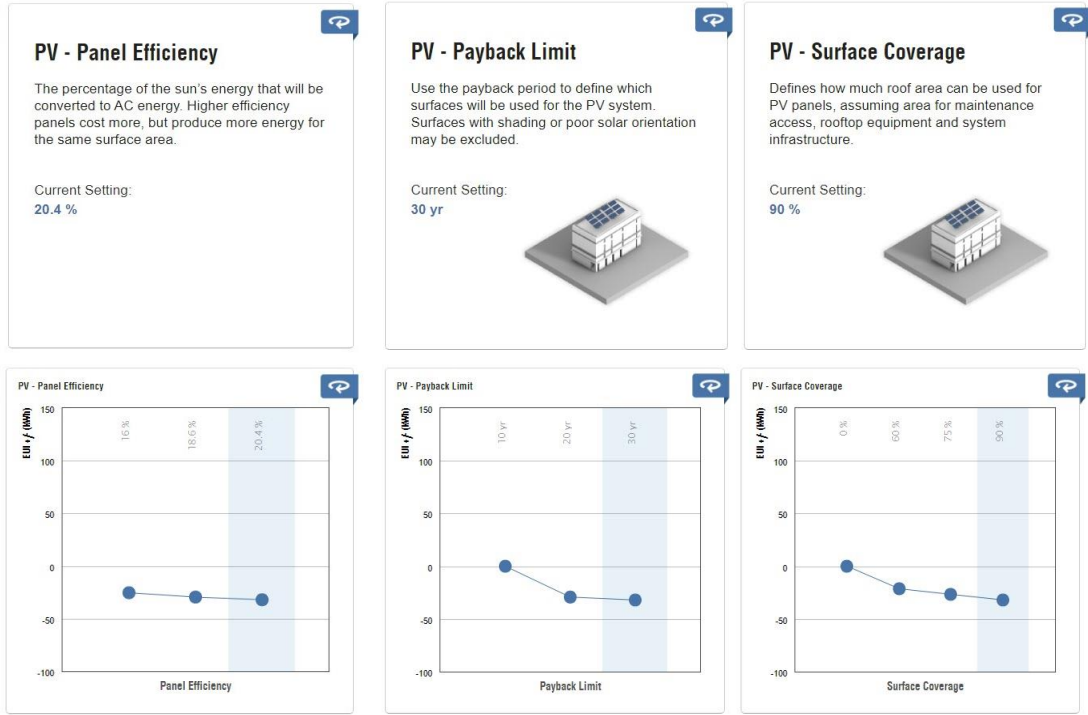
Şekil 4.47. Çalışma programı, duvar elemanları ve HVAC sistemi.



Şekil 4.48. Priz yüklerinin verimliliği, çatı elemanı ve pencere/duvar oranı.



Şekil 4.49. Aydınlatma verimliliği, pencerelerin cam özellikleri ve bina yönelimi.



Şekil 4.50. PV enerji analizi.

PV güneş panellerine ilişkin değişkenler aşağıdaki gibi alınmıştır;

- Güneş paneli verimliliği: %20,4
- Geri ödeme süresi: 30 Yıl
- Güneş paneli yüzey kaplaması: %90

Çalışmanın optimizasyon aşamasında enerji analizi simülasyonu yazılımları olan Insight programında farklı senaryolar oluşturulmuş ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Toplam 3 adet senaryo uygulanarak simülasyon sonuçları ortaya konmuştur.

1. Architecture 2030 Senaryosu :

Fosil yakıt kullanımını kaldırarak karbon nötr binalar oluşturmayı amaçlayan Architecture 2030 hedefi kapsamında belirlenen kıstasların, Insight programı tarafından binaya uygulandığı senaryodur. Değişkenler Insight programının kullandığı uluslararası standartlar tarafından belirlenmektedir. Araştırmacının verilere müdahalesi bulunmadan alınan bu senaryonun değişkenleri ve sonuçları karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Architecture 2030 alternatif senaryosundan elde edilen yıllık enerji tüketimi (Enerji Kullanım Yoğunluğu) sonucu : $EUI = 175 \text{ kWh/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

2. Net Sıfır Senaryosu :

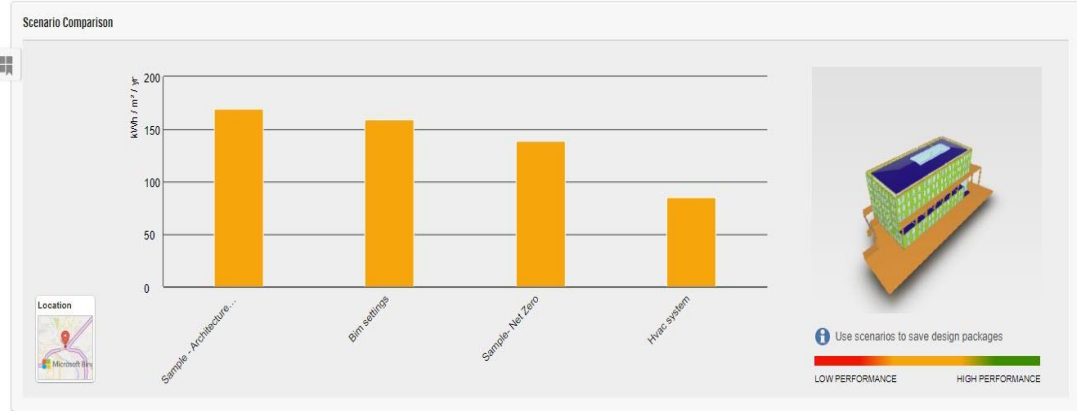
World Green Building Council iş birliği ile sürdürülebilir gelişim amacıyla, 2050 yılına kadar eski ve yeni tüm yapılar için, 100% net sıfır karbon binalarını arttırmak amacını taşıyan, “Net Sıfır Değerini Sağlayan Alternatif” veya “Net Zero” hedefi kapsamında belirlenen kıstasların Insight programı tarafından binaya uygulandığı senaryodur. Çalışma, inşa edilmiş bir yapıyı net sıfır karbon yapısına dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Araştırmacı tarafından verilere müdahale edilmemiştir. Net Sıfır alternatif senaryosundan elde edilen yıllık enerji tüketimi (Enerji Kullanım Yoğunluğu) sonucu : $EUI = 134 \text{ kWh/m}^2$ olarak bulunmuştur.

3. HVAC sistemi senaryosu :

HVAC sistemlere ilişkin değişkenler yüksek verimli ısı pompası sistemi seçilmiştir.

Insight ara yüzünde, referans bina modeline ait enerji analizi ve alternatif senaryoların karşılaştırmalı sonuçlarını Şekil 4.51’de görülmektedir. Sonuç olarak yüksek enerji tüketiminden düşük enerji tüketimi değerlerindeki sonuçlara doğru sıralandığında, en

kötü sonucun “Arch 2030 Hedefini Sağlayan senaryosu”, “referans bina” senaryosunun ikinci sırada bulunduğu, sonra “Net Sıfır Değerini Sağlayan senaryosu”, en iyi sonucun “HVAC sistemi senaryosu” olduğu görülmektedir. HVAC sistemi alternatif senaryosundan elde edilen yıllık enerji tüketimi (Enerji Kullanım Yoğunluğu) sonucu : $EUI = 84 \text{ kWh/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.51. Insight ara yüzünde tasarım alternatiflerinin yıllık enerji tüketimleri açısından karşılaştırması.

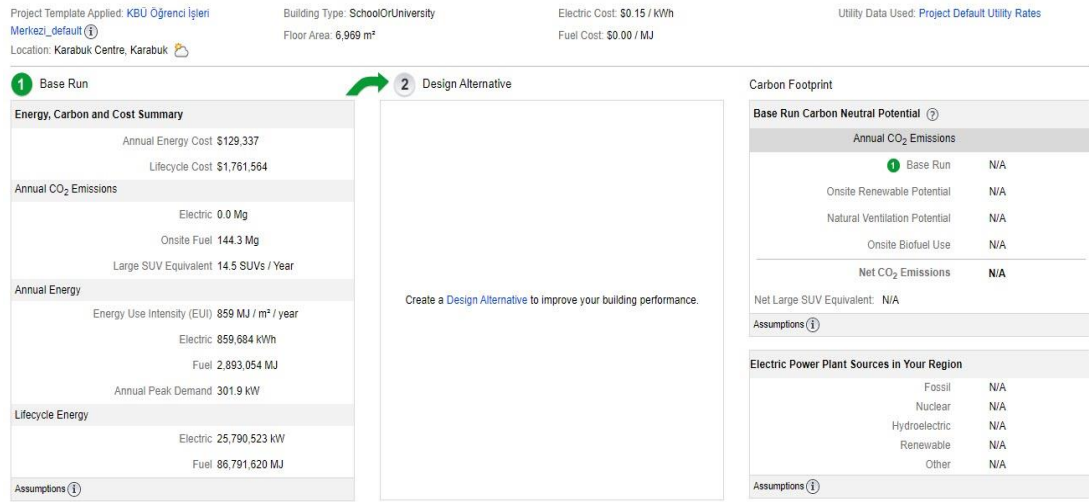
4.5.8. Green Building Studio (GBS) ile Enerji Analizi Sonuçları

ÖİM bina modeli Autodesk Revit programında enerji ayarları ve enerji modeli yapıldıktan sonra .xml uzantılı dosya olarak kaydedilmiştir. Bu aşamadan sonra Revit ile enerji ayarları, enerji analizleri yapılmak üzere web tabanlı “Autodesk Green Building Studio” eklentisine aktarılmıştır. Green Building Studio, enerji analizinin yanı sıra tasarımcıya 250’ye yakın farklı tasarım senaryosu da oluşturabilmektedir. Dolayısıyla bu yazılım yardımıyla tasarımcı farklı tasarım alternatifleri mukayese edilebilmektedir.

Green Building Studio enerji simülasyonu ayarlarında, kWh birimi başına elektrik maliyetini 0,15 \$ ve kWh birimi başına yakıt enerjisi maliyetini 0,014 \$ olarak belirlenmiştir. kWh başına elektrik fiyatı, kWh başına yakıt fiyatına göre daha yüksektir. Bu, alternatif maliyet-etkin enerji sistemini kullanmak için dikkat çekici bir noktadır. Şekil 4.52’de ÖİM binasının enerji performansına ait sonuçlar, elektrik ve yakıtın toplam yıllık enerji kullanım maliyeti gösterilmektedir.

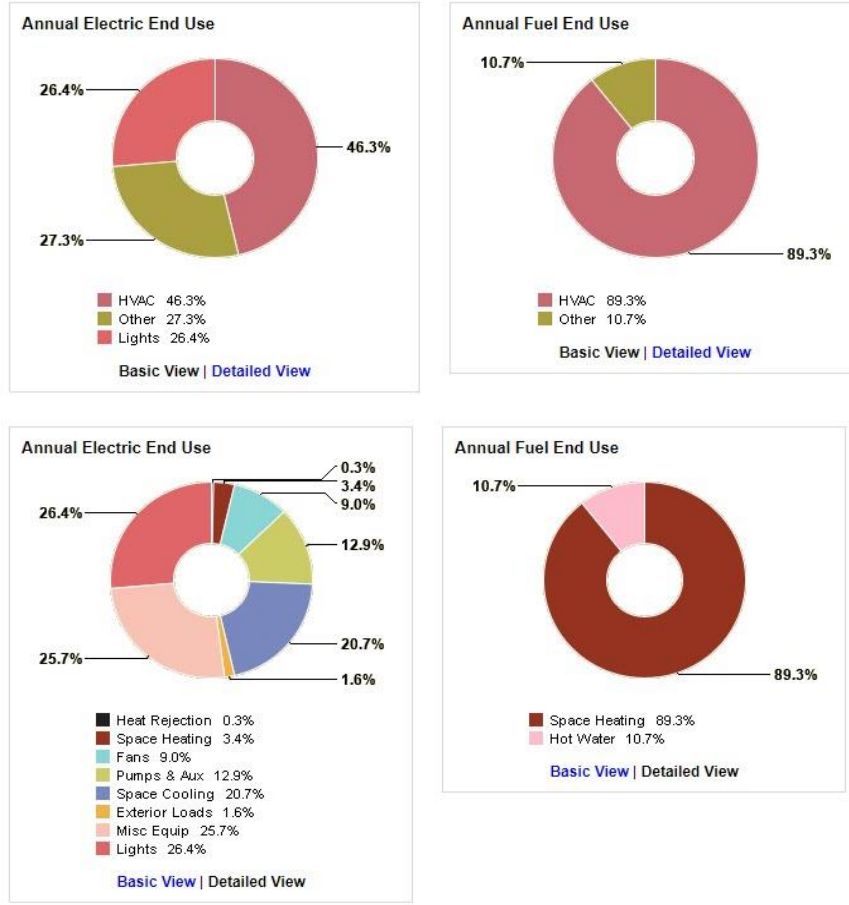
Sonuçlar kısmında “Lifecycle Cost ” Yaşam döngüsü maliyeti (LCC), bir varlığın başlangıç sermaye maliyetleri, bakım maliyetleri, işletme maliyetleri ve varlığın ömrünün sonundaki kalıntı değeri dahil olmak üzere yaşam döngüsü boyunca toplam maliyetini değerlendiren bir yaklaşımdır. Autodesk Revit enerji analizi simülasyon sistemi algoritması, 30 yıllık ortalama yıllık çevrim ömrünün tahmini iskonto oranı (%6,1) olarak alınmıştır.

Projeye ilişkin emisyon verileri, yerinde yakıt kullanımına ve bölgedeki elektrik kullanımından üretilen yakıt kaynaklarına dayanmaktadır.



Şekil 4.52. ÖİM binasının GBS sonuçları.

Yıllık toplam enerji tüketimlerinin hesaplanmasında ÖİM binasına ait elektrik tüketimi 859,684 kWh'tır. Bu tüketimin büyük bir kısmının Şekil 4.53'te gösterildiği gibi, mekanın soğutulmasından (%46,3), aydınlatma cihazlarından (%26,4) ve çeşitli ekipmanlardan (%27,3) kaynaklandığı görülmektedir. Diğer taraftan yakıt tüketiminin ise mekanın ısıtılması ve sıcak su kullanımından kaynaklandığı görülmektedir. Buna göre yıllık toplam yakıt tüketimi 2,893,054 MJ olarak hesaplanmıştır.



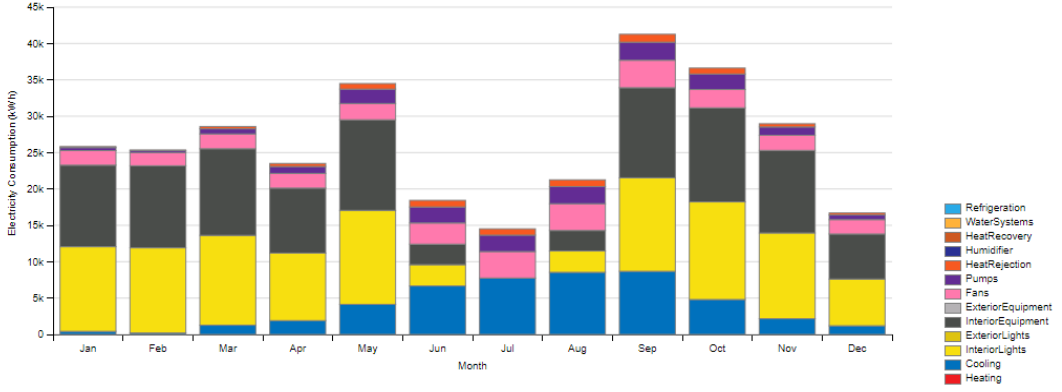
Şekil 4.53. Yıllık enerji kullanım diagramı.

Analiz sonuçlarına göre, yıllık enerji kullanımının %34'ü elektrik enerjisi tüketiminden, %66'sı doğalgaz tüketiminden kaynaklanmaktadır. Doğalgaz tüketiminin ise %10,7'sini sıcak su kullanımı, %89,3'nü HVAC (ısıtma, soğutma, havalandırma, iklimlendirme) sistemi oluşturmaktadır. Bu verilere göre sıcak su kullanımı için harcanan enerji, güneş enerjisi ve alternatif sistemlerinin yapıya entegre edilmesiyle, HVAC sisteminden kaynaklı harcanan enerjinin de yapının doğal havalandırması ile azaltılabilmesi mümkündür.

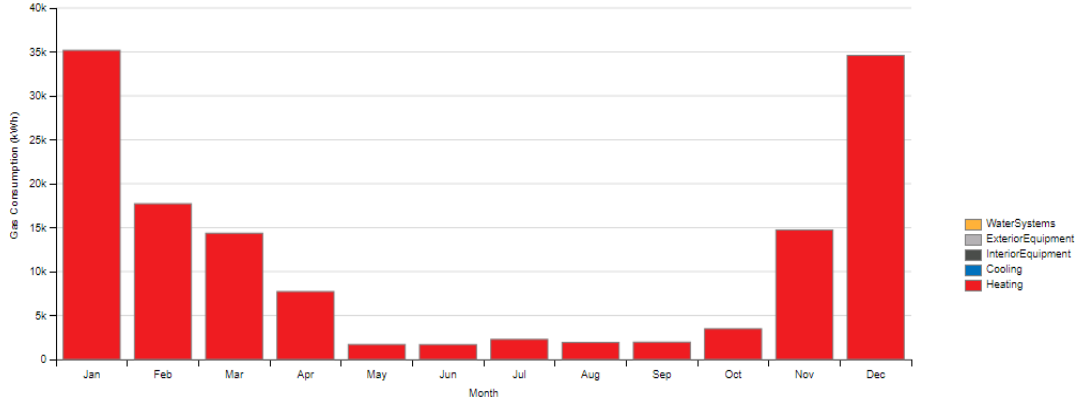
Elektrik tüketiminin %46.3'ü HVAC sistemden, %26.4'ü aydınlatma sistemlerinden, %27.3'ü diğer kullanımlardan (donanım, bilgisayarlar, asansörler ve çeşitli cihazlar) kaynaklanmıştır. Bu analiz sonrasında enerji tüketiminin büyük çoğunluğunun HVAC sistemlerden kaynaklandığı görülmüştür. ÖİM bina modeline ait elektrik ve gaz tüketimi aylık olarak Şekil 4.54'te verilmiştir.

Monthly Overview

Electricity Consumption (kWh) - view table



Gas Consumption (kWh) - view table

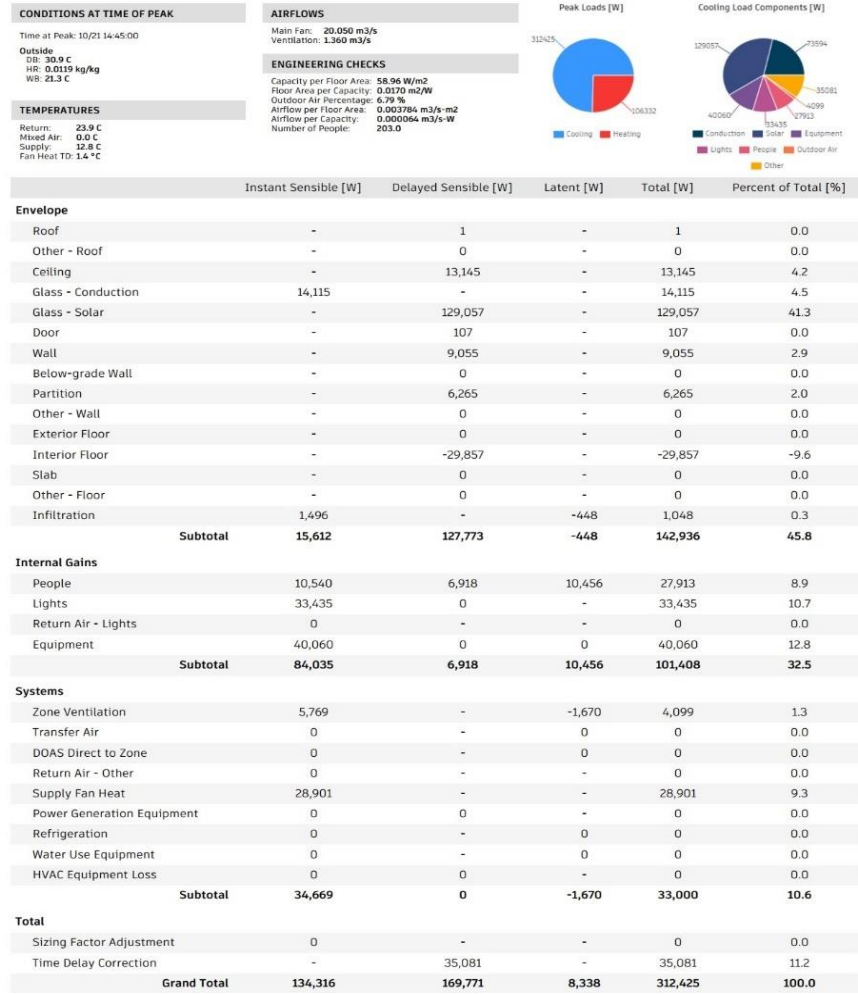


Şekil 4.54. ÖİM binanın aylık elektrik ve gaz tüketimi.

Çalışmada, Revit ile enerji analizleri yapılmak üzere ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Soğutma ve ısıtma yüklerinin hesabındaki amaç soğutma ve ısıtma sistemi elemanlarını (kompresör, kondansör, evaporatör, termostatik genişleme valfi, soğutucu akışkan boruları ve diğer soğutma aksamı) doğru ve ekonomik bir şekilde seçebilmektedir. Soğutma yükünü meydana getiren ısı kazançları üç grupta toplanmıştır. Birincisi soğutulan hacmi çevreleyen duvar, döşeme ve tavadan (Envelope) geçen ısı, yani transmisyon ısıdır. İkincisi soğutulan hacmin içerisindeki iç kazançlardan (insanlar, aydınlatma, ekipmanlar, vs) (internal gains) gelen ısıdır. Üçüncüsü ise soğutulan hacimde kullanılan sistemlerden gelen ısı yüküdür. Şekil 4.55'te Revit programından elde edilen soğutma sistemin yük özeti verilmiştir.

System Load Summary

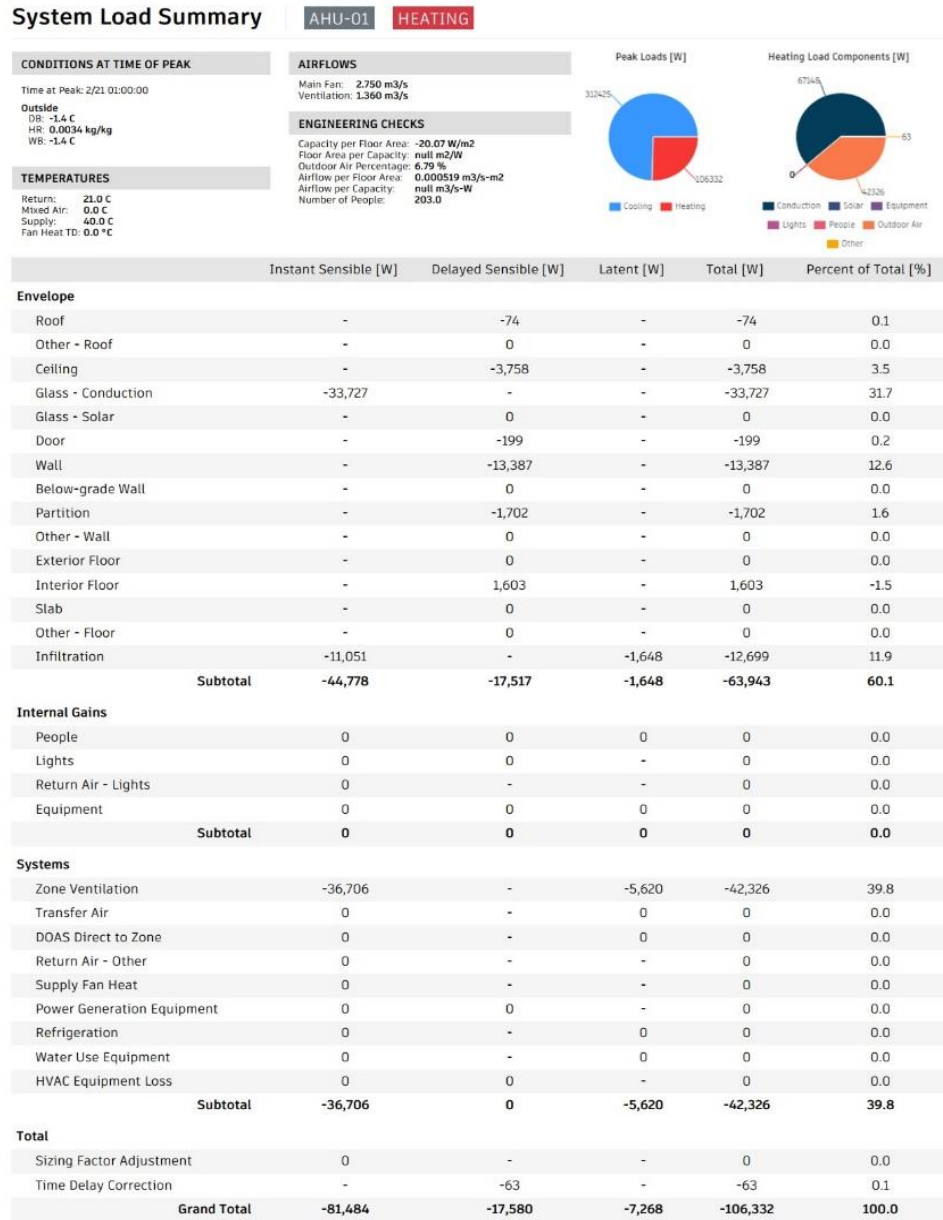
AHU-01 COOLING



Şekil 4.55. HVAC sisteminin soğutma yüklerin özeti.

Şekil 4.55'te gösterildiği gibi tüm yapı elemanı malzemeleri tarafından soğutma yükü sağlanmıştır. En yüksek soğutma katkısı pencerelerden gelen güneş ısısı kazancıdır. Bununla birlikte, duvarlardan gelen ısı kazançları kıyaslandığında daha küçüktür. Bu nedenle, duvar yalıtım değerlerinde iyileştirmelere yatırım yapmadan önce, pencerelerin güneş ısısı kazanç katsayısını azaltmak için camın iyileştirilmesi gerekir. Sonuçlarda bulunan pozitif değerler; bir soğutma sistemi veya başka yollarla karşılanması gereken soğutma taleplerini temsil ederken, negatif değerler; soğutma ihtiyacını dengeler. Binanın yeraltındaki yapı malzemeleri ısı enerjisini yavaş bir şekilde absorbe etmesiyle bu enerjiyi daha uzun süre koruyan doğal bir davranışa sahip olmuştur. Dış hava sıcaklıkları zirveye ulaştığında, ısı henüz binanın bodrum katlarına nüfuz etmediği için binanın iç kısımları soğuk kalmıştır. Isı kazancından ve

havalandırmadan kaynaklanan soğutma yükü 312.425 W ve binanın ısı kayıpları ve havalandırmadan kaynaklanan ısıtma yükü de 106.332 W olarak hesaplanmıştır. Isıtma yükü sonuçları Şekil 4.56'da verilmiştir.



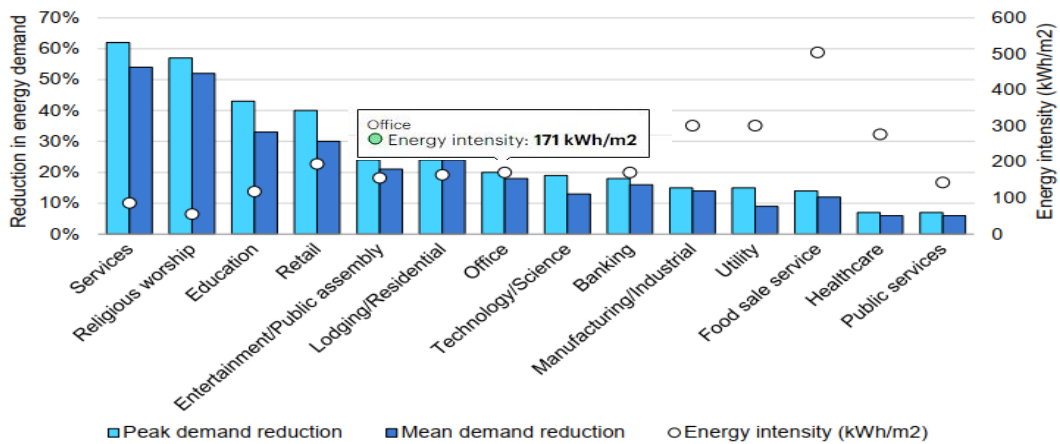
Şekil 4.56. HVAC sisteminin ısıtma yüklerin özeti.

4.6. ENERJİ ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

BIM yazılım araçları ile Karabük Üniversitesi kampüsündeki Öğrenci İşleri Merkezi binasının TS 825 standartları doğrultusunda ısıl performansı inceleyerek yıllık enerji

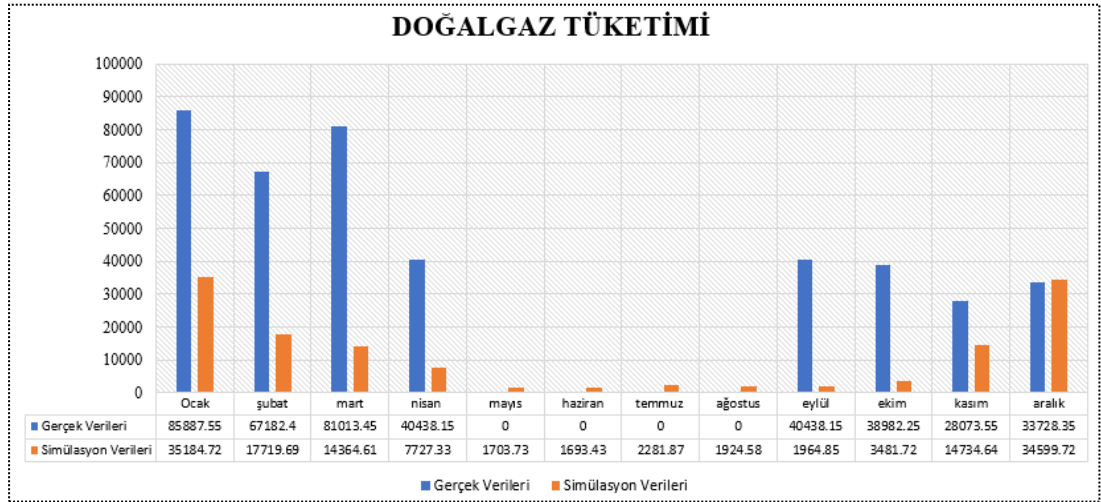
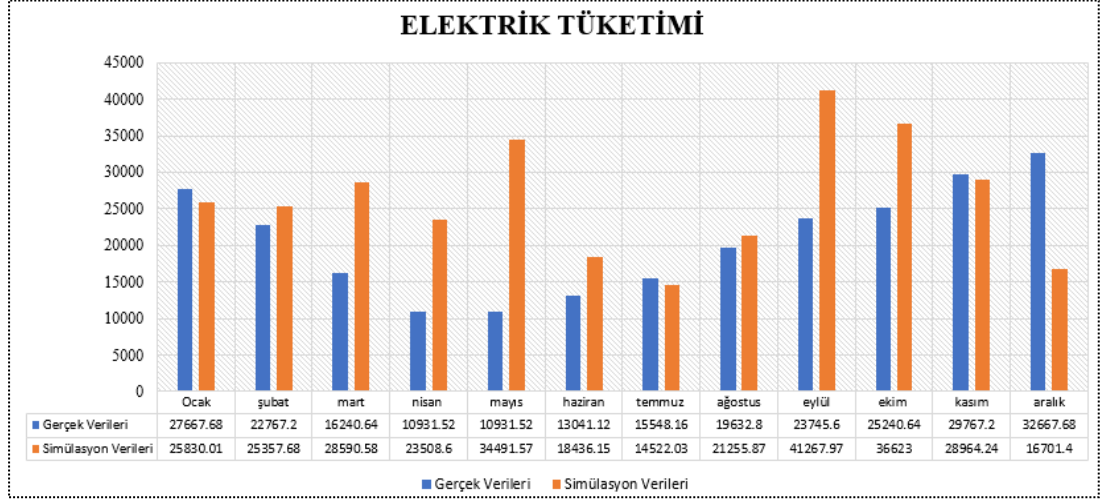
tüketimi hesaplanmıştır ve programın sonuçları değerlendirilmiştir. Autodesk Revit programında oluşturulan 3D model Green Building Studio ve Insight 360 eklentileriyle ısıtma, soğutma ve yıllık elektrik ve yakıt tüketimleri hesaplanmıştır. ÖİM binasının modeli Revit programına aktarılırken enerji analizinin doğru şekillenebilmesi için mimari ve mekanik projeleri incelenmiştir. Projede verilen detaylardaki yapı elemanlarının katmanları, programda termal ve fiziksel özellikleriyle beraber gerçek değerleriyle oluşturulmuştur. Modelleme tamamlandıktan sonra enerji analiz sonuçlarını elde edebilmek için simülasyon ayarları düzenlenmiştir. Konum olarak Karabük, yapı türü olarak ofisler, termal özellikler dahil olacak şekilde tüm bina parametreleriyle, günün 10 saati kullanılmak üzere ayarlar yapılmıştır. Enerji analizi sonucundan elde edilen çıktıların özeti aşağıda verilmiştir.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından hazırlanmış “Energy Efficiency 2020” enerji verimliliği rapora göre, Şekil 4.57’de her tür bina için m² başına yıllık ortalama spesifik tüketimi gösterilmiştir. Rapora göre, 2013 yılında normal ofis binalar için 171 kWh/m² civarındadır. Enerji verimliliği olan ofis binaları için en düşük değer 218 kWh/m²’dir. Ortalama bir ofis binası için ise bu rakam 166 kWh/m²’ye düşmüştür. En yüksek enerji verimliliği olan ofis binaları 128 kWh/m²’den daha az enerji tüketen binalardır [68]. Simülasyon sonucuna göre, Karabük Üniversitesinde ÖİM binanın yıllık enerji tüketimi 159 kWh/m² olduğundan enerji kullanımı ortalama tüketim değerlerinin içinde fakat hedeflenen rakamların üzerinde bulunmaktadır.



Şekil 4.57. Farklı bina tipleri için enerji tüketim yoğunluğu değerleri [68].

ÖİM Binasının gerçek enerji tüketimi ile simülasyon sonucu elde edilen enerji tüketimleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.58 (a)'da ÖİM binasının gerçek elektrik tüketimleri ile simülasyon sonucu elde edilen elektrik tüketim değerlerinin karşılaştırılması, Şekil 4.58 (b)'de ise gerçek doğalgaz tüketimleri ile simülasyon sonucu elde edilen doğalgaz tüketim değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir.

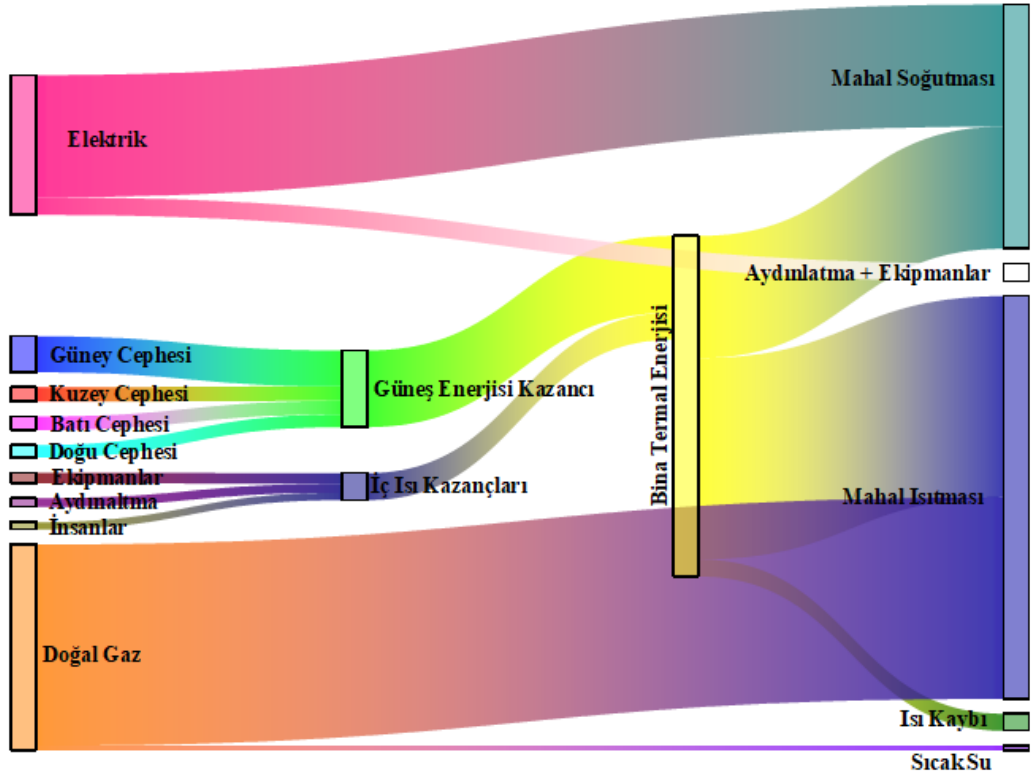


Şekil 4.58. Binanın gerçek enerji tüketimi ile simülasyon sonucu elde edilen enerji tüketimleri karşılaştırması.

Şekil 4.58 (a)'dan anlaşılacağı gibi bazı aylarda gerçek ve simülasyon elektrik tüketimleri birbirine çok yakınken diğer aylarda simülasyon sonucu elde edilen elektrik tüketimi gerçek elektrik tüketiminden daha fazladır. Şekil 4.58 (b)'de ise gerçek doğalgaz tüketimleri ile simülasyon sonucu elde edilen doğalgaz tüketimleri tüm aylarda (yaz ayları hariç) gerçek doğalgaz tüketimi simülasyon sonucu elde edilen

elektrik tüketimlerinden daha fazladır. Bu farklılıkların nedeni, ÖİM binasının modellenmesi yapılırken HVAC ekipmanları, aydınlatma ekipmanları gibi yapı ve sistem karakteristikleri doğru bir şekilde tespit edilip modellemeye girilirken; HVAC ve aydınlatma sistemlerinin gerçek çalışma koşullarının, sıhhi sıcak su kullanımının gerçek oranlarının net bir şekilde tespit edilememesidir. Bu nedenle modelleme girdileriyle gerçek değerler birebir örtüşmemektedir. Örneğin ÖİM binasındaki birçok zonun kış şartları için konfor sıcaklığı bu zonların tasarım sıcaklığı olan 24°C olarak modellemeye girilmiştir. Ayrıca Mayıs-Ağustos aylarında gerçekte doğalgaz tüketimi sıfırken simülasyon sonucuna göre bu aylardaki toplam doğalgaz tüketim miktarı 7603 m³'tür. Bunun nedeni, gerçekte bu aylarda belirli mahallerde ortam sıcaklığı konfor şartlarının altına düşmesine ve ısıtma yükü oluşmasına rağmen HVAC ekipmanları ile sıhhi sıcak su sisteminin manuel olarak çalıştırılmamış ve doğalgaz tüketiminin gerçekleşmemiş olmasıdır. Sonuç olarak mahallerin ısıtma sisteminin konfor sıcaklıklarından ve çalışma saatlerinden (modelleme girdilerinden) uzak bir şekilde manuel olarak kapatıldığı ya da açıldığı bunun sonucu olarak ay bazında gerçek ve simüle tüketimler arasında farklılıklar olduğu görülmektedir.

Çalışmada, enerji akışlarını ve miktarlarını birbirine orantılı olarak görselleştirmek için Sankey diyagramı kullanılmıştır. ÖİM binasına ait enerji denkliği şematik gösterimi "Sankey Diyagramı" Şekil 4.59'da verilmiştir. Sankey Diyagramı enerji analizi sırasında yapılan hesaplamalara dayanarak bu çalışma için üretilmiştir. Sankey diyagramında okların veya çizgilerin genişliği, varlıkların büyüklüklerini göstermek için kullanılmıştır; bu nedenle ok/çizgi ne kadar büyükse, akış miktarı da o kadar büyük olmuştur. Diyagramı farklı kategorilere bölmek veya sürecin bir durumundan diğerine geçişini göstermek için farklı renkler kullanılmıştır.



Şekil 4.59. ÖİM binaya ait toplam enerji denklığı Sankey diyagramı.

BÖLÜM 5

NET SIFIR ENERJİLİ BİNA İÇİN ÖNERİLEN STRATEJİLER

Önceki bölümlerde ÖİM binası ve mevcut durumda kullanılan sistemler tanıtılmıştı. ÖİM binasında kullanılan bu sistemlerle yıllık enerji harcamalarını belirlemek için BIM süreci ile enerji performans analizleri yapılmıştır. Analizlerden elde edilen veriler incelendiğinde, mevcut durumda kullanılan malzeme ve yapılan yalıtımlar sayesinde enerji tüketiminin ülke standartlarına uygun olmasına karşın, birincil enerji kaynaklarına bağımlı ve yıllık uygun enerji harcamalarının olduğu bir bina karşımıza çıkmıştır.

İzlenen sonraki adımda bu sistemlere alternatif olacak ve daha çevreci olarak çalışacak, bina arazisinden faydalanılarak yenilenebilir enerji kaynaklarını en doğru şekilde değerlendirebilecek sistem seçimleri yapılmıştır. Bu seçimlerin bir araya getirildiği senaryolar oluşturularak binanın NSEB dönüşümü yapılmıştır.

ÖİM binasının enerji analizi yapıldıktan sonra önerilen değişiklikler kapsamında gerçekleştirilebilecek iyileştirmeler incelenmiştir. Bu nedenle iyileştirme çözümleri sadece mevcut bir binada yapılabilecek iyileştirmeleri kapsamaktadır. Bina kütlelerinin ısı depo olarak kullanılması, binanın yeri, binanın konumu, binanın yönü, binanın formu, hacimlerin yerleştirilmesi vb. bina sıfırdan yapılırken yapılması gereken çözümleri kapsamamaktadır. ÖİM binasının NSEB binaya dönüştürülebilmesi için önerilen stratejiler pasif yaklaşım, enerji verimliliği yaklaşımı ve yenilenebilir enerji yaklaşımı olmak üzere üç gruba ayrılmıştır.

Stratejilerin oluşturulmasında bina ihtiyaçları göz önüne alınmıştır. Isıtma ve soğutma ihtiyacı binada çalışan personel, eğitim amaçlı gelen öğrencilere yönelik konforun sağlanması için temel unsurlardır. Binada kullanılan çok sayıda cihaz ve aydınlatmalar için elektrik ihtiyacı da önemli unsurlardan birisidir. Binada sıcak su ihtiyacına yönelik

incelenen projelerde bir tüketim görülmediği için stratejilerin oluşturulmasında bu konu dikkate alınmamıştır. Ayrıca bina mimari projesinden görüldüğü üzere merkezi bir havalandırma sistemi bulunmamaktadır. Binada bulunan hacimlerin doğal havalandırmasının yapıldığı görülmüş ve enerji tüketimine eklenen bir unsur olmamıştır.

Bu stratejilerin sonucunda birincil enerji kaynaklarının bina tarafından tüketimini ciddi ölçüde düşürecek ama ekonomik gerçeklere bağlı kalınarak uygulanabilir olması en önemli durumu oluşturmaktadır. Stratejilerin oluşturulmasında uygulanabilirliği en yüksek görülen yenilenebilir enerji sistemleri ve yüksek verimli HVAC uygulamalarına yönelinmiştir. Stratejilerin gerçeğe en yakın olabilmesi için ilk yatırım maliyetleri, yıllık enerji tüketim ve üretim bedelleri, yıllık bakım ihtiyacı belirlenmiştir. Bu harcamalar belirlenirken genel kabuller ve bu konuda yapılan projelerin görüşleri dikkate alınmıştır. Fiyatlandırmalar konusunda, gerekli maliyetleri firma katalogları ve fiyat teklifleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Türk Lirası'nın dönemsel değer kayıpları ve değerlerde dalgalanmalar olduğu bilinmektedir. Döviz cinsi maliyet değerlendirmesi bu nedenle daha uygun görülmüştür. Döviz olarak da dünya genelinde en geçerli görülen ve dalgalanmaların fazla yaşanmadığı Amerika Birleşik Devletleri Doları seçilmiştir. Türk Lirası ve Euro cinsi alınan teklifler de bu bağlamda hesapların yapıldığı dönem kurlarından Dolar cinsine çevrilmiştir.

ÖİM binasını NSEB'ye dönüştürme stratejileri izleyen alt bölümlerde tanıtılmıştır ve adlandırılmıştır.

5.1. PASİF YAKLAŞIM STRATEJİLERİ

Pasif yaklaşım stratejisi, enerji tüketimini en aza indirmek için enerji korunumuna önem verilmesi, binanın bulunduğu iklim verilerinden yararlanılması, doğal enerji girdilerinin ve pasif denetim olanaklarının değerlendirilmesi ve kullanılmasıdır. Bina geometrisinin doğal kaynaklardan ve pasif denetim mekanizmalarından maksimum istifadeyi sağlayacak biçimde olması, pasif ısıtma, soğutma, havalandırma ile doğal

aydınlatma tekniklerinin uygulanması ve enerji kullanan aktif sistemlerinin müdahalesini geciktirme, en aza indirme ya da tamamen ortadan kaldırma çabası olarak özetlenebilir. Diğer bir ifadeyle, pasif tasarım; binanın site alanındaki güneş ışığı, rüzgar, bitki örtüsü ve var olan diğer doğal kaynaklara dayanan, ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma sistemlerinin tasarımıdır. Pasif tasarım; enlem, boylam, güneşlenme, nemlilik, yıllık rüzgar kuvveti ve yönü, ağaçların ve bitki örtüsünün varlığı ve diğer binaların varlığı gibi pek çok faktöre bağlı olduğundan karmaşıktır. Optimum bir pasif tasarım, ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma enerji maliyetlerini önemli ölçüde düşürebilmelidir.

Bu kısımda yapılan çalışmada, varolan binanın satın alınan enerjiyi kullanan aktif iklimlendirme sistemlerine getireceği yükü minimize edecek şekilde amaçlanmıştır. İlk önlem, binanın atriumunda tespit edilen büyük ısı yüklerini kaldırmak için yapay şelale yapılması ve doğal havalandırma ile iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

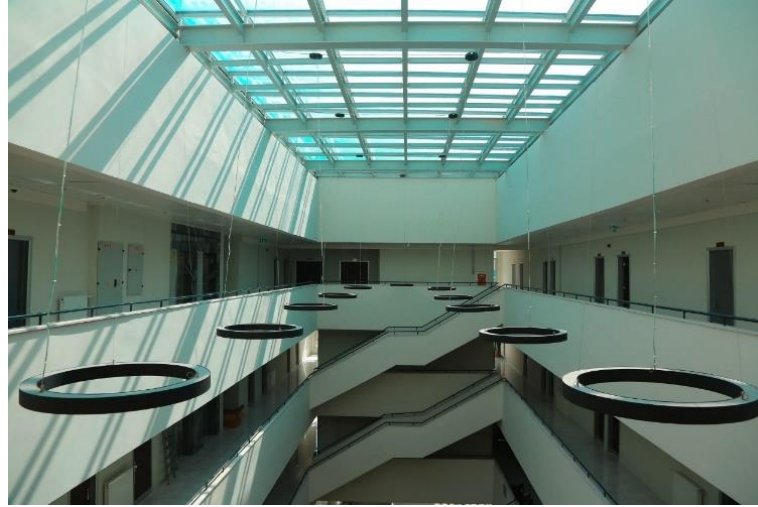
5.1.1. Pasif Evaporatif Soğutma Sistemi

Çeşitli işlevlerde inşa edilmiş mekanlarda iç ortam havasının sıcaklık, temizlik, tazelik miktarlarını konfor koşulları seviyesine ulaştırmak ve mahallerdeki kirli havanın temiz ve taze hava ile değişimini sağlamak amacıyla yapılan doğal veya mekanik her türlü işlem havalandırma olarak tanımlanmaktadır. Canlıların en temel yaşam faaliyeti olan solunum gereksinimlerini karşılamaları, iç mekanda rahatsızlık oluşturan kirleticilerin ve bu kirleticilerin sağlığa zararlı etkiler oluşturacak düzeyde bulunmaması ile sağlanmaktadır. Mimarlık paradigması kapsamında değerlendirildiğinde havalandırma koşullarının olumsuz olduğu durumların sürekliliği binanın iç ortam ile çevresini kirleten bir faktör olarak yapının kendisini bir kirletici ögesine dönüştürmektedir [69].

Havalandırma, taze havayı içeriye almak, nemli ve kirli havayı dışarıya atmak, bazen de soğutmak için gereklidir. Pasif havalandırma, havanın bina cephesindeki açıklıklardan, bina çevresindeki doğal rüzgar akımı ve ısı farkları sayesinde dışarıya atılmasıyla gerçekleşir. Daha ayrıntılı bir şekilde açıklamak gerekirse, pasif havalandırma; pencereler ve kapılar gibi bina açıklıklarından, rüzgar basıncından ve

iç ortam ile dış ortam arasındaki ısı farklarından dolayı oluşan kontrollü hava hareketi ya da rüzgar ve ısıdan dolayı meydana gelen basınç farklılıklarının oluşturduğu, bina cephesindeki istemsiz açıklıklardaki kontrolsüz hava akımı kullanılarak yapılabilir. Pasif havalandırma sisteminin tasarımını ve performansını belirlemek zordur. Sağlanan havalandırma oranları hakim olan rüzgarın yönü ve rüzgar yönündeki mevsimsel ve günlük değişimler, ortalama rüzgar hızı, bina şekli, çevredeki arazi şekli ve bitki örtüsü gibi faktörlere bağlıdır [69].

Analizlerden elde edilen veriler ışığında, Şekil 4.55-4.56’da gösterildiği gibi, tüm bina alanları soğutma ve ısıtma yükleri Revit programı tarafından hesaplanmıştır. Çoğu alanların tipi ofis olurken bu ofislerin ortasında yer alan atrium alanı bulunmaktadır. Atrium 2.bodrumdan ve çatıya kadar devam edip, Şekil 5.1’de görüldüğü gibi, 24 m yüksekliğindedir. Atrium, katlar ve ısıl bölgeler arasında sirkülasyonu sağlayacak biçimde tasarlanmıştır. Çelik ve camdan oluşan örtü sistemi çatı kotunda çıkıntı yaparak mekanın gün ışığı almasına olanak tanımaktadır.

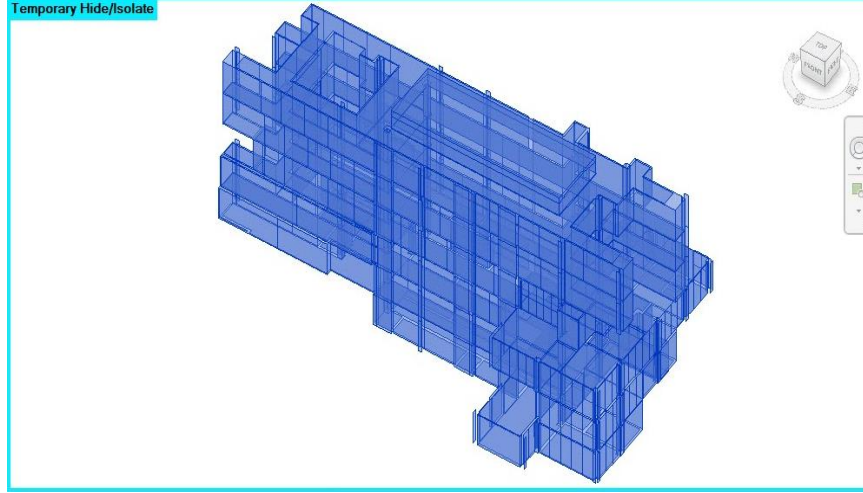




Şekil 5.1. ÖİM binası iç mekan görünümü.

ÖİM Bina enerji performansı çalışmasında atrium alanı tampon bölge olarak kullanıldığından kış aylarında ofis mekanlarından daha düşük sıcaklıkta ısıtılması öngörülmüştür. Yaz döneminde ise pasif soğutma sistemlerinden yararlanılmak üzere atriumda herhangi bir soğutma sistemi tanımlanmamıştır. Şekil 5.2’de verildiği gibi, en yüksek yük değerleri pik ısıtma yükü 38,918 kW ile ve pik soğutma yükü 107,401 kW ile atrium alanına aittir.

Analytical Spaces (1)	
Identity Data	
Room Name	Koridor 257
Phasing	
Phase	New Construction
Energy Analysis	
Peak Heating Load	38918.90 W
Peak Cooling Load	107401.80 W
Peak Latent Cooling Load	1775.56 W
Space Type	Corridor/Transition
Occupancy Load	1318.82 W
Lighting Load	10674.05 W
Power Load	6404.43 W
Heating Set Point	21.11 °C
Cooling Set Point	23.89 °C
Humidification Set Point	0.0000%
Dehumidification Set Point	70.0000%



Şekil 5.2. Atrium alanında ısıtma ve soğutma yükleri.

Atriumun tüm bina sisteminin enerji tüketiminin azaltılmasını sağlayabilmesi ve kullanıcı konforuna katkıda bulunabilmesi aşağıda yer alan başlıklar göz önünde bulundurularak yapılacak bir tasarımla gerçekleştirilebilir [70];

- Pasif ısıtma; direkt kazanım ve ısının depolanması,
- Pasif soğutma; atrium ve çevresindeki mekanların atriuma komşu yüzeylerinin direkt gün ışığına karşı gölgeleme önlemlerinin alınması,
- Havalandırma; doğal havalandırma sağlayarak ısıtma istenen dönemde ısının ana mekanlara aktarılması, ısıtmanın istenmediği dönemde direkt güneş ışınımı etkisiyle oluşan aşırı ısının dışarıya atılması,
- Mikro klima; nemin ve taze havanın sağlanmasında bitki ve su ögesinin kullanılması.

Bu bölümde önerilen strateji, Kanada'da yapı kabuğunda pasif sistemler kullanılmış olan mevcut binadan esinlenilmiştir. Bu yapının tasarımcıları pasif bir dizayn ve doğal bir havalandırma fikrine bağlı kaldıklarını ifade ederek, Kuzey Amerika'nın enerji açısından en verimli binalarından biri olduğunu belirtmişlerdir.

Manitoba Hydro binası, rüzgar, jeotermal ve pasif güneş enerji uygulamaları ile %64 oranında enerjiden tasarruf sağlamaktadır. Yapı kullanıcı konforunu etkilemeden, enerji verimliliğini üst düzeyde sağlayabilmek için güney tarafına kış bahçesi, doğal

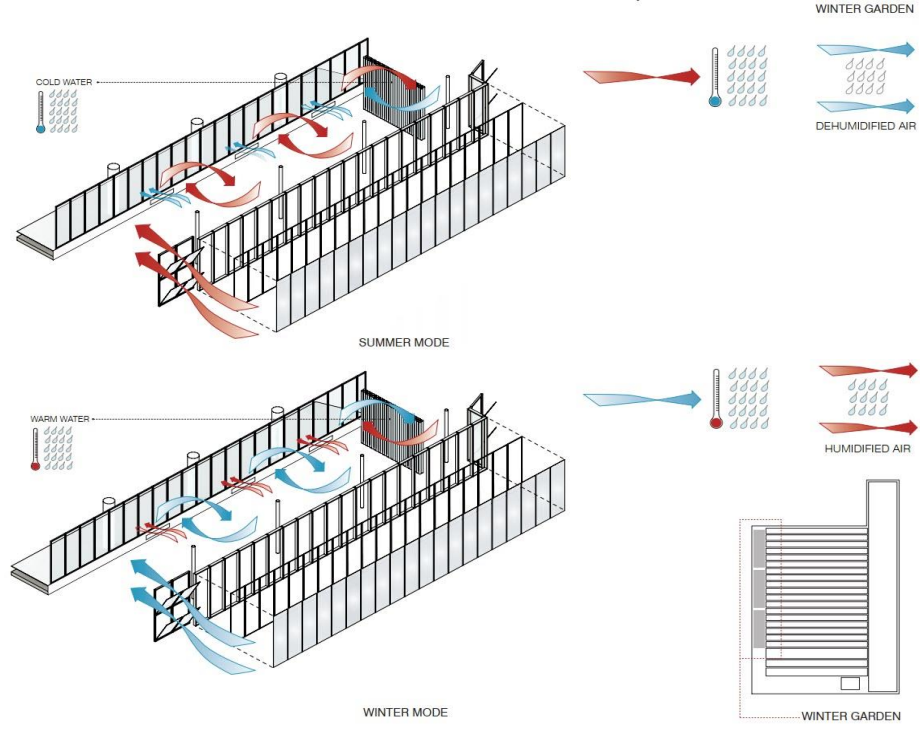
aydınlatma ve güneş bacası ve gibi pasif sistemleri kullanarak enerji kullanımını en az seviyeye çekmeyi hedeflemiştir. Yapı Leed platinyum sertifikasına sahiptir [71]. Manitoba Hydro binasının görünümü Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Manitoba Hydro ofis binası genel görünüm ve uygulanan havalandırma, ısıtma ve soğutma sistemi [71].

Binanın güney tarafındaki cephede var olan kış bahçesi 24 m yükseklikindedir ve pasif iklimlendirme görevini oluşturmaktadır. Kış aylarında güney taraftaki cepheden giren taze havalar ofislere gelmeden önce güneş tarafından ısıtılmakta ve su özelliği sayesinde nemlendirilmesi sağlanmaktadır [71]. Binanın güney cephesinde atrium bahçesi görünümü ve yaz/kış durumu şeması Şekil 5.4'te verilmiştir.





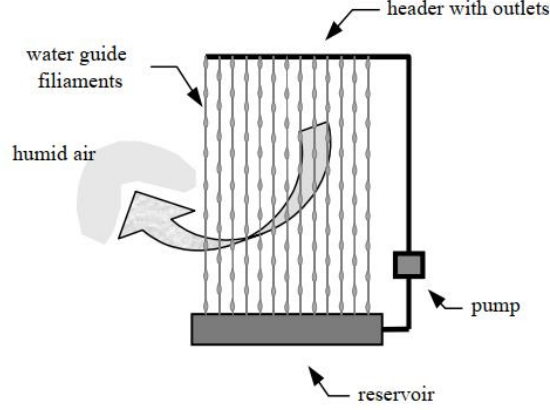
Şekil 5.4. Güney cephesinde atrium bahçesi görünümü ve yaz/kış durumu şeması.

Atriumlu binaların hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik çözüm önerileri kirletici kaynak kontrolü, doğal ve mekanik havalandırma ile olabilmektedir. Tez çalışmasında ele alınan Karabük ili hava kirlilik miktarının yüksek olduğu iller arasında yer almaktadır. Bu aşamada dış ortam havası dikkate alındığında yapının öncelikle doğal havalandırma kriterleri göz önünde bulundurularak tasarlanması çok önemlidir.

Atrium mekanları içerisinde sıkça tercih edilen su ögesi, sıcak ve kuru iklimlerde ısı konforu ile nem düzeyi arasındaki dengeyi sağlamak amacıyla kullanılan hem fonksiyonel hem de görsel bir unsurdur. Çalışmada kullanıcı konfor koşullarının sağlanmasında iklimsel ve görsel konfor şartları dikkate alınarak atrium alanı sürdürülebilir bir şekilde sağlayabilmek için yapay şelale modellenmiştir.

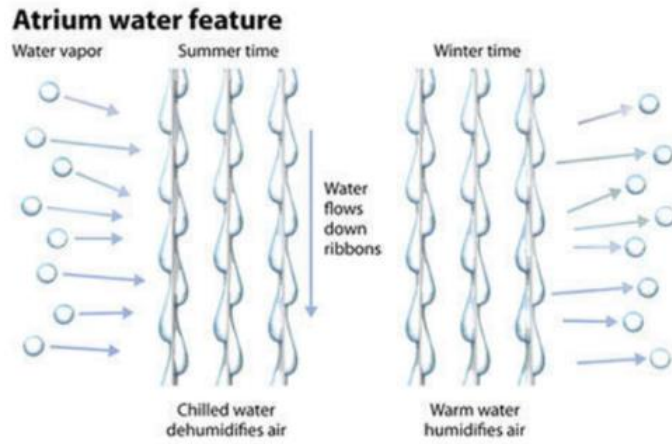
Şekil 5.5'te gösterilen yapay şelale, atrium içinde yerleştirilmiş bir dizi şeritten oluşur. Demetlerin arasında hareket eden hava, ısıyı emdikçe soğuk su tarafından soğutulabilir veya istenen etkiye bağlı olarak ısıyı yayarken sıcak su tarafından ısıtılabilir. Bu demetlerin sıralı olmasının amacı perde şeklini aldığı anda su ile ortam havası maksimum yüzey alanına ulaşmasıdır. Sistemin alt kısmındaki bir pompa yardımıyla

su basınçlandırılarak nozullardan akan su zerreciklerinin buharlaşmasıyla hava akımı soğumaktadır.



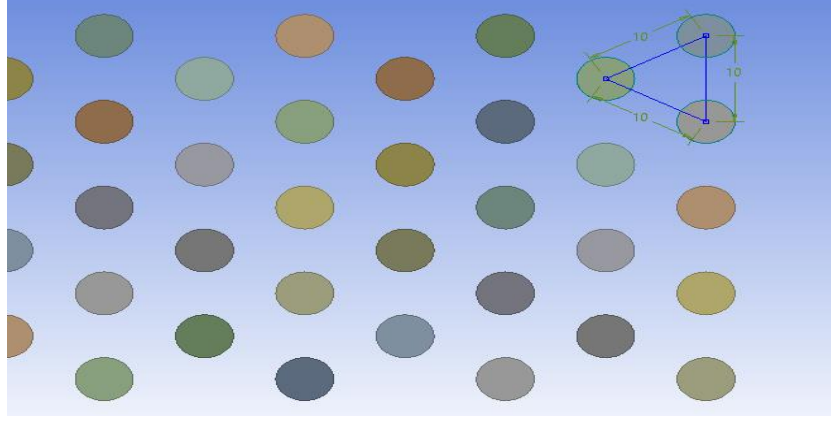
Şekil 5.5. Yapay şelale sistemi gösteren şematik diyagramı.

Bu stratejinin temeli, Şekil 5.6’da görüldüğü gibi, çığ noktası altındaki soğutulmuş su kullanılmasıyla ortam havasının özellikleri değişmektedir. Yaz mevsiminde sıcak ve nemli bir ortamda hareket eden soğuk sular yoğuşma işlemi yapmaktadır. Böylece şelalenin sınır tabakasındaki nemli hava yoğuşur. Öteki taraftan kış mevsiminde tam tersi işlem gerçekleşir. Atrium içindeki kuru hava şelaleden gelen sıcak su vasıtasıyla buharlaşır. Atriumda tam bir pasif sistem oluşur. Başka bir ifade ile sistemin mantığı iklimlendirme işlemleri ile aynıdır ancak ilave enerjiye ihtiyacı yoktur.



Şekil 5.6. Atriyum su özelliği.

Modellenen sistem, Şekil 5.7’de gösterildiği gibi eşit aralıklarla 5 sıra halinde 25 tane boru demetinden oluşmaktadır. Demetlerin çapı ise 5 mm’dir.



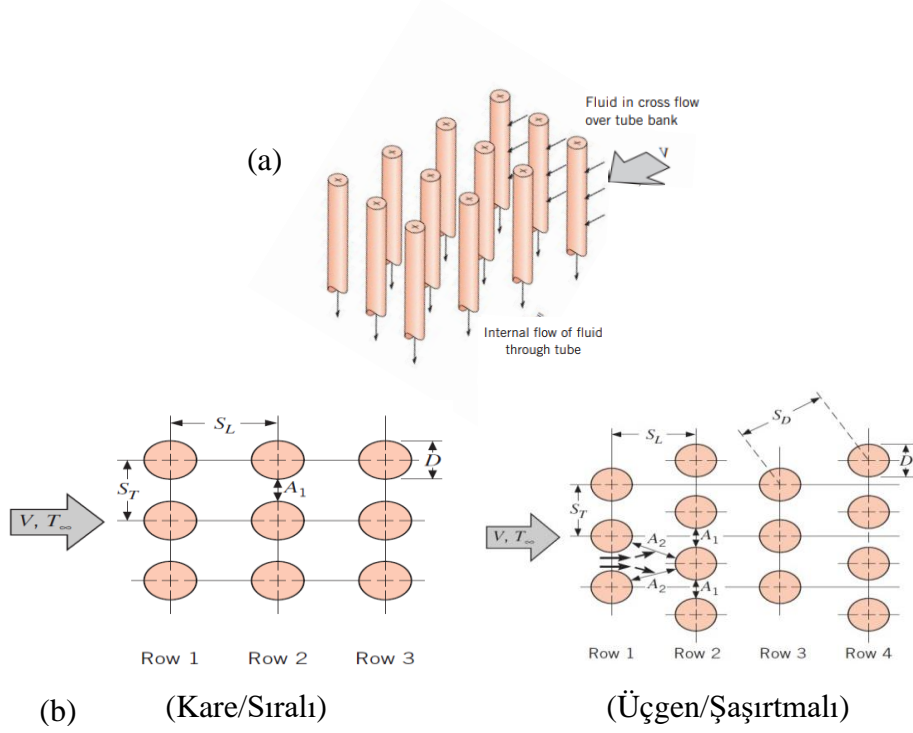
Şekil 5.7. Sistemin üst kesiti.

Bu tip sistemler üzerinde yapılan çok fazla çalışmalar bulunmamaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, pasif evaporatif soğutma sistemi kullanılarak binanın termal davranışını tahmin etmek için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Zahra Giabaklou v.d. [73] araştırma çalışmasında sistemin ısı ve kütle transferinin miktarını belirlemek için matematiksel bir hesaplama aracı sunmuşlardır. Başka çalışmalarda değişik iklimlendirme işlemlerinin çözümlenen termodinamik özellikler psikrometrik diyagram üzerinde gösterilmiştir.

5.1.2. Pasif Sistemin Isı ve Kütle Transfer Analizi

Analizdeki sistemin verimliliğini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar ortalama ısı taşınım katsayısı " h " ve ortalama kütle transfer katsayısıdır " m ". Sistemdeki suyu taşıyan şeritler silindirik boru olarak varsayıldığında, ısı transferinde kullanılan iki akışkandan birinin bir kanal içinde aktığı durumda diğerinin o kanal üzerinden serbestçe aktığı sistemlerde karışan ısı değiştiricileridir. Boru demeti üzerinden su akışı çapraz hava akışı ile toplam ısı transfer katsayısının bulunması için ısı taşınım katsayısı hesaplanmıştır. Daha sonra, "logaritmik ortalama nem oranı farkı" kullanarak kütle transfer katsayısı hesaplanıp sistem verimliliği belirlenmiştir.

Çapraz akışlı sistemlerde boru demeti üzerinde yukarıdan aşağı inerken hava akımı yatay veya çaprazdır. Boru demetleri bir eşkenar üçgen şeklinde veya kare şeklinde olabilir. Boru demetleri Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar üçgen düzenin kare düzenlemeden daha etkili olduğunu (daha büyük ısı geçiş katsayıları) göstermiştir.



Şekil 5.8. a) Çapraz akışlı bir boru demeti şeması b) Üçgen ve kare düzenlemeleri.

Literatürde, boru demetleri üzerinden olan çapraz akışta ortalama Nusselt sayılarını veren birçok farklı bağıntı bulunmaktadır. Bu konuda en geçerli bağıntılar Zhukauskas’ın [73] deney sonuçlarından elde ettikleridir. Ortalama Nusselt sayıları, Zhukauskas’ın düzgün sıralı boru demeti için verdiği aşağıdaki Eş. (5.1)’deki formüller kullanılarak bulunabilmektedir. Bu denklem boyuna en az 16 adet borudan oluşan boru demeti için geçerlidir. Sonuçlar $\pm 15\%$ belirsizliğe sahiptir [72].

$$\overline{Nu}_D = C Re_{D_{max}}^m Pr^{0.36} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{1/4} \quad (5.1)$$

Burada \overline{Nu}_D Nusselt sayısı, C ve m faktörler, $Re_{D_{max}}$ maksimum Reynolds sayısı, Pr

Prandtl Sayısı, Pr_s ise su sıcaklığında Prandtl sayısını ifade etmektedir. Eş. (5.1)'de kullanılan “ c , m ” faktörlerinin değerleri Şekil 5.9’de belirtilmiştir [72].

Conguration	$Re_{D,max}$	C_1	m
Aligned	$10-10^2$	0.80	0.40
Staggered	$10-10^2$	0.90	0.40
Aligned	10^2-10^3	Approximate as a single (isolated) cylinder	0.63
Staggered	10^2-10^3		
Aligned ($S_T/S_L > 0.7$) ^a	$10^3-2 \times 10^5$	0.27	0.63
Staggered ($S_T/S_L < 2$)	$10^3-2 \times 10^5$	$0.35(S_T/S_L)^{1/5}$	0.60
Staggered ($S_T/S_L > 2$)	$10^3-2 \times 10^5$	0.40	0.60
Aligned	$2 \times 10^5-2 \times 10^6$	0.021	0.84
Staggered	$2 \times 10^5-2 \times 10^6$	0.022	0.84

Şekil 5.9. Farklı konfigürasyonlar için “ C ve m ” şekil faktörlerinin değerleri.

Maksimum Reynold sayısı “ $Re_{D,max}$ ” Eş. (5.2)’deki gibi ifade edilmektedir [72];

$$Re_{D,max} = \frac{\rho V_{max} D}{\mu} = \frac{V_{max} D}{\nu} \quad (5.2)$$

Burada, “ ρ ” (kg/m^3) yoğunluğu, “ V_{max} ” (m/s) maksimum hızı, “ μ ” ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$) dinamik viskoziteyi, “ D ” metre cinsinden dairesel kesitli borunun çapını, “ ν ” (m^2/s) ise kinematik viskoziteyi ifade etmektedir.

Prandtl Sayısı (Pr) Eş. (5.3)’deki gibi hesaplanmıştır [72]:

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (5.3)$$

Burada, “ k ” (W/mK) ısı iletim katsayısını, “ μ ” ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$) dinamik viskoziteyi, “ C_p ” ($\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$) ise özgül ısıyı ifade etmektedir.

Düzgün sıralı boru demetinde, maximum hız borular arasında oluşur ve sıkıştırılmaz bir akışkan için kütle korunumu ilkesinden hesaplanabilmektedir. Şaşırtmalı diziliş halinde, akış geometrisine bağlı olarak, maksimum hız akışa dik yöndeki iki boru sırası arasındaki kesitte veya diyagonal kesitte meydana gelir. Hangi kesit daha küçük

ise o kesitte maksimum hız oluşacaktır. Eğer dar kesit iki boru arasındaki kesit ise maksimum hız Eş. (5.4) ile eğer dar kesit diyagonal kesit ise maksimum hız Eş. (5.5) ile hesaplanabilmektedir [72].

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_D - D} V_{giris} \quad (5.4)$$

Burada, “ S_T ” (m) dik yöndeki iki boru sırası arasındaki mesafeyi, “ V_{giris} ” (m/s) ise hava hızını ifade etmektedir.

$$V_{max} = \frac{S_T}{2(S_D + D)} V_{giris} \quad (5.5)$$

Burada, “ S_D ” (m) iki boru arasındaki diyagonal mesafeyi ifade etmektedir.

Taşıyım ile gerçekleşen ısı transferi katsayısı “ h ” ve “ Nu ” değerleri ısı sistemlerinin performansını belirleyebilmek ve yorumlayabilmek için kullanılan en önemli verilerdir. Taşıyım ile ısı transferi katsayısı “ h ” ortalama Nu değerinden Eş. (5.6) ile hesaplanmıştır [72];

$$\bar{h} = \overline{Nu} \frac{k}{D} \quad (5.6)$$

Log-ortalama nem oranı farkı kullanılarak yüzeyde kütle transfer katsayısı yazılacak olursa [73];

$$\dot{m}_b = K_m A_w \left(\frac{W_i - W_o}{\ln \left[\frac{W_s - W_o}{W_s - W_i} \right]} \right) \quad (5.7)$$

Burada, “ \dot{m}_b ” (g/s) kütle transferin oranını, “ K_m ” (g/s.m²) kütle transfer katsayısını, “ A_w ” (m²) su alanını, “ W_i ” (kg_{su}/ kg_{hava}) giriş nemini, “ W_o ” (kg_{su}/ kg_{hava}) çıkış nemini, “ W_s ” ise (kg_{su}/ kg_{hava}) doyumluk nemini temsil etmektedir.

Eşitlik (5.7)'te kütle transfer katsayısı “ K_m ” aşağıda Eş. (5.8)'deki gibi hesaplanabilmektedir [73];

$$K_m = \frac{\bar{h}}{C_{pm}} \quad (5.8)$$

Burada, “ C_{pm} ” (kJ/kg.K) nemli havanın özgül ısısını ifade etmekte olup Eş. (5.9)'de verildiği şekilde hesaplanabilmektedir.

$$C_{pm} = (1 + W_i) C_p \quad (5.9)$$

Burada, “ C_p ” (kJ/kg.K) sabit basınçtaki özgül ısısı ifade edilmektedir.

Havanın kütleli debi aşağıda Eş. (5.10)'deki gibi hesaplanabilmektedir [73];

$$\dot{m}_{hava} = \rho \dot{V}_{hava} \quad (5.10)$$

Eş. (5.7)'teki “ \dot{m}_b ” kütle transferin oranı yerine “ $\dot{m}_{hava}(W_o - W_i)$ ” formülü kullanılırsa;

$$\dot{m}_{hava}(W_o - W_i) = K_m A_w \left(\frac{W_i - W_o}{\ln \left[\frac{W_s - W_o}{W_s - W_i} \right]} \right) \quad (5.11)$$

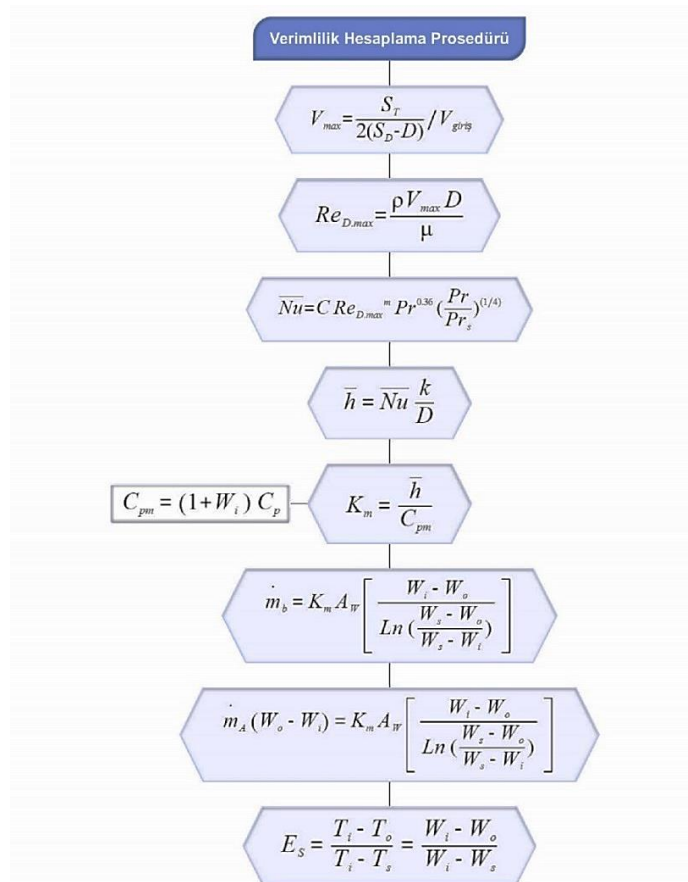
Denklem (5.9)'dan “ W_o ” hesaplanarak, çıkıştaki havanın kuru termometre sıcaklığı “ T_o ” tespit edilebilmektedir. Bunun sonucu olarak pasif sistemin verimliliği aşağıda Eş. (5.12)'daki gibi ifade edilmektedir [73];

$$E_s = \frac{T_i - T_o}{T_i - T_s} = \frac{W_i - W_o}{W_i - W_s} \quad (5.12)$$

Burada, “ E_s ” sistemin performans faktörünü, “ T_i ” (K) giren havanın kuru termometre sıcaklığını, “ T_o ” (K) çıkan havanın kuru termometre sıcaklığını, “ T_s ” (K) ise giren havanın yaş termometre sıcaklığını temsil etmektedir.

Çıkıştaki havanın kuru termometre sıcaklığı, giren havanın yaş termometre sıcaklığına eşit olduğunda hava akışı maksimum soğumasına ulaşmakta olup sistemin performans faktörü ideal olarak 1’e eşittir.

Yapılan hesaplamalar için gerekli olan akışkanların termofiziksel özellikleri literatürdeki çalışmalardan alınan ve bir önceki bölümde belirtilen modeller kullanılarak, EES (Engineering Equation Solver) programı ile hesaplanmıştır. EES Professional v10.5 programı vasıtasıyla elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunularak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Tüm bu süreçler görsel olarak Şekil 5.10’da belirtilmiştir.



Şekil 5.10. Sistemin soğutma verimliliği için hesaplama prosedürü.

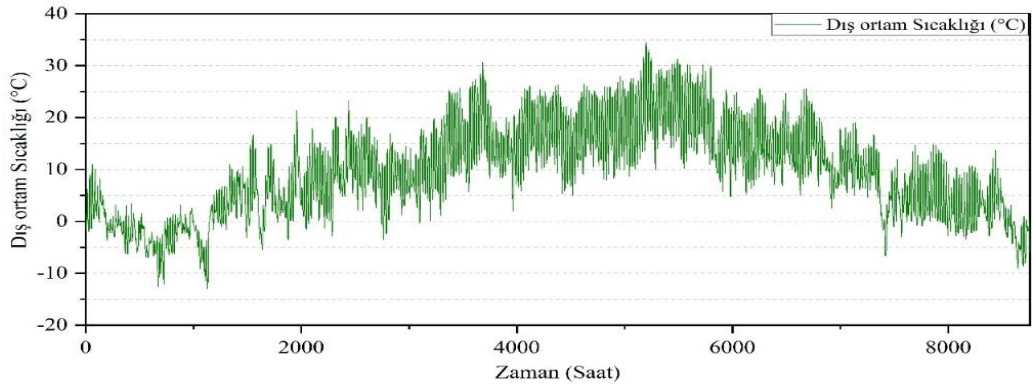
5.1.3. Pasif Sistemin Verimlilik Hesabı ve İç Çevre Koşulları

Autosek Revit tarafından enerji analizi için kullanılan dış ortam koşulları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Verilere göre, kış aylarında en düşük dış ortam sıcaklığının -13°C ve bağıl nemin %89, yaz aylarındaki en yüksek sıcaklığın ise $34,5^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nemin %22 olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.1. Karabük ikliminin en yüksek/düşük sıcaklık değerleri [74].

Karabük	T_{kuru} ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{\text{yaş}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	Bağıl nem (%)	Basınç (mb)	Rüzgar Yönü ($^{\circ}$)	Rüzgar Hızı (m/s)
Yaz (05/Ağustos)	34.5	10.7	22	914	7	4.7
Kış (17/Şubat)	-13	-14.4	89	918	189	4.8

Karabük bölgesinde bir yıl boyunca (1/Ocak 1:00 ile 31/Aralık 24:00 arası) saatlik dış ortam sıcaklığı verileri Şekil 5.11’deki gibi gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Bir yıl için saatlik dış ortam sıcaklığı değerleri.

Sistemde yer alan akışkanların termodinamik özellikleri, sistemin ölçüleri ve sınır şartları Çizelge 5.2’de özetlenmiştir.

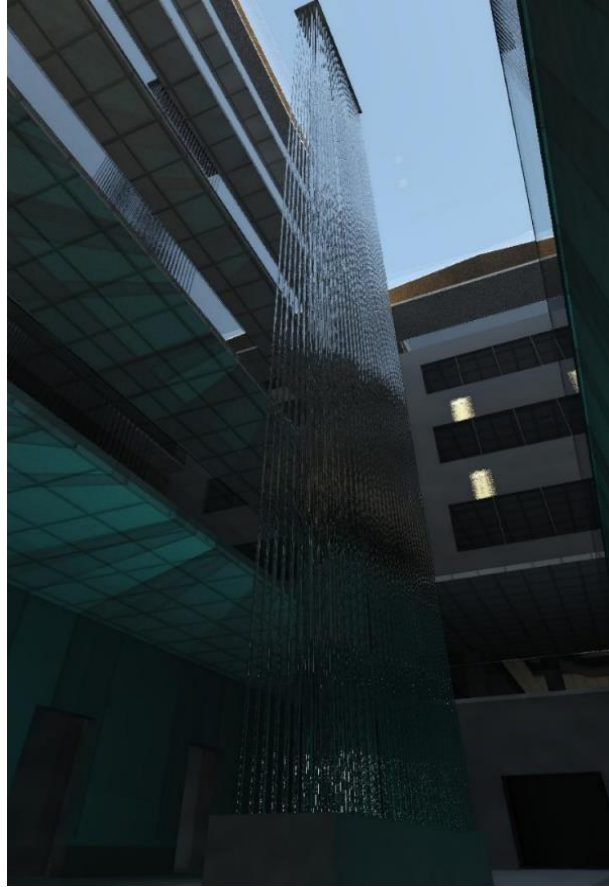
Çizelge 5.2. Akışkanların termodinamik özellikleri [75].

Akışkan	T ($^{\circ}\text{C}$)	ρ (kg/m^3)	C_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$)	K ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	μ ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)	Pr
Hava	34.5	1.1478	1006.7	0.026673	1.8891E-5	0.71298
	-13	1.3581	1005.4	0.023060	1.6579E-5	0.72286
Su	20	997.78	4076.4	0.60475	9.7720E-4	6.5870
	35	993.59	4068.5	0.62614	7.0057E-4	4.5521

Çözümü yapılan boru demetleri 0.005 m çapında ve 24m uzunluğundadır. Diziliş biçimlerinin enine ve boyuna uzunlukları (S_T ve S_D) 0.01 ve 0.01'er m'dir. Akış yönünde 5 sıra ve her bir sırada 25 boru olmak üzere toplam boru sayısı 125'tir. Sıralı ve şaşırtmalı dizilimlerde her bir model için karakteristik değerler değiştirilmemiştir. Sistemin ölçüleri Çizelge 5.3'te ve 3D model görseli Şekil 5.12'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Pasif soğutma sistemin ölçüleri.

Pasif soğutma sistemi için giriş parametreleri		
Yüksekliği (m)	H_{sistem}	24 m
Boru çapı (mm)	D_{boru}	5 mm
Dik aralığı (m)	S_T	0,01 m
Diyagonal aralığı (m)	S_D	0,01 m
Hava hızı (m/s)	V_{hava}	0,1 m/s
Sütun sayısı	$N_{sütun}$	25
Satır sayısı	$N_{satır}$	5



Şekil 5.12. Yapay şelale 3D modelin görseli.

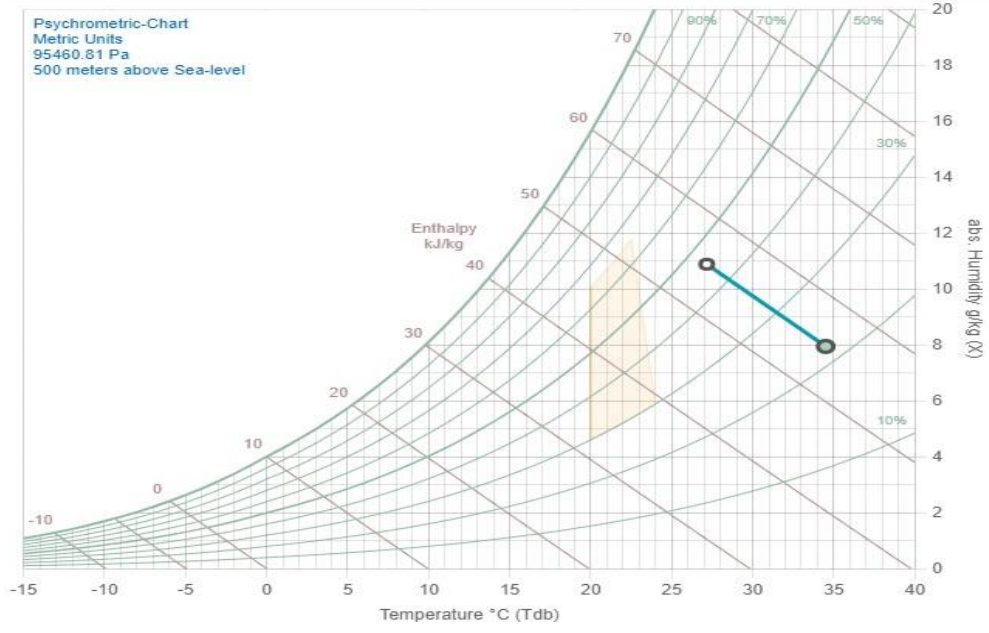
Sonuç olarak yukarıda belirtilen haller için farklı dış ortam sıcaklığı, akışkanların farklı hız değerleri, farklı boru çapları ve akış düzenleme durumlarına göre hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar daha önce anlatılan EES programı sayesinde hızlı ve hassas bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle analitik modeli çözmek için demetlerin arasındaki maksimum hız hesaplanmış ve daha sonra ise maksimum hıza bağlı Re değeri Eş. (5.2) kullanılarak tespit edilmiştir. Bulunan Reynolds sayısı Şekil 5.9’da şaşırtmalı diziliş için verilen korelasyon ile Nusselt sayıları bulunmuştur. Şekil 5.10’daki prosedüre göre ilgili denklemler kullanılarak elde edilen sonuçların değerleri Çizelge 5.4’te sunulmuştur.

Çizelge 5.4. Pasif soğutma sistemin ölçüleri.

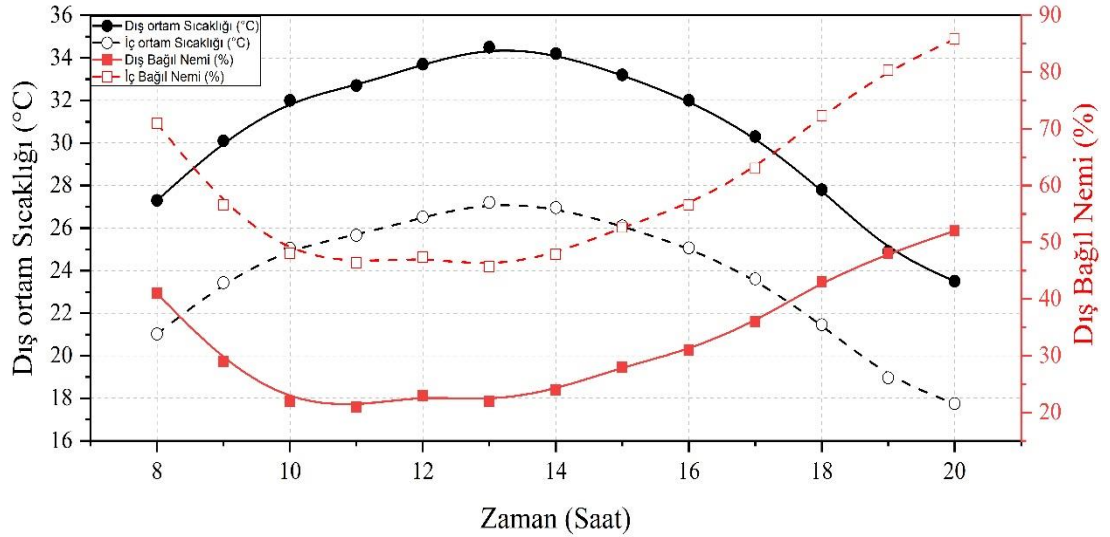
Havanın maksimum hızı	V_{maks}	0,47 (m/s)
Maksimum Reynold sayısı	$Re_{D,maks}$	14,33
Ortalama Nusselt sayısı	\overline{Nu}_D	1,924
Isı transfer katsayısı	\bar{h}	10,27 (W/m ² K)
Kütle transfer katsayısı	K_m	0,01012 (g/s.m ²)
Hava kütleli debi	\dot{m}_a	1,148 (kg/s)
Kütle transfer oranı	\dot{m}_b	0,003434 (g/s)
Hava çıkış nem oranı	W_o	10.9 (g/kg)
Hava çıkış sıcaklığı	T_o	27,21 (°C)
Performans faktörü	E_s	0,35

Bu işlem esnasında havanın kuru termometre sıcaklığını ortalama 7,29 °C düşürdüğü tespit edilmiştir. Giriş sıcaklığı arttıkça sıcaklık farkının ve bağıl nem farkının arttığı tespit edilmiştir ve Şekil 5.13’te psikrometrik diyagram üzerinde gösterilmiştir. Nemlendirici veriminin ortalama %35 olduğu görülmüştür. Maksimum çıkış bağıl nemi % 45,89 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.13. Psikrometrik diyagramda havanın pasif soğutma işlemi.

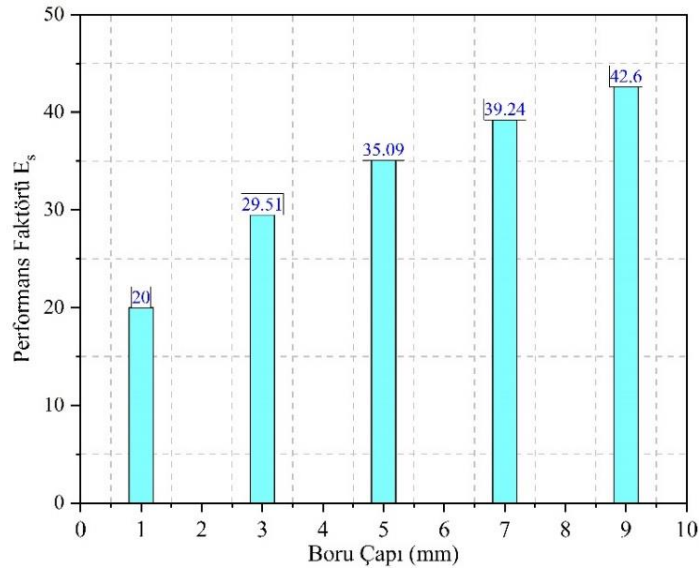
Bir gün boyunca sistemin performansını incelemek için yaz aylarında 05 Ağustos tarihini seçilmiştir. Ölçümler saat 8:00 AM - 8:00 PM arasında Autodesk Revit programından alınmıştır. Sistemin analitik sonuçları Şekil 5.14'te verilmiştir.



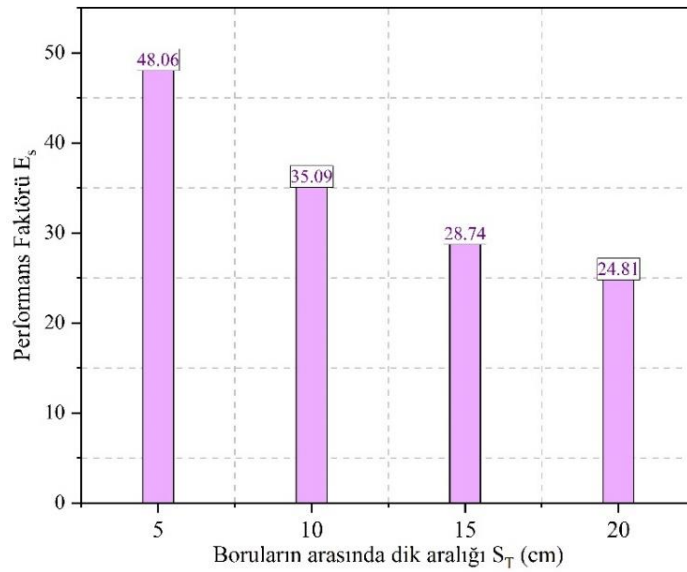
Şekil 5.14. Ağustosun 5. gününde 8 AM ile 8 PM arasındaki sistemin çıktıları.

Sistemin performansı yükseltilerek çıkış bağıl nemi yükseltilebilir. Buna karşılık çıkış kuru termometre sıcaklığı biraz daha düşürülebilir. Performans faktörünü etkileyen

birçok parametreler bulunmaktadır. Boru çapı arttıkça buna bağlı olarak “ A_w ” su alanı da artış gösterdiğinden dolayı boru çapı sistemin performansı ile doğru orantılı olarak değişmiştir. Borular arasındaki farklı mesafe değerleri incelendiğinde/dikkate alındığında sistemin performansı ile bu mesafeler arasında ters orantı olduğu görülmüştür. ORIGINPro 2018 programı vasıtasıyla elde edilen sonuçlara ait grafikler Şekil 5.15-5.16’da belirtilmiştir.



Şekil 5.15. Farklı boru çaplarına bağlı olarak performans değerlerinin değişimi.



Şekil 5.16. Farklı boru aralıklarına bağlı olarak performans değerlerinin değişimi.

Pasif soğutma sisteminin sıcak ve kuru iklime sahip Karabük ilinde konfor şartlarını sağlayacak düzeyde olduğu ve düşük enerji tüketimleri ile yazın enerji sorununa olumlu katkı sağlayabilecekleri görülmüştür. Bu tür sistemler, açık alanlarda, atölyelerde, restoranlarda ve toplantı salonlarında kullanılarak iç ortam sıcaklığı düşürülerek konforlu mahaller oluşturulabilir.

5.2. ENERJİ VERİMLİ SİSTEMLERİN STRATEJİLERİ

Net sıfır enerjili binalardaki verimli sistemlerin stratejilerinden bahsetmek gerekirse, HVAC sistemleri, yapay aydınlatma, verimli elektronik cihaz ve yenilenebilir enerji bazlı cihazların dikkate alınması gereken temel unsurlar olduğu açıktır. NSEB’larda her türlü iklim koşulunda ısı konfor sağlamak için, iklimlendirme sistemleri yüksek verimli sistemlerden seçilmeli ve seçilen HVAC sistemi gelişmiş bir kontrol sistemi ile entegre edilmelidir. Etkili bir bina yönetim sistemi, daha verimli çalışması için verimli sistemleri beraberinde getirir [76].

ÖİM binası bir ofis yapısı olduğu için bina içinde ihtiyaç duyulan taze hava miktarı yoğunluğu çok yüksek olmayacak, seçilen HVAC sistemi karışım havalı olacaktır. Karışım havalı sistemler, tam havalı sistemlere göre, içeride hali hazırda şartlandırılmış havayı filtre edip tekrar içeri verdiği için, daha ekonomiktir. Ancak bu bir seçim değil, tasarım koşullarının ortaya çıkardığı bir durumdur. Bu nedenle farklı HVAC sistemlerinden, Fan-Coil (FCU) sistemi ve su kaynaklı ısı pompası (WSHP) sistemi incelenmiştir. Seçilen sistemler, binanın kullanım amacı, kullanım sıklığı, bina genel ve mimari özellikleri baz alınarak uygulanabilirliğine karar verilmiştir. ÖİM binası için halihazırda kurulan sistem Değişken Soğutucu Akışkan Hacimli Sistemler (VRV) olup bina için uygulanabilecek HVAC sistemleri aşağıda açıklanmıştır.

5.2.1. Değişken Soğutucu Akışkan Hacimli Sistemler (VRV)

VRV sistemleri, değişken devir teknolojisinin gelişmesi ile önem kazanmış ve günümüzdeki yaygın kullanımlarına ulaşmışlardır [77].

(Variable Refrigerant Volume) kelimelerinin baş harflerinden oluşan “VRV”, Değişken Debili Soğutucu Akışkan Hacimli klima sistemi anlamına gelmektedir. Dış ortama yerleştirilen bir dış ünite ile gaz akış dağıtıcılarının yardımı ile birden çok iç ünitenin birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebildiği direkt genleşmeli klima sistemleridir. VRV klima sistemleri, gelişmiş kontrol ve akış denetim üniteleriyle donatılmıştır. Gerekli kadar soğutucu akışkan doğru faz ve doğru zamanda ihtiyaç duyulan yere sevk edilerek ısıtma ve soğutmada kullanılması sağlanmaktadır.

VRV klima sistemlerinin kullanım alanları;

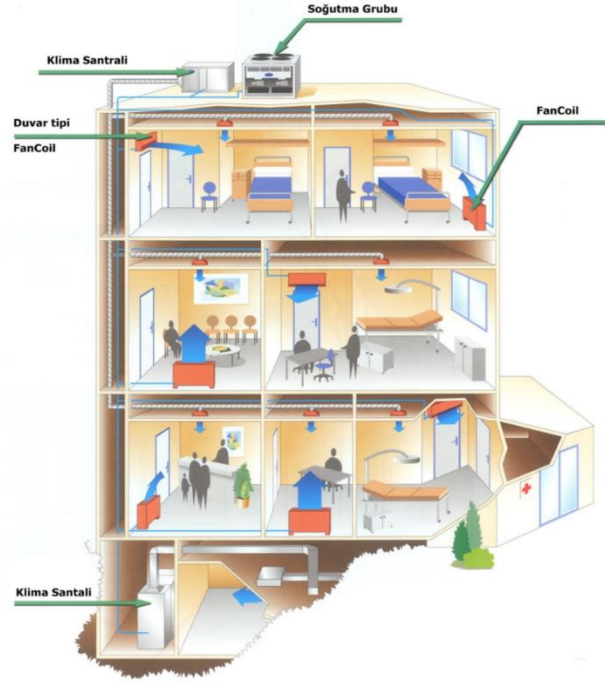
- Cam giydirme cepheli binalar, mimari unsurların ön planda olduğu ya da dış cephesinde deformasyon istenmeyen tarihi yapılarda kullanım için uygundur.
- Bina içinde soğutucu gaz borularına göre çok büyük yer kaplayan hava kanallarının geçirilmesinin zor olduğu yapılarda kullanılmaktadır.
- Mekanik tesisata yeterince yer ayrılamayan, soğutucu sistemin açık havaya (çatı, bahçe) konulması gereken yapılarda tercih edilmektedir.
- Her noktasında konfor istenen villalarda kullanım için uygun klima sistemidir.

5.2.2. FanCoil Sistemi

FanCoil sistemlerinin (FCU) popülaritesi; göreceli olarak düşük kalan ilk yatırım maliyeti, kullanım esnekliği ve yüksek ısı güçleri ile başa çıkabilmesi ile basit yerel kontrol ve ufak boyutlarda mekanik mahallere ihtiyaç duyuyor olmasından kaynaklanmaktadır. FanCoil cihazı adından da anlaşılacağı üzere içinde bir adet fan ve bir adet serpantin bulunmaktadır. Ortamın havasını bu fan aracılığı ile serpantinden geçiren cihaz, serpantinde sıcak su var ise ortamı ısıtır, soğuk su var ise ortamı soğutur [78].

Bu tip sistemlerde iklimlendirilen ortamlara merkezi klima santralleri, saatte 1-2 hava değişimini sağlayacak şekilde şartlandırılmış taze hava göndermektedirler. Halbuki tüm havalı sistemlerde klima santralleri saatte 6 veya daha fazla hava değişimi yapmaktadırlar. Bunun sonucu olarak damerkezi ekipman boyutlarında ve hava dağıtım kanallarında bir azalma olur. Mahallerin yerel kontrolleri ise FanCoiller ile

mahallerde bulunan oda termostatları sayesinde sağlanır. Isıtma ve soğutma suyu merkezi kazan ve chillerler vasıtası ile elde edilerek FanCoil üniteleri ve klima santrallerine gönderilir. Klima santralleri mahal için gerektirilen havayı şartlandırarak belirli bir sıcaklıkta içeri üfler. Mahalin ısıtılması ve soğutulması ise FanCoil üniteleri ile yapılır. Aşağıda bu sistemin şematik gösterimi Şekil 5.17’de sunulmuştur.



Şekil 5.17. FanCoil sistemi.

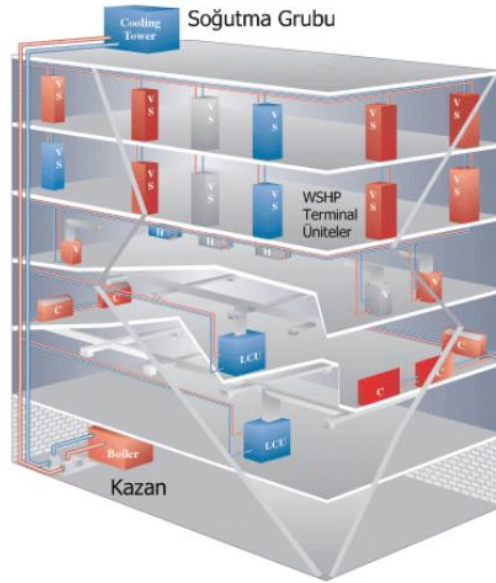
Yapıda taşınan hava miktarı tam havalı sisteme göre daha az olduğundan az yer kaplar. Ancak oda içine konan FanCoil cihazında bir motor olduğundan görece daha gürültülüdür.

5.2.3. Su Kaynaklı Isı Pompası

Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi özünde FanCoil + Taze Hava sistemi ile aynı olup, farkı bina içinde yük transferi yapabilmesidir. Isı pompası sisteminin ısıtma ve soğutma devreleri birbirinden ayrılmaz ve aynı anda çalıştırılır. Her terminal ünite FanCoil’den farklı olarak bir adet kompresör ve gaz devresi bulunur. Yapıda çalışan sistem sıcaklığı tasarımda ara bir değere ayarlanır. Buna göre gerektiğinde kazan,

gerektiğinde soğutma grubu çalışarak, sistem akışkanını istenen sıcaklıkta tutar. Bu arada ısıtma veya soğutma ihtiyacı olan bir oda olduğunda, terminal ünite içindeki kompresörler odanın içindeki ısıyı ana akışkana transfer eder. Sıcaklık farkları herhangi bir hava kaynaklı ısı pompasına göre çok daha az olduğundan COP'leri yüksek olan cihazlardır [78].

Sistemin yer kaplama açısından FanCoil sisteminden bir farkı bulunmamakla birlikte oda içinde fan motoruna ilaveten bir kompresör çalıştığından daha gürültülüdür. Sistemin avantajı yapıda aynı anda soğutma ve ısıtma ihtiyacı olduğunda ortaya çıkar. Diğer sistemlerde böyle bir durumda hem kazan hem soğutma grubu çalışması gerektiği halde bu sistem yapısı gereği, bir odadaki ısıyı diğerine aktarabilmektedir. Aşağıda bu sistemin şematik gösterimi Şekil 5.18 ile sunulmuştur.



Şekil 5.18. Su Kaynaklı Isı Pompası sistemi.

ÖİM binasında kullanılan HVAC sistemlerinde farklı alternatif çözümler ele alınmıştır. Her alternatif çözüm için enerji tüketimi, karbondioksit emisyonları ve maliyetleri hesaplanmıştır. Böylece alternatif çözümlerin net sıfır enerjili kavramına karşılık maliyeti değerlendirilebilmiştir. Bu amaçla Autodesk Revit programında Green Building Studio yardımıyla alternatif sistemlerin simülasyonları yapılmıştır. Simülasyon hesaplarına dahil edilen kısımlar, HVAC ihtiyacından gelen yükler,

aydınlatma ile ofis ekipmanlarından gelen yükler ile pişirme ve ekstra kullanıma ait yüklerden oluşmaktadır. Ayrıca sıcak su kullanımı amacıyla enerji tüketimi hesaplarda dikkate alınmıştır.

Her senaryo için toplam enerji tüketimi değerleri ve HVAC sistemlerin yıllık enerji tüketimleri ortaya çıkmaktadır. Böylelikle verilen kararların sonuçları, sayısal olarak değerlendirilebilmektedir.

ÖİM binası üzerinde alternatif senaryoların denendiği hesaplamalar ve simülasyonların tüm çıktıları aşağıda sunulmuştur. Sonuçlardan elde edilen özet değerler Şekil 5.23'te verilmiştir ve grafikler ile tanımlanmıştır.

5.2.4. FCU Sistemi Senaryosu

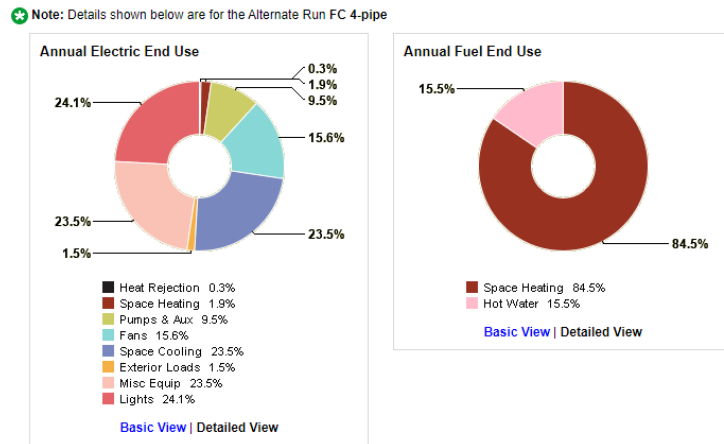
Autodesk Revit aracılığıyla yapılan enerji performans analizleri sonucu referans bina elektrik tüketimi 859.684 kWh, yakıt tüketimi 2.893.054 MJ'dur. ÖİM bina yapısında FanCoil sistemin kullanılması durumunda oluşacak tasarruf oranı ayrı olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle bu iki parametrenin eklenmemiş hali için yapılan enerji performans analizi sonucunda Şekil 5.19'da görüldüğü gibi; ÖİM binasının yıllık elektrik tüketim miktarının 939.778 kWh, yakıt tüketim miktarının 1.994.512 MJ olduğu tespit edilmiştir.

HVAC kaynaklı oransal enerji tüketimi dikkate alındığında doğalgaz tüketiminde %31.06'lık azalmaya karşın elektrik tüketiminde %9.32 düzeyinde bir artma meydana gelmiştir. HVAC dışı yıllık enerji maliyetinde %9.20 düzeyinde bir artma meydana gelmiştir. Sonuç olarak, doğalgazdan elde edilen enerjiyi kullanan binanın enerji tüketimini azaltmaktır. Ancak uygun bir alternatif olarak bina elektrik enerjisi gereksinimlerinin karşılanmasında yenilenebilir enerji teknolojisinin desteklenmesi üzerinde durulmaktadır.

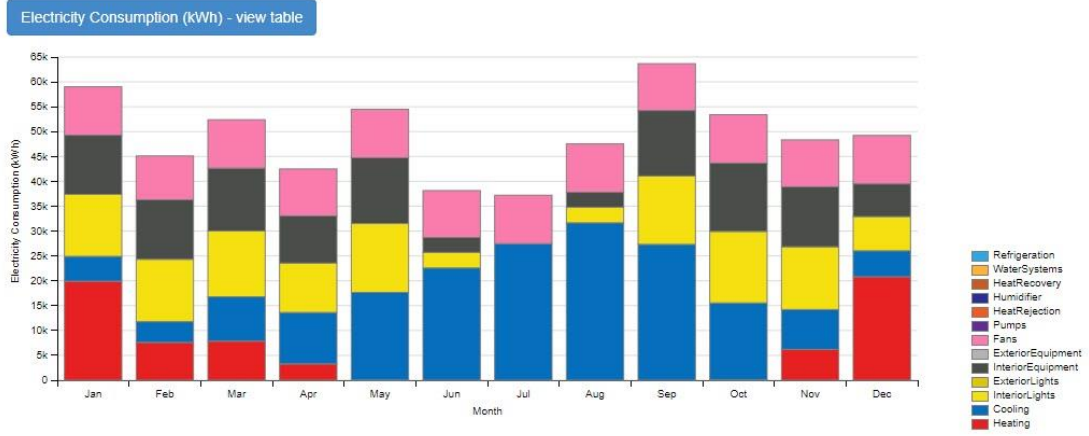
1 Base Run	2 Design Alternative
Energy, Carbon and Cost Summary Annual Energy Cost \$129,337 Lifecycle Cost \$1,761,564 Annual CO₂ Emissions Electric 0.0 Mg Onsite Fuel 144.3 Mg Large SUV Equivalent 14.5 SUVs / Year Annual Energy Energy Use Intensity (EUI) 772 MJ / m ² / year Electric 859,684 kWh Fuel 2,893,054 MJ Annual Peak Demand 301.9 kW Lifecycle Energy Electric 25,790,523 kWh Fuel 86,791,620 MJ Assumptions ⓘ	Estimated Energy & Cost Summary Annual Energy Cost \$141,231 Lifecycle Cost \$1,923,571 Annual CO₂ Emissions Electric 0.0 Mg Onsite Fuel 99.5 Mg Large SUV Equivalent 10.0 SUVs / Year Annual Energy Energy Use Intensity (EUI) 772 MJ / m ² / year Electric 939,778 kWh Fuel 1,994,512 MJ Annual Peak Demand 307.9 kW Lifecycle Energy Electric 28,193,325 kWh Fuel 59,835,360 MJ Assumptions ⓘ

Şekil 5.19. FanCoil senaryosunun enerji performans özeti.

Yıl boyunca harcanan toplam enerjinin, yakıt ve elektrik kategorilerinde hangi alanlarda tüketildiğini gösteren grafikler incelendiğinde Şekil 5.20'ye göre, yıllık yakıtın %84,5'lik kısmı ısıtma, %15,5'lik kısmı sıcak su ihtiyacı için tüketilmektedir. Yıllık elektriğin, %24,1'lük kısmı aydınlatma, %23,5'lik kısmı soğutma, %23,5'lik kısmı bina gereçleri, %15,6'lik kısmı havalandırma, %9,5'lik kısmı pompa ve diğer sistemler, %1,5'lük kısmı ise dış yükler için tüketilmektedir. Elektrik tüketiminde en yüksek yük aydınlatmaya aittir.



Monthly Overview



Şekil 5.20. FanCoil senaryosunun yıllık yakıt ve elektrik tüketimi.

FanCoil sistemin alternatif senaryosundan elde edilen yıllık enerji tüketimi (Enerji Kullanım Yoğunluğu) sonucu : $EUI = 214.4 \text{ kWh/ m}^2$ olarak belirlenmiştir.

5.2.5. Isı Pompası Sistemi Senaryosu

Önerilen ikinci HVAC sistemi olan WSHP sistemi, yıllık enerji kullanım yoğunluğu olarak %42 daha tasarrıfludur. Doğalgaz tüketimi olarak bu tasarruf oranı %89,34 seviyesindedir. Elektrik tüketimi olarak bakıldığında yıllık tüketiminde %2.24 düzeyinde bir artma meydana gelmiştir. Yıllık enerji maliyetinde %1.97 düzeyinde bir artma meydana gelmiştir.

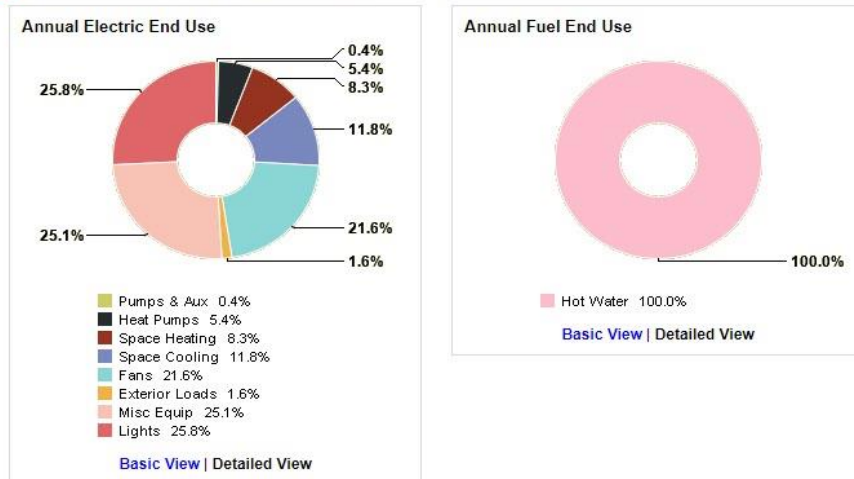
Isı Pompası sistemi, bir gaz çevrimi kullanarak belirli bir COP oranında merkezi sistemden daha az enerji çekmektedir. Yani bu sistem ısıtma yaparken doğalgazın yanında elektrik enerjisi de tüketmektedir. Elektrik taşınma veriminin oldukça düşük olması sebebiyle, binada harcanan enerji miktarı FanCoil sisteminden çok daha az olmuştur.

1 Base Run	2 Design Alternative
Energy, Carbon and Cost Summary	Estimated Energy & Cost Summary
Annual Energy Cost \$129,337	Annual Energy Cost \$131,880
Lifecycle Cost \$1,761,564	Lifecycle Cost \$1,796,208
Annual CO₂ Emissions	Annual CO₂ Emissions
Electric 0.0 Mg	Electric 0.0 Mg
Onsite Fuel 144.3 Mg	Onsite Fuel 15.4 Mg
Large SUV Equivalent 14.5 SUVs / Year	Large SUV Equivalent 1.5 SUVs / Year
Annual Energy	Annual Energy
Energy Use Intensity (EUI) 498 MJ / m ² / year	Energy Use Intensity (EUI) 498 MJ / m ² / year
Electric 859,684 kWh	Electric 878,928 kWh
Fuel 2,893,054 MJ	Fuel 308,475 MJ
Annual Peak Demand 301.9 kW	Annual Peak Demand 1,052.9 kW
Lifecycle Energy	Lifecycle Energy
Electric 25,790,523 kW	Electric 26,367,852 kW
Fuel 86,791,620 MJ	Fuel 9,254,259 MJ
Assumptions ⓘ	Assumptions ⓘ

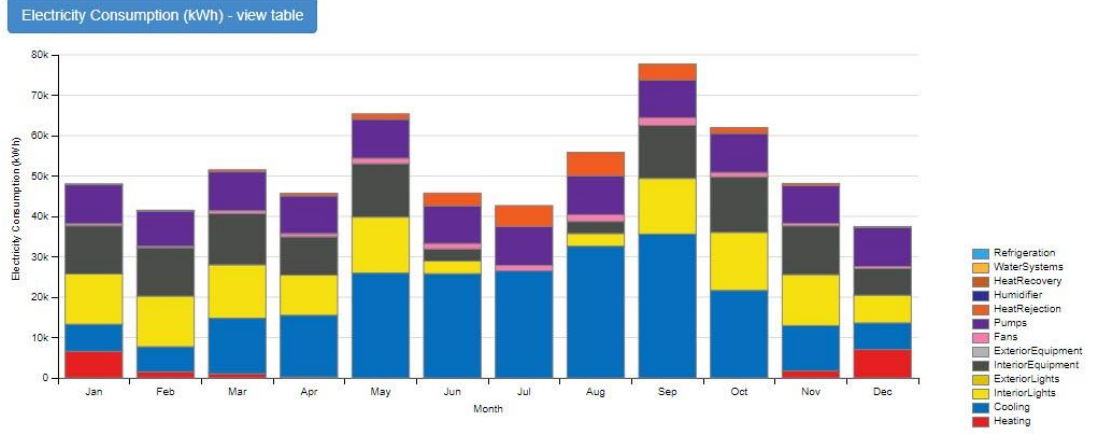
Şekil 5.21. Isı pompası senaryosunun enerji performans özeti.

Yıl boyunca harcanan toplam enerjinin, yakıt ve elektrik tüketimlerinde hangi alanlarda kullanıldığını gösteren dairesel grafikler incelendiğinde Şekil 5.22'e göre, yıllık yakıtın: %100'lük kısmı sıcak su ihtiyacı için kullanılmaktadır. Isı pompası kullanılması dolayısıyla yakıtın ısıtma ve sıcak su paylaşımında yalnızca sıcak su harcaması sonucu elde edilmektedir. Yıllık elektriğin, %25,8'lik kısmı aydınlatma, %25,1'lik kısmı bina gereçleri, %21,6'lık kısmı havalandırma, %11,8'lik kısmı soğutma, %8,3'lük kısmı ısıtma, %1,6'lık kısmı ise dış yükler için kullanılmaktadır. Isı pompası kullanımı, %0,7'lik elektrik yükü oluşturmasına rağmen ısıtma için harcanan yakıtı sıfırlayarak toplam enerji harcamasını azaltmaktadır.

★ Note: Details shown below are for the Alternate Run Heat Pump



Monthly Overview



Şekil 5.22. Isı pompası senaryosunun yıllık yakıt ve elektrik tüketimi.

Isı pompası sistemin alternatif senaryosundan elde edilen yıllık enerji tüketimi (Enerji Kullanım Yoğunluğu) sonucu : $EUI = 138.41 \text{ kWh/ m}^2$ olmuştur.

Simülasyon senaryoları sonuçlarının karşılaştırılması ile referans binanın ve alternatiflerinin yıllık enerji tüketimi ve yıllık enerji maliyeti değerleri ortaya konmuştur. Farklı HVAC sistemi değişkenlerinin denendiği tüm senaryoların simülasyon sonuçları aşağıda Şekil 5.23'te verilmiştir.

Sonuçlar karşılaştırıldığında en düşük enerji kullanım yoğunluğu (en düşük enerji tüketimi) sağlayan ısı pompası sistemi alternatif senaryosudur. Senaryolara bağlı olarak elde edilen enerji tüketimi değerleri referans yapının enerji tüketimi değerine bölünerek, referans yapıya göre senaryoların sağladığı enerji tasarruf oranları belirlenmiştir. Bu bağlamda referans yapıya göre; FanCoil alternatif senaryosu %10,20, ısı pompası alternatif senaryosu %42 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır. Fakat ÖİM binasında yıllık enerji maliyetleri dikkate alındığında, VRV sistemi tercih edilmiştir. Diğer iki sistem ise piyasada genellikle kullanılan sistemlerdir. Ofis yapılarında her ikisi de görülebilmekle birlikte ilk yatırım maliyeti oldukça düşük olan VRV sistemi özellikle tercih edilmektedir. VRV sistemi genellikle yurt dışında uygulanmaktadır. VRV sisteminde ortamda çalışan hiçbir motor veya fan bulunmamaktadır. Ortam sıcaklığı ve CO₂ değeri sürekli olarak ölçülmekte ve hava debisi ile kontrol edilmektedir. Bu durum ortamda eş dağılıma sahip hava sıcaklığı ve

sessizlik meydana getirerek iç ortam kalitesini artırmakta ve konfor sağlamaktadır. Diğer taraftan, FanCoil sisteminde ise her cihazda bir fan bulunduğundan ortamda bir motor sesi oluşmaktadır. Bu dezavantajlar İç Ortam Kalitesini etkilemekte, konforda düşüş yaratmaktadır. Özet olarak, enerji kaynağını değiştirerek, enerji girdi maliyeti azaltılmadıkça, işletme maliyetini düşürmek pek mümkün değildir.

Senaryolardaki farklı değişkenlerin enerji tüketimlerine etkileri, projede uzun süreli gelecek tahminleri yapılmasına imkan sağlamaktadır. Çalışma, enerji etkinliğin artırılması için yapılabilecek değişimleri sayısal verilerle ifade etmektedir. Farklı senaryoların simülasyonları ile elde edilen sonuçlar, çalışmayı enerji etkinlik stratejilerinin belirlenmesi ve enerji etkinliğin uzun süreli sonuçlarının tahmin edilebilmesi yönlerinden faydalı kılmaktadır.

Actions									
<input type="checkbox"/>	Name	Date	User Name	Floor Area (m ²)	Energy Use Intensity (MJ/m ² /year) ?	Electric Cost (kWh)	Fuel Cost (MJ)		
Project Default Utility Rates									
	Project Default Utility Rates	--	--	--	--	\$0.15	\$0.0001		
Base Run									
<input type="checkbox"/>	karabuk building-Hvac.xml	3/10/2022 6:39 PM	Abdullah.Alakour	6,969	859.2	\$0.15	\$0.0001	\$1	
Alternate Run(s) of karabuk building-Hvac.xml									
<input type="checkbox"/>	FC 4-pipe	3/10/2022 10:02 PM	Abdullah.Alakour	6,969	771.6	\$0.15	\$0.0001	\$1	
<input type="checkbox"/>	Heat Pump	3/10/2022 10:12 PM	Abdullah.Alakour	6,969	498.3	\$0.15	\$0.0001	\$1	

Display Options								
Total Annual Cost ¹			Total Annual Energy ¹			Compare	Beta Potential Energy Savings	
Electric	Fuel	Energy	Electric (kWh)	Fuel (MJ)	Carbon Emissions (Mg)			
Weather Data: GBS_06M12_18_110278								
--	--	--	--	--	--			
\$128,953	\$384	\$129,337	859,684	2,893,054	--			
\$140,967	\$265	\$141,231	939,778	1,994,512	--			
\$131,839	\$41	\$131,880	878,928	308,475	--			

Şekil 5.23. Mevcut ve önerilen HVAC sistemlerin özellikleri.

5.3. YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ STRATEJİLERİ

Net Sıfır Enerjili ya da Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina tasarım hedefine erişebilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak kaçınılmazdır. Bu nedenle çalışmanın bu kısmında seçilen binanın da yararlanabileceği ve etkili bir yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş ve rüzgar enerjisi ele alınmıştır.

5.3.1. Güneş Enerjisi Analizi

5.3.1.1. Autodesk Revit ile PV Sistemin Tasarımı

Binalarda kullanılan en yaygın güneş enerjisi sistemleri termal ve fotovoltaik sistemlerdir. Termal sistemler, mekan ısıtması ve kullanım sıcak suyu için bağımsız olarak veya başka fosil yakıtla çalışan kazanlarla birlikte kullanılabilir. Bu sistemler sadece kuruldukları binanın ihtiyacını karşılayabilmekte ve bina ihtiyacının mevsimsel olarak değişmesinden dolayı tüm sene boyunca verimli olarak kullanılmalrı her zaman mümkün olmamaktadır [79].

Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan modüllerden oluşmaktadır ve dağıtık elektrik üretim sistemi kategorisinde bulunmaktadır. Bunun anlamı, binalarda kullanılan bu sistemlerin elektrik şebekesi ile paralel çalışarak küçük ölçekli bir üretim santrali işlevini yüklenmeleri ve en yakındaki talep noktasına elektrik besleyebilmeleridir. Eğer kurulu oldukları binada elektrik ihtiyacı varsa bunu karşılamakta, bu ihtiyaçtan fazla üretim olması durumunda ise ürettikleri enerjiyi şebekeye vererek diğer binaların ihtiyacını karşılayabilmektedirler. Bu tür dağıtık elektrik üretim sistemleri, sıfır CO₂ emisyonu ile çalışmanın yanında, merkezi üretimden ve iletimden kaynaklanan %40'lar mertebesindeki kayıpları da engellemektedirler [79].

Fotovoltaik sistemlerin binalara uygulanması iki farklı şekilde olabilir. Bunlardan ilki inşa edilmiş bir bina için sonradan fotovoltaik sistem tasarlamak ve bu sistemin kurulumunu yapmak; ikincisi ise bina tasarlanırken projenin başlangıcından itibaren

fotovoltaik sistemi göz önünde bulundurmak ve fotovoltaik panelleri binanın ayrılmaz bir parçası, bir yapı elemanı olarak kullanmaktır.

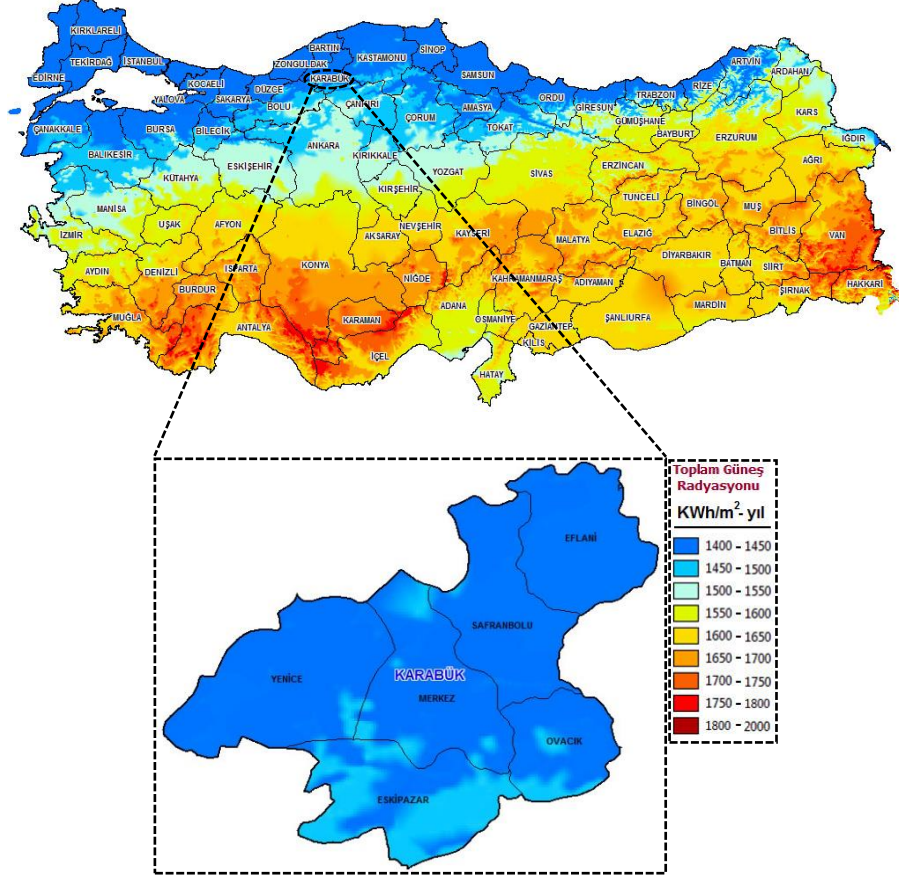
PV sistemlerinin bina üzerindeki tasarımı binanın bulunduğu bölge, yönelimi, kapladığı alan, mimari planı ve hangi amaçla kullanılmak üzere inşa edildiği gibi birçok parametreye bağlıdır. Sistem tasarlanırken mimarın tasarımı ve mühendisin fonksiyonellik kriterleri göz önünde bulundurularak en uygun proje hazırlanır. Fotovoltaik sistemlerin binalarda kullanılmasının en önemli avantajlarından biri sistemi yerleştirmek için ayrıca bir alana ihtiyaç olmamasıdır. Fotovoltaik sistemlerin binalarda kullanım olanakları çok geniştir. Bunlar;

- Dikey veya eğimli perde duvarları
- Cephe sistemleri
- Sabit veya hareketli gölgeleme elemanları
- Eğimli veya düz çatılara montaj
- Çatı aydınlatma sistemlerinde kullanım
- Saçak, parapet gibi bina elemanlarıyla kullanılabilirler.

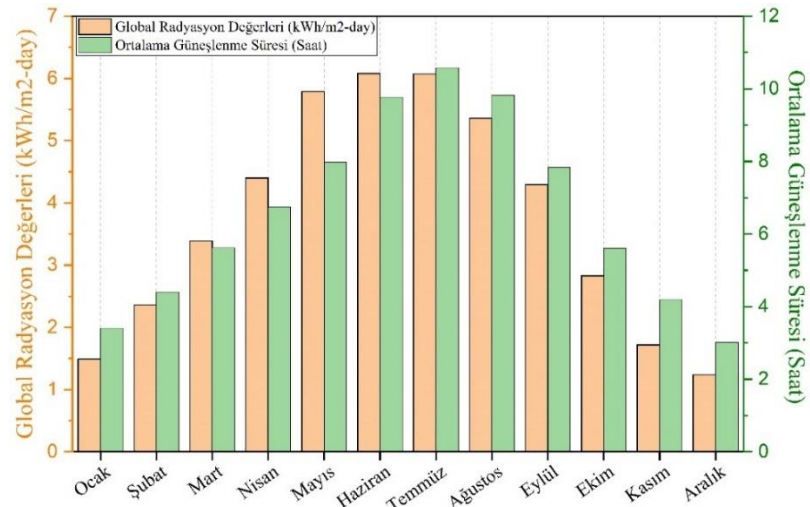
Fotovoltaik sistemler bütün yapı gruplarında kullanılabilirler. Eğitim yapıları, konutlar, hastaneler, endüstriyel yapılar, kültür ve sanat yapıları, alışveriş ve eğlence merkezleri, havaalanları ve limanlar, terminal binaları, oteller, üretim tesisleri, ofis binaları gibi pek çok yapı tiplerinde kullanılabilirler. Örneğin ofis binalarında (incelediğimiz bina gibi) sabah 09.00 ila akşam 17.00 saatleri arasında kullanıldığında şebekenin en yoğun olduğu saatlerde binanın enerji ihtiyacı bu sistem ile karşılanabilir. Konutlarda ise her gün gece ve gündüz enerji ihtiyacının karşılanması için kullanılabilir. Endüstriyel ve ticari binalarda ise geniş çatı alanları fotovoltaik sistemlerin kurulması ve enerji üretimi için büyük olanak sağlar.

Şekil 5.24'deki Türkiye güneşlenme haritasına göre; güneş açısından performansı en yüksek bölgelerin başında Güneydoğu Anadolu Bölgesi 1750 kWh/m²-yıl ile birinci sırada yer almaktadır, Akdeniz Bölgesi ise 1650 kWh/m²-yıl ile onu takip etmektedir. Türkiye'nin en düşük güneşlenme değerlerine sahip olan Karadeniz Bölgesi 1400 kWh/m²-yıl'lık potansiyeli ile dünya sıralamasında önemli bir yere sahiptir. Şekil

5.24-5.25'e bakıldığında, Karabük iline ait yıllık güneş ışınımının 1400 kWh/m^2 olduğu belirlenmiştir [80].



Şekil 5.24. Türkiye'nin güneş radyasyon dağılım haritası [80].



Şekil 5.25. Karabük iline ait global radyasyon ve güneşlenme süresi değerleri.

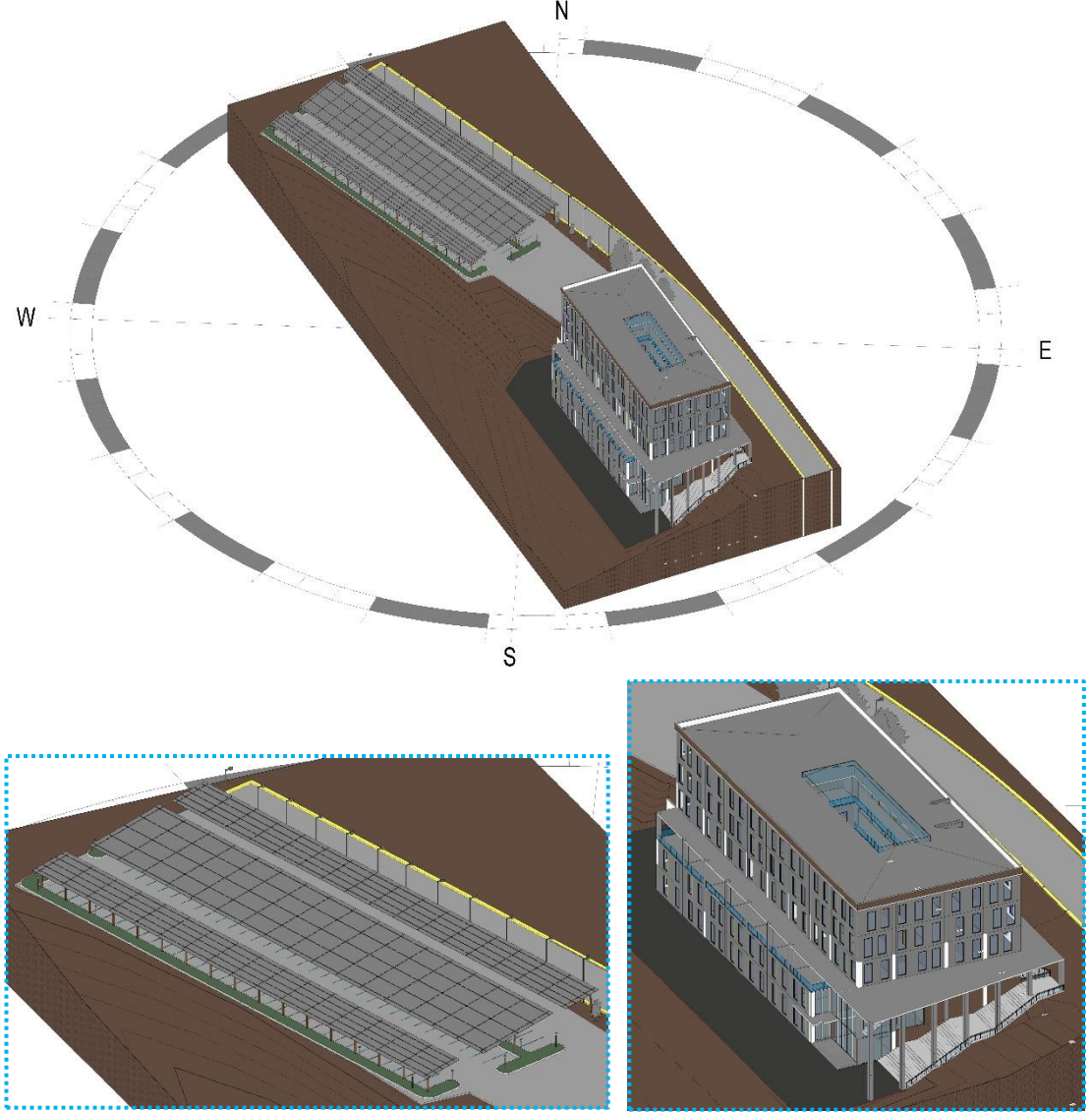
NSEB'nin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak olan PV sistemin fotovoltaik panel gereksiniminin ölçülendirilmesi için literatürde çeşitli çalışmalarda, çok sayıda yöntem ve denklem tanımlandığı görülebilmektedir. Ayrıca, sektörel bazda referans birçok kamu ve özel kuruluş tarafından geliştirilmiş çok sayıda hazır paket program ve xls dosyaları mevcuttur. ABD Enerji Bakanlığı bünyesindeki NREL (National Renewable Energy Laboratory) tarafından hazırlanmış olan PVWatts ve SAM ile Avrupa Birliği Enerji Komisyonu tarafından hazırlanan PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) programı bu amaçla incelenmiştir. İlkinde Türkiye iklim verileri mevcut değildir; ancak ikincisine Türkiye ve Ortadoğu ile birlikte Kuzey Afrika ülkeleri de dahildir.

Autodesk Revit programı, PV sistemlerinin verilerinin analiz edilmesi, gölge ve güneş ışınması incelenmesi, boyutlandırılması ve projelendirilmesini sağlayabilmektedir. Program özellikleri arasında, bina yüzeylerine gelen güneş ışınım miktarı bulunarak, yapılara düşen güneş enerjisi potansiyeli hesaplanabilmektedir. Işınım analizlerinde genellikle bina yüzeylerine gelen bir yıllık kümülatif enerji toplamı ile çalışılmaktadır. Işınım analizinde bütün bir yıl boyunca saat saat analiz yapabilme ve bu sayede optimizasyon seçeneğini sağlama, ölçülmüş değerlerin programa girilebilmesi ve sentetik ışınım hesabı yapabileme bulunmaktadır. Revit programı simülasyon sırasında kullanılan iklim ve güneş ışınma değerlerini internet tabanlı coğrafi bilgi sisteminden aldığı veri ile sağlamaktadır.

Güneş analizinin birinci aşamasında, Karabük Üniversitesinin Öğrenci İşleri Binası için güneş panellerin yerleşiminde en uygun yer çatı olarak belirlenmiş ve cephelere panel eklenmemesine karar verilmiştir. Bu nedenle, bu bölümde Karabük ilinin iklim koşullarına göre Revit programındaki güneş analizi kullanılarak binaların çatılarında optimum yerleşim tasarımı yapılmış ve elde edilebilen maksimum enerji belirlenmiştir. Analizin ikinci aşamasında ise güneş pilleri otopark alanına yerleştirilmiştir. Şekil 5.26'da çatıya ve otopark alanına yerleştirilen sistemin fotoğrafı görülmektedir.

ÖİM binasının çatı alanı toplam 1290 m²'dir. Çatının eğimi 10° eğim olarak tasarlanmaktadır. Bu eğim fotovoltaik panellerin kullanımlarında ideal ölçü değildir.

Ancak ilk analizde güneş panellerinin çatı yüzeyine paralel olarak (aynı eğim açısıyla) monte edilmiştir.



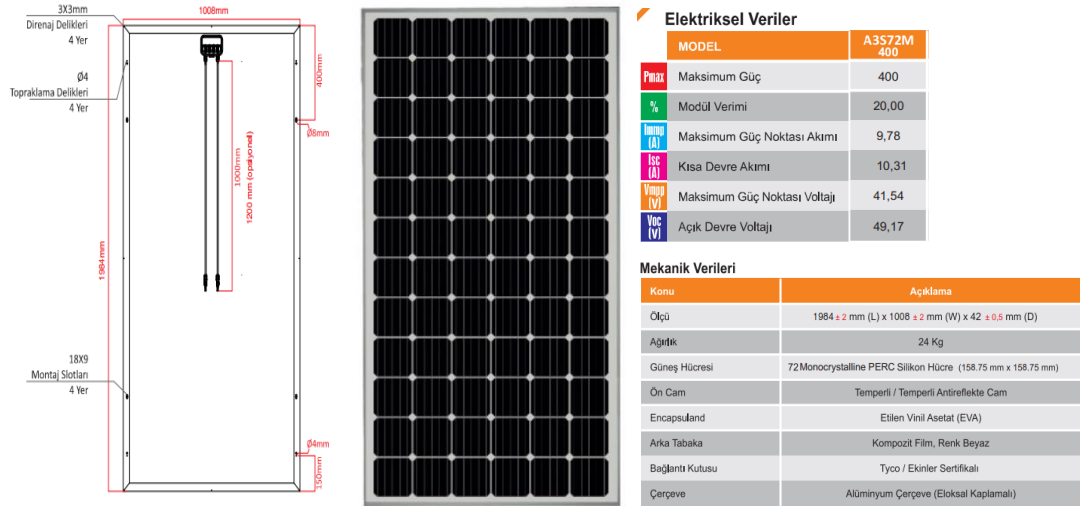
Şekil 5.26. ÖİM çatısında ve otopark alanında kurulu PV sistemi.

Şekil 5.26'da görüldüğü gibi tasarım esnasında aşağıdaki maddeler göz önünde bulundurulmuştur;

- Bina, kuzey-güney doğrultusu ile 48° açı ile konumlanmıştır.
- Duman bacası ve havalandırma bacası gibi elemanlar çatı üzerinde kuzeydoğu yönüne yerleştirilmiştir.

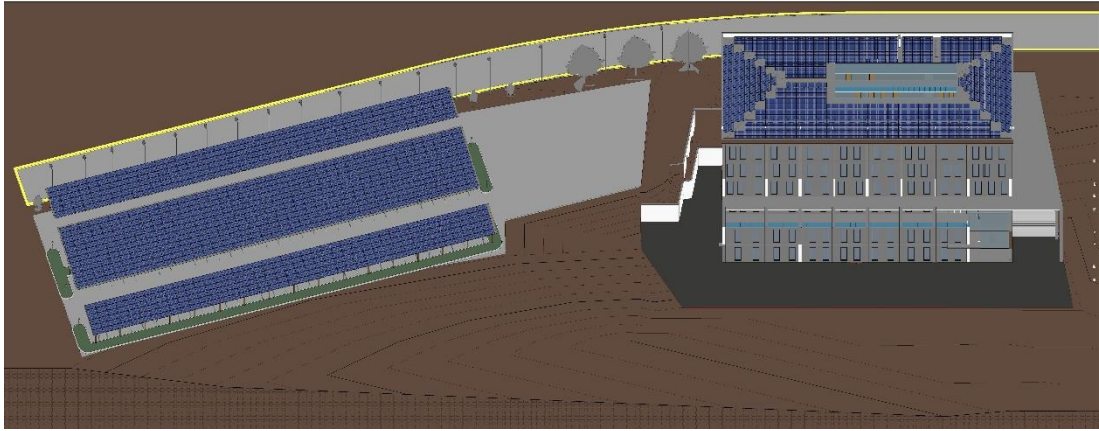
- Fotovoltaik paneller yüksek performans sağlamak üzere, maksimum güneş ışınımını alacak biçimde yerel enleme uygun bir açı ile güneşe yönlendirilmelidir. Panellerin uygulanması gereken yön güneydir. Ancak bina üzerinde kurulacak PV sistemi çatı alanların yönüne göre tasarlanmıştır.
- Performans düşüklüğü göz önüne alınarak Güney-Doğu ve Güney-Batı yönlerinde de uygulama yapılabilir. Ama tasarımdan dolayı binanın kuzeybatı cephesinde kendi kendini gölgelemesi de mümkündür. Bu durumda panellerin performansını düşüreceği için tasarım esnasında güneş gölge analizi yapılmıştır.

PV panel seçiminde ise Avrupa standartlarına uygun kalitede PV güneş paneli üreten, 72 hücreli 400 W gücünde monokristal “Alfa Solar Enerji” marka PV güneş panelleri kullanılmıştır. Seçilen güneş panelinin standart koşullardaki gücü $P_{pv} = 400 \text{ W}$ (1000 W/m^2 ışınım şiddetinde, 25°C hücre sıcaklığında, 1,5 AM hava kütlelerinde “Küresel standart spektrumu paris şehrine göre”), panelin alanı $A_{pv} = 2 \text{ m}^2$, Ağırlığı $m_{pv} = 24 \text{ kg}$ ve panelin verimi ise $\eta_{pv} = \%20$ 'dır. PV modülün karakteristik özellikleri Şekil 5.27’de verilmiştir.



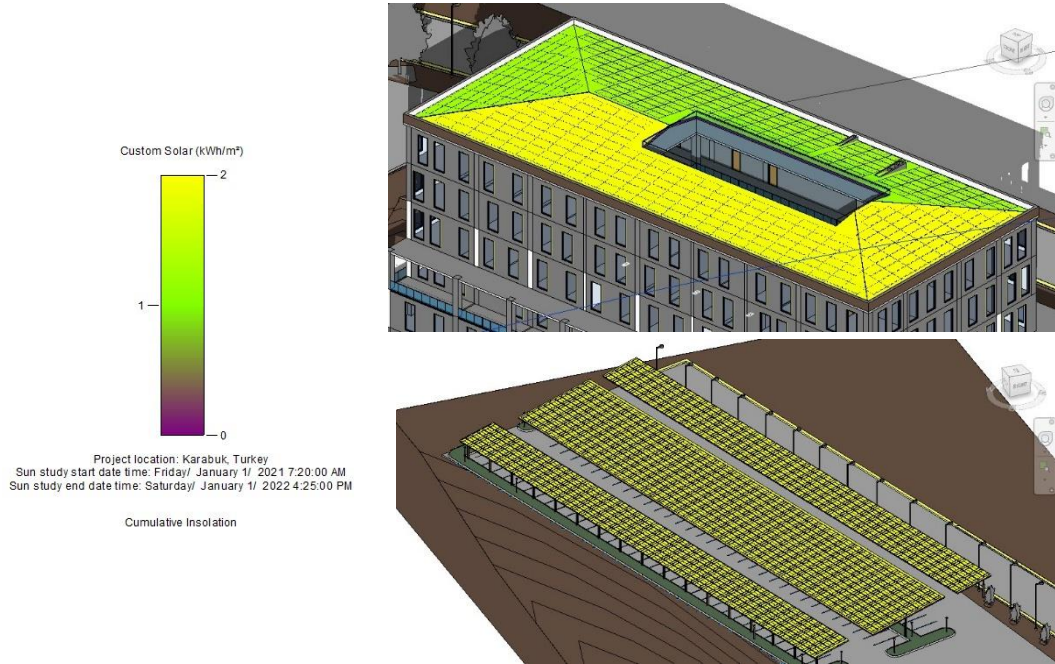
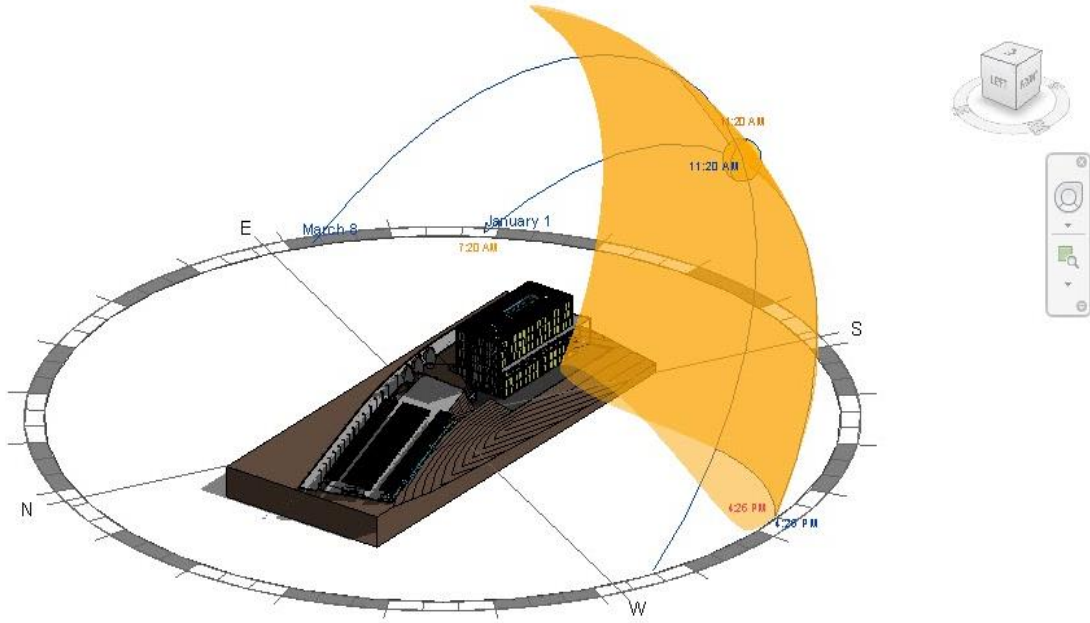
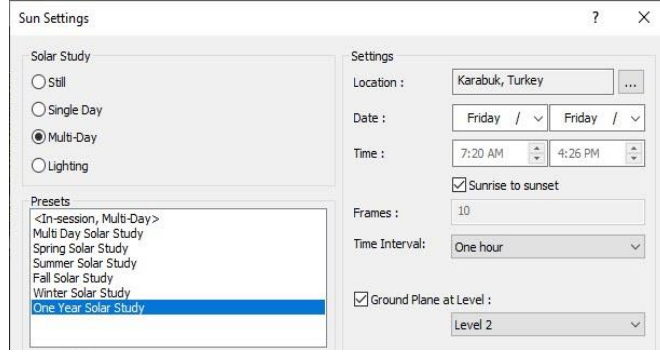
Şekil 5.27. PV modülün karakteristik özellikleri.

Bu bağlamda, seçilecek panelin boyutlarına göre, panellerin toplam kapladığı alan çatıda $A_{Toplam, pv} = 2 m^2$ 'dir. Çatı alanının 1290 m² olduğu göz önüne alınarak, bina çatısına yerleştirilebilecek maksimum panel sayısı ve yerleşim biçimi Şekil 5.28'de gösterilmiştir. Sistem toplamında 467 adet panel kullanılmıştır. Çatıda kullanılacak bu 467 adet panelin ağırlığı kullanılan panelin bina ile bütünleşik ya da ek yapı gerektirmesine göre 12.400-12.500 kg ağırlığında değişmektedir. Çatıda kullanılacak panellerin ek ağırlığı için ön hazırlık yapılması gerekmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi ÖİM bina otoparkına bir PV sistemi tasarlanmıştır. Otopark alanında kurulacak PV sistemi elektrik enerjisi üretimini sağlarken aynı zamanda otoparktaki araçlar için gölgelenme alanı oluşturur. Bunlara ek olarak ÖİM binasının ihtiyaç duyduğu enerjinin belli bölümü üretilebilir. Otopark alanındaki panellerinin eğimi 10° belirlenmiş, azimut açısı 13° olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, belirtilen alanda 884 adet 400 Wp gücünde monokristal fotovoltaik panel bulunmaktadır. Bu paneller 35 seri ve 24 paralel dizi şeklinde yerleştirilmiştir.



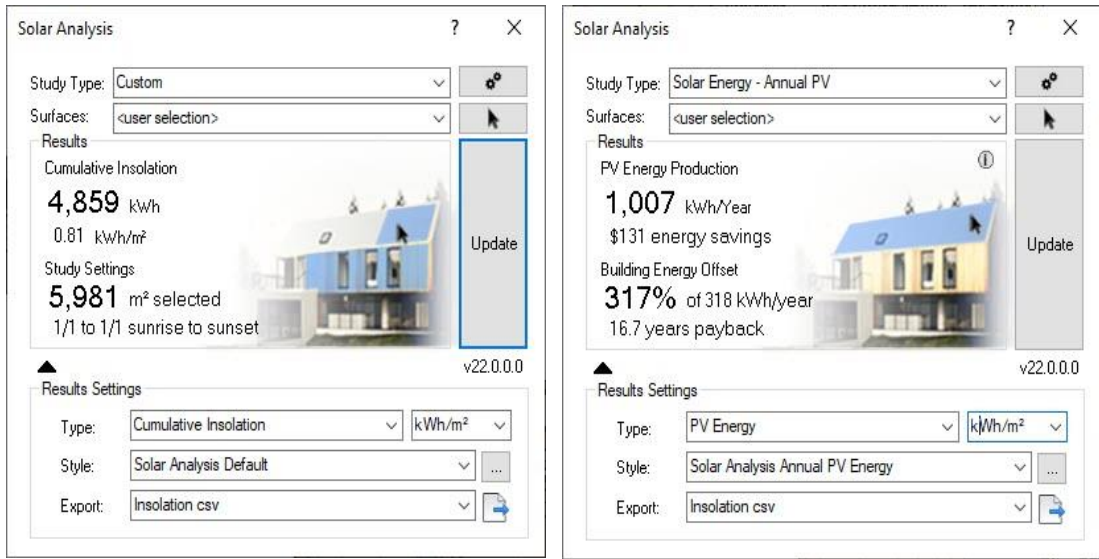
Şekil 5.28. Fotovoltaik panellerin yerleşim biçimi.

Revit programında solar modeli kullanarak bir güneş rotası oluşturulmuştur ve gölge etkinleştirilmiştir. Sun Settings kısmında Şekil 5.29'da gösterildiği gibi, bir yıl boyunca arsada gölgeler oluşturulmuştur ve gölgelerin vurduğu yerlere dikkat edilmiştir. Gölgenin düşeceği seviye 2. bodrum olarak seçilmiştir. PV modüller arasındaki gölge analizi için Şekil 5.22'ye bakıldığında, ÖİM binasının çatısındaki kuzey-batıya ve kuzey-doğuya bakan bölümlerde güneş ışınımı miktarının az olmasına rağmen PV modüllerin herhangi bir gölgelenme durumları gösterilmemiştir.



Şekil 5.29. PV modüllerin üzerindeki gölgeleme etkisinin Revit benzetimi.

Revit güneş analizi sonuçlarında, yüzeylere gelen yıllık kümülatif kWh cinsinden enerji değeri ve hemen ardından m² başına ortalama enerji üretimi hesaplanabilmektedir. Şekil 5.30 incelendiğinde, Karabük ili şartlarında ÖİM binasının çatısından ve otopark alanından elde edilen yıllık kümülatif enerji değerleri 4859 kWh ve m² başına ortalama enerji üretimi 0.81 kWh olarak hesaplanmıştır. Yan taraftan PV panellerin yıllık ortalama üretebileceği elektrik enerjisi miktarı 1007 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle PV panel tasarımı yapılırken ÖİM binası yıllık ortalama elektrik enerjisi tüketimi değeri olan 318 kWh değeri esas alınır, PV sistemi yaklaşık 3 kat daha fazla elektrik üretecektir. Ayrıca bu sonuçlara göre PV sisteminin geri ödeme süresi yaklaşık 16.7 yıl olarak hesaplanmıştır. PV santralleri ömrünün 20 yıl olduğu göz önüne alındığında PV santrali kurulumunun ekonomik olduğu tespit edilmiştir ve bina elektrik ihtiyacını karşılamıştır.



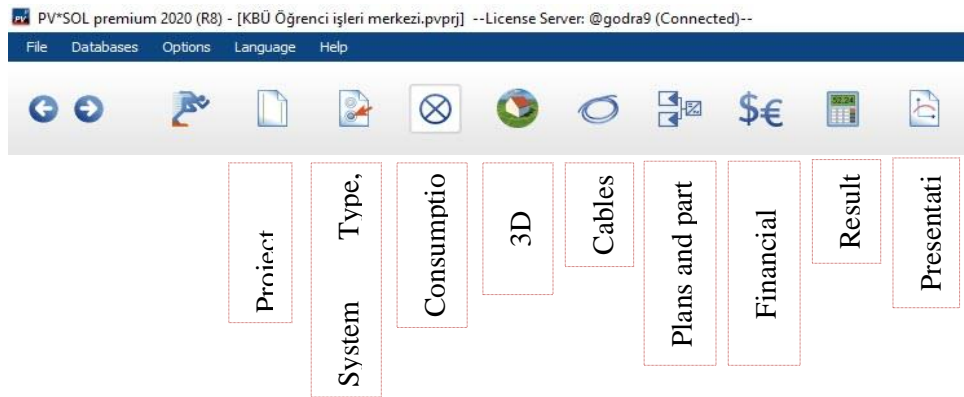
Şekil 5.30. PV sistemin yıllık elektrik üretimi.

Görüldüğü üzere güneş panellerinde üretilecek enerjinin miktarı yeterli ancak Revit güneş analizi pek çok parametreleri (invertör seçimi, enerji akışı ve PV panellerin adedi v.b.) dikkate almamıştır. Öteki taraftan PV sistemler karmaşık mühendislik sistemleridir. Bu nedenle gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilmek için başka bir benzetim programı kullanılmıştır.

5.3.1.2. PV*SOL® Premium ile PV Sistemin Tasarımı

PV sistemlerin performanslarını hesaplamaya yardımcı olan farklı tiplerde birçok yazılım mevcuttur. Güneş panelleri, eviriciler, şarj regülatörleri ve diğer ekipmanların etkileri ile hesaplama yapan bu yazılımlar PV sistemin çıkış gücünü hesaplamada kullanılmaktadır. En önemli etken olan güneş radyasyonu da hesaplamalar içindedir. Farklı yazılımlar güneş radyasyonu modellemesi için farklı metotlar kullanmaktadır, verilerin alındığı ve incelendiği platformlar da farklı olabilmektedir.

Günümüzde uluslararası en çok tercih edilen fotovoltaik tasarım programlarından biri PVSol'dür. PVSOL premium 2020 yazılımı, Alman menşeli Valentin Software tarafından üretilmiştir. PV sistemlerin tasarımı için kullanılan yazılım, öz tüketim ve depolama sistemlerinin de hesaplamalara katıldığı dinamik bir yazılımdır. Yazılım iklim verileri için MeteoSyn verilerini kullanmaktadır. Program içerisinde iklim verileri haritadan seçilebildiği gibi kullanıcı kendi ölçümlerini kayıdederek veya mevcut veri tabanı ile interpolasyon yaparak oluşturabilir. PVSOL yazılımı PV sistem ekipmanları için 15500 adet modül ve 4000 adet evirici gibi geniş bir veri tabanı içermektedir. Veri tabanları üreticiler tarafından sürekli güncelleştirilmektedir. PVSOL yazılımı "3D Visualization" bölümü ile 3 boyutlu tasarım kabiliyetini sağlamaktadır [81]. PVSOL yazılımı arayüzünde birçok pencere bulunmaktadır. Şekil 5.31'de bu pencerelere geçişleri sağlayan simgelerin bulunduğu menü gösterilmektedir.



Şekil 5.31. PVSOL'da 3D tasarımın aşamaları.

PVSOL yazılımında benzetim dakikalık veya saatlik veriler ile yapılmakta ve sonuç raporu diyagramlar ve nakit akışı tablosu olarak elde edilebilmektedir. Enerji bilanço tablosu ile bir PV sistemin bütün gelir ve kayıpları değerlendirilebilmektedir.

Şekil 5.32’de sistem türü, PV sistemin kurulacağı konum ve iklim bilgileri ile bu konumun şebeke özellikleri girilmektedir. Sistem tipi şebekeye bağlı sistem olarak seçilmiştir. 3D tasarım bölümü aktif edilmiş ve iklim verisi olarak binanın bulunduğu konum seçilmiştir. Bu verileri, program, Meteonorm 7.2’den almaktadır. Buna göre, enlem ve boylam değerleri gözükmekte, verilere ilişkin zaman aralığı 1991-2010 arası, global güneş radyasyon değeri 1398 kWh/m² ve ortalama sıcaklık değeri 13,9 °C olarak gözükmektedir.

System Type, Climate and Grid

Type of System
3D, Grid-connected PV System with Electrical Appliances

Type of Design
 Use 3D Design

Climate Data

Country	Turkey	Location	Karabük
Latitude	41° 12' 38"	Annual sum of global irradiation	1398 kWh/m ²
Longitude	32° 39' 18"	Annual Average Temperature	13,9 °C
Time zone	LTC+2		
Time Period	1991 - 2010		
Resolution	Hourly	Simulation Parameters	

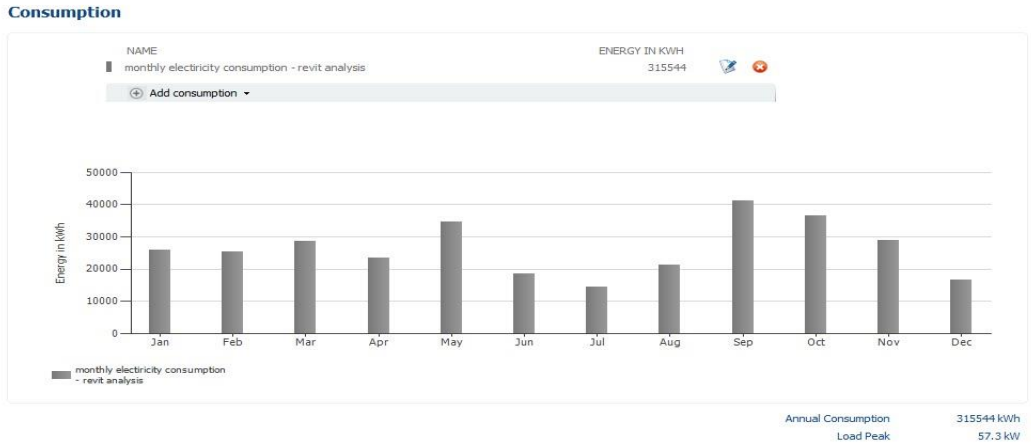
AC Mains

Enter

Voltage (N-L1)	230 V
Number of Phases	3-phase
cos φ	1
Maximum Feed-in Power Clipping	No

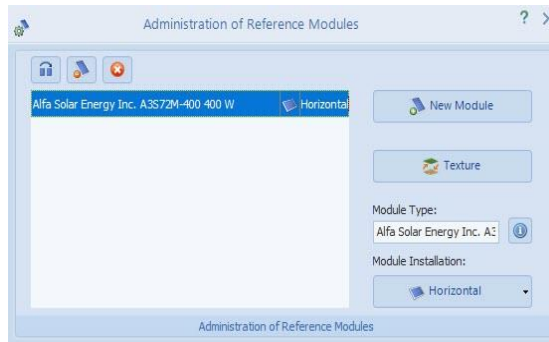
Şekil 5.32. PVSOL programında sistem tipi ve iklim verileri.

Önceki bölümde Şekil 4.64’te Revit programından elde edilen ÖİM binasına ilişkin toplam yıllık tüketim değeri, program bünyesindeki bölümlerden tüketim kısmına girilmiştir. Şekil 5.33’te gösterildiği gibi, program otomatik olarak “Peak” değerini tüketim değerlerine göre hesaplamış ve 57,3 kW olarak bulmuştur.



Şekil 5.33. PVSOL programına tüketim verilerinin girilmesi.

3D tasarım bölümünde, Autodesk Revit programında oluşturulmuş 3 boyutlu binanın modeli "obj" uzantı ile PVSOL premium programına aktarılmıştır. Daha sonra çatı alanında güneş panellerinin düzgün şekilde yerleştirilmesi için tasarım alanı bitişik 7 alandan oluşmakta ve paneller ayrı ayrı yerleştirilecek şekilde düzenlenmiştir. Ayrıca bu bölümde, panellerle kaplı alan, panel sayısı, evirici sayısı ve PV güç çıkışı değeri gösterilmektedir. PV panelin üretici sayfasındaki teknik verilere göre, panel gruplarında kullanılacak olan panel seçimi yapılmış ve bu seçim doğrultusunda, Şekil 5.34'teki gibi, konfigürasyona eklenmiştir. Panellere ilişkin, bozulma grafiği eksponansiyel olarak girilmiştir. Buna göre, 1 ila 25. yıllar arasındaki bozulma, %97'den %80 seviyelerine gerileyecek şekilde programa girilmiştir. Panellerin düzgün konumlandırılabilmesi ve gölge faktörünün minimize edilebilmesi için tüm çatının kenarlarından 0.5 m kenar boşluğu bırakılacak şekilde program üzerinde "Edge Distances" bölümünden gerekli ayarlamalar yapılmıştır.



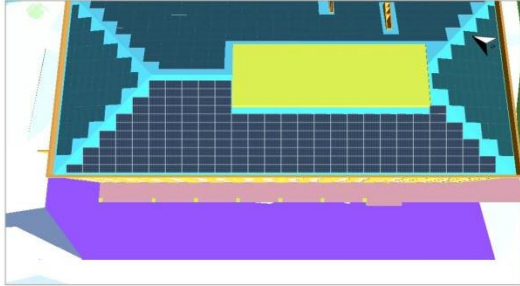
Şekil 5.34. PVSOL programında kullanılan PV panel modeli.

Montaj sisteminin tanımlanma işlemi bittikten sonra, panellerin hem ÖİM binasının çatısına ve otopark alanına belirlenen uygun aralıklar ile yerleştirilebilmesi için “Fill Area” seçeneği seçilerek istenilen sayıda panel, düzgün bir biçimde yerleştirilmiştir. Şekil 5.35-5.36’da görüldüğü gibi, 1. alana ilişkin 184 panel toplamda 73.6 kWp gücünde, 2. alana ilişkin 55 panel toplamda 22 kWp gücünde, 3. alana ilişkin 55 panel toplamda 22 kWp gücünde, 4. alana ilişkin 173 panel toplamda 69.2 kWp gücünde yatay dizi olarak yerleştirilmiştir. Otopark alanındaki yerleştirilen PV modüllerin 1. alanında 200 panel toplamda 80 kWp gücünde, 2. alanına ilişkin 440 panel toplamda 176 kWp gücünde, 3. alanına ilişkin 200 panel toplamda 80 kWp gücündedir. Bu panel yerleşimi sırasında, panel yerleştirme açıları girilen değer doğrultusunda, program tarafından konstrüksiyon sistemleri ile sağlanmıştır. 3D tasarım ekranında yapıya sağ ve sol profilden bakıldığında panellerin konstrüksiyon sistemi ile nasıl yerleştirildiği görülmektedir.

1. Modül Alanı - KBU-Building-Roof Alan-2

PV jeneratörü, 1. Modül Alanı - KBU-Building-Roof Alan-2

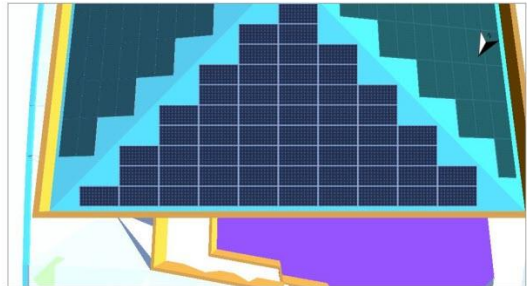
Ad	KBU-Building-Roof Alan-2
PV modülleri	184 x A3572M-400 (v1)
Üretici	Alfa Solar Energy Inc.
Eğim	10 °
Yerleşim Yönü	Güneybatı 242 °
Montaj Türü	Çatıya entegre edilmiş - arka havalandırmasız
PV jeneratör yüzeyi	368.0 m ²



2. Modül Alanı - KBU-Building-Roof Alan-1

PV jeneratörü, 2. Modül Alanı - KBU-Building-Roof Alan-1

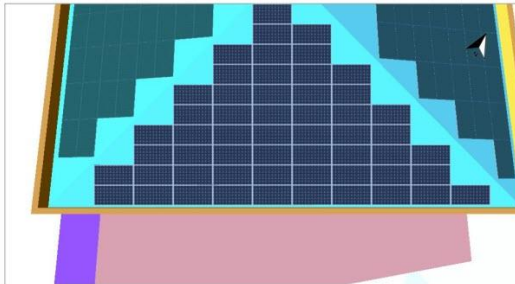
Ad	KBU-Building-Roof Alan-1
PV modülleri	55 x A3572M-400 (v1)
Üretici	Alfa Solar Energy Inc.
Eğim	10 °
Yerleşim Yönü	Kuzeybatı 331 °
Montaj Türü	Çatıya entegre edilmiş - arka havalandırmasız
PV jeneratör yüzeyi	110.0 m ²



3. Modül Alanı - KBU-Building-Roof Alan-3

PV jeneratörü, 3. Modül Alanı - KBU-Building-Roof Alan-3

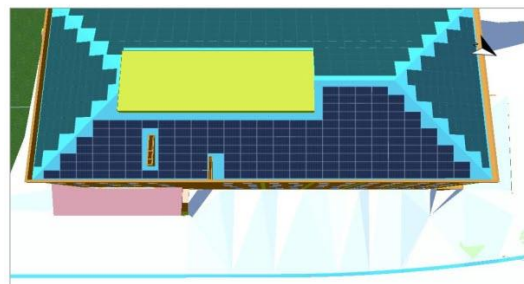
Ad	KBU-Building-Roof Alan-3
PV modülleri	55 x A3572M-400 (v1)
Üretici	Alfa Solar Energy Inc.
Eğim	10 °
Yerleşim Yönü	Güneydoğu 152 °
Montaj Türü	Çatıya entegre edilmiş - arka havalandırmasız
PV jeneratör yüzeyi	110.0 m ²



4. Modül Alanı - KBU-Building-Roof Alan-4

PV jeneratörü, 4. Modül Alanı - KBU-Building-Roof Alan-4

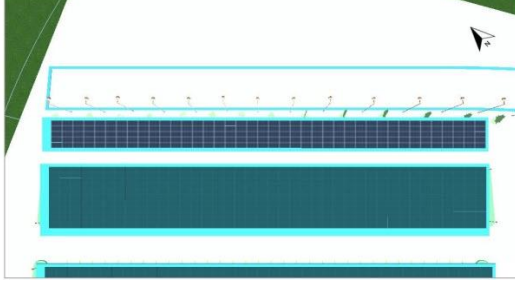
Ad	KBU-Building-Roof Alan-4
PV modülleri	173 x A3572M-400 (v1)
Üretici	Alfa Solar Energy Inc.
Eğim	10 °
Yerleşim Yönü	Kuzeydoğu 61 °
Montaj Türü	Çatıya entegre edilmiş - arka havalandırmasız
PV jeneratör yüzeyi	346.0 m ²



Şekil 5.35. ÖİM çatısındaki PV Modüllerin yerleşimi.

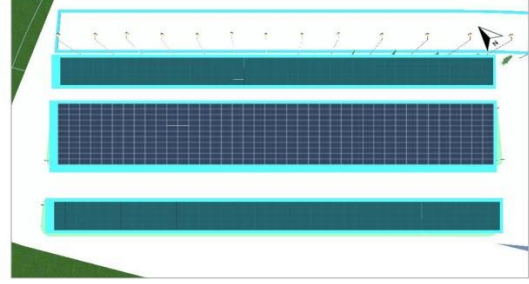
5. Modül Alanı - KBU-Building-Parking-1

PV jeneratörü, 5. Modül Alanı - KBU-Building-Parking-1	
Ad	KBU-Building-Parking-1
PV modülleri	200 x A3572M-400 (v1)
Üretici	Alfa Solar Energy Inc.
Eğim	8 °
Yerleşim Yönü	Güneybatı 225 °
Montaj Türü	Çatıya entegre edilmiş - arka havalandırmasız
PV jeneratör yüzeyi	400,0 m ²



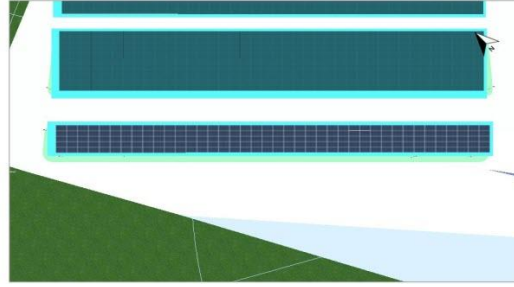
6. Modül Alanı - KBU-Building-Parking-2

PV jeneratörü, 6. Modül Alanı - KBU-Building-Parking-2	
Ad	KBU-Building-Parking-2
PV modülleri	440 x A3572M-400 (v1)
Üretici	Alfa Solar Energy Inc.
Eğim	8 °
Yerleşim Yönü	Güneybatı 225 °
Montaj Türü	Çatıya entegre edilmiş - arka havalandırmasız
PV jeneratör yüzeyi	879,9 m ²



7. Modül Alanı - KBU-Building-Parking-3

PV jeneratörü, 7. Modül Alanı - KBU-Building-Parking-3	
Ad	KBU-Building-Parking-3
PV modülleri	200 x A3572M-400 (v1)
Üretici	Alfa Solar Energy Inc.
Eğim	8 °
Yerleşim Yönü	Güneybatı 225 °
Montaj Türü	Çatıya entegre edilmiş - arka havalandırmasız
PV jeneratör yüzeyi	400,0 m ²



Şekil 5.36. Otopark alanındaki PV Modüllerin yerleşimi.

3D tasarım bölümünde, oluşturulan ve yerleştirilen panel dizileri için gün doğumu ve gün batımına göre 09:00 AM-15:00 PM aralığındaki gölgelenme dikkate alınarak simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonda, güneşlenme süresinin en düşük olduğu ve güneş açılarının en kötü konumda geldiği Ocak ayı baz alınarak, günlük gölgelenmeye bakılmıştır. PVSOL raporundaki gölgelenme sonuçları elde edilmiş ve yapılan analiz sonucunda gölgelemeden dolayı oluşan kazanç kaybı 4.9 %/yıl olarak belirlenmiştir.

Yerleştirilen panellerin, yapının elektrik sistemine dahil olabilmesi için, gerekli eviricilerin sisteme entegre edilmesi gerekir. İnvvertörler, güneş panelleri tarafından üretilen doğru akım (DC) enerjisini kullanılabilir alternatif akım (AC) enerjisine dönüştürür. Panellerin kendisinden sonra, invertörler güneş enerjisi sistemindeki en önemli ekipmanlardır. Güneş enerjisi sistemi için kullanabilecek üç tip invertör vardır;

string (merkezi olarak da bilinir) invertörler, güç optimize edici sistemler (güç çeviriciler), ve mikro invertörler. Mikro invertörler ve güç optimize ediciler genellikle topluca “Modül Seviyesi Güç Elektroniği” veya MLPE “Module-Level Power Electronics” olarak adlandırılır [86]. Bu tiplerin her birinin kendine özgü olumlu ve olumsuz yanları vardır. Fotovoltaik uygulamanın yapısına göre en uygun invertör sistemi seçilir.

- Dize “string” İnvirtörler

Bir dize invertörü bir dizi güneş paneline bağlanıp ve gücü bir bütün olarak güneş sistemi için doğru akım (DC)’den alternatif akım (AC) elektriğine dönüştürür. Her panel dizisi, paneller tarafından üretilen DC elektriğini cihaz dostu AC elektriğe dönüştüren tek bir invertöre bağlanır. Şekil 5.37’de görüldüğü gibi, bir dize çevirici genellikle diziden kısa bir mesafede, güneş dizisi ve santral arasında korunaklı bir konumda konumlandırılmıştır. Bu tip, Avustralya’daki konut ve küçük/orta ticari sistemlerde kullanılan en yaygın invertör türüdür. Güneş panelleri “dizelerle” bağlı gruplar halinde düzenlenmiştir.



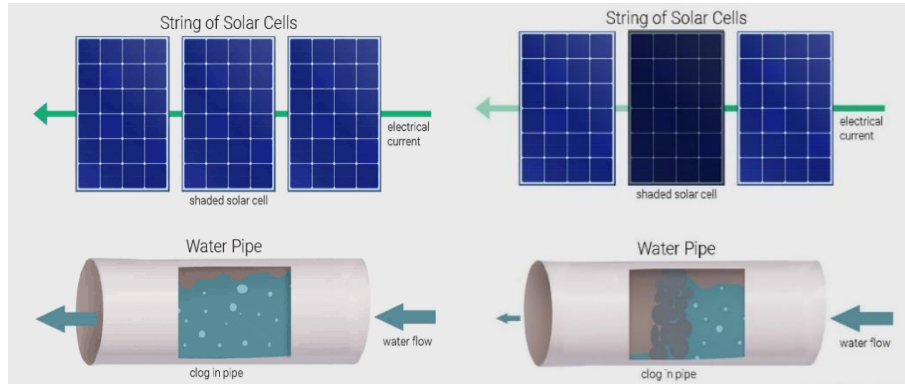
Şekil 5.37. PV panellerin dizilerine bağlı dize invertörler.

Dize invertör teknolojisi onlarca yıldır kullanılmaktadır. Denenmiş ve gerçek bir teknolojidir, ancak belirli kurulum türleri için uygun değildir. Bir dizi güneş paneli sadece en az üretken paneli kadar elektrik üretecektir. Ancak eğer güneş panellerinden biri veya daha fazlası günün herhangi bir bölümünde gölgelenirse,

tüm dizeden güç çıkışı seviyesine düşürülür. Bu nedenle, güneş panelleri farklı yönlerde monte edilirse, bir dize inverter iyi bir seçim olmayabilir.

Panelin daha az güç üretmesinin veya güç üretmeyi tamamendurdurmasının en yaygın nedenlerinden biri, yakındaki nesnelere gölgelendirmedir. Sezgisel olarak yorumlandığında panelin güç çıkışı gölgeli alana orantılı olarak azalacak olsa da durum tam olarak böyle değildir. Stanford Üniversitesi'nden Gil Masters'ın "Yenilenebilir Enerji ve Verimli Elektrik Güç Sistemleri" adlı kitabında, küçük bir güneş modülündeki 36 hücreden yalnızca bir tanesinin güç çıkışını % 75'in üzerinde azaltabildiğini göstermektedir.

Gölgelemenin neden bu kadar ciddi kayıplara yol açtığını kavramsallaştırmak için, akışkanlar mekaniğinin temel kanunlarından olan borularda akan suyun mantığını kullanmak faydalı olacaktır. Şekil 5.38'deki gibi tıpkı borudan geçen suyun akış hızı sabit olması gibi, verilen bir ışınım seviyesi için bir hücre dizisinden geçen akım sabittir. Bir güneş hücresinin gölgelenmesi, bir su borusunun tıkanmasına benzer. Borudaki tıkanıklık, tüm boru boyunca suyun akışını kısıtlar. Benzer şekilde, bir güneş paneli gölgelendiğinde, tüm dize boyunca akım azalır.



Şekil 5.38. PV dizilere kısmi gölgeleme koşulları.

- Mikro İnvörtörler

Tüm panellere tek bir inverterin bağlanmasının yerine, her bir panel çıkışına bağlı doğru akımdan (DC) alternatif akıma (AC) dönüştürebilen küçük bir inverter

bulunmaktadır. Bu mikro invertör bir MPPT'ye sahip olduğundan ve çıkışları paralel bağlandığından, her panel diğer panelleri etkilemeden maksimum güç noktasında çalışabilmektedir. Basit bir mikro invertör örneği Şekil 5.39'da gösterilmiştir.



Şekil 5.39. PV panellerine bağlı mikro invertörler.

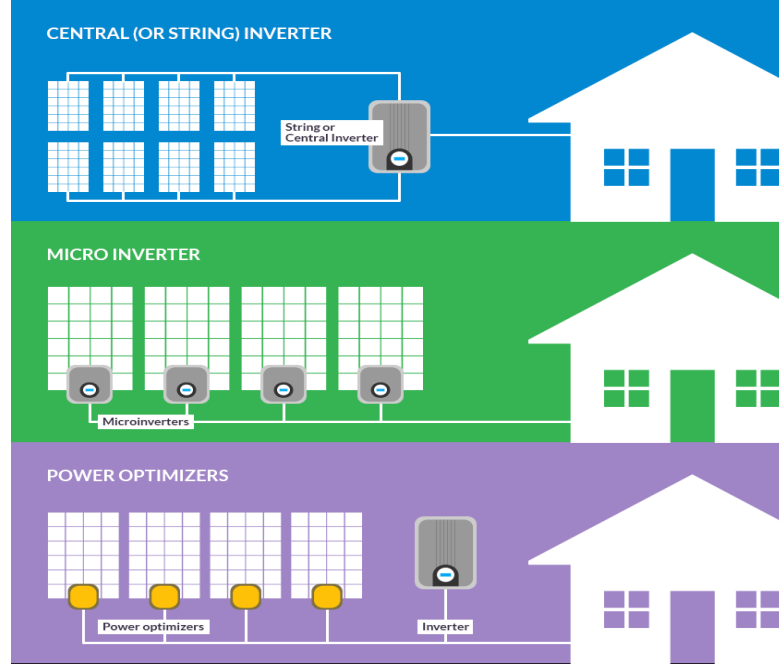
Mikro inverterlerin en büyük avantajlarından biri, kısmi veya tam gölgelemenin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmalarıdır. DC-AC elektrik dönüşümü her panelde gerçekleştiği için, bir panelin üretimi azaldığında “darboğaz” yoktur. Mikro inverterler ayrıca bireysel güneş panellerinin performansının izlenmesine olanak sağlar.

- Güç optimize ediciler

Güç optimize ediciler, mikro çeviricilerle aynı avantajların birçoğunu sunar, ancak daha pahalıdır. Güç optimizatörleri genellikle daha pahalı mikro inverterler ve standart string inverter arasında bir uzlaşma olarak kabul edilir.

Mikro inverterler gibi, güç optimize ediciler de her panelde bulunur ve genellikle panellerin kendilerine entegre edilir. Ancak, DC elektriğini panel sahasında AC elektriğe dönüştürmek yerine, DC elektriğini “koşullandırır” ve bir dize dönüştürücüye gönderir. Bu yaklaşım, sadece bir string inverterden daha yüksek sistem verimliliği sağlar.

Mikro invertörlere benzer şekilde, güç optimize ediciler panel gölgelendirmesinin sistem performansı üzerindeki etkisini azaltır ve ayrıca panel performans izlemesi sunar. Optimize edici kullanan sistemler genellikle mikro inverter kullanan sistemlerden daha ekonomiktir. Dize, güç optimize ediciler ve mikro invertörlerin tasarım şeması Şekil 5.40'ta özetlenmiştir.

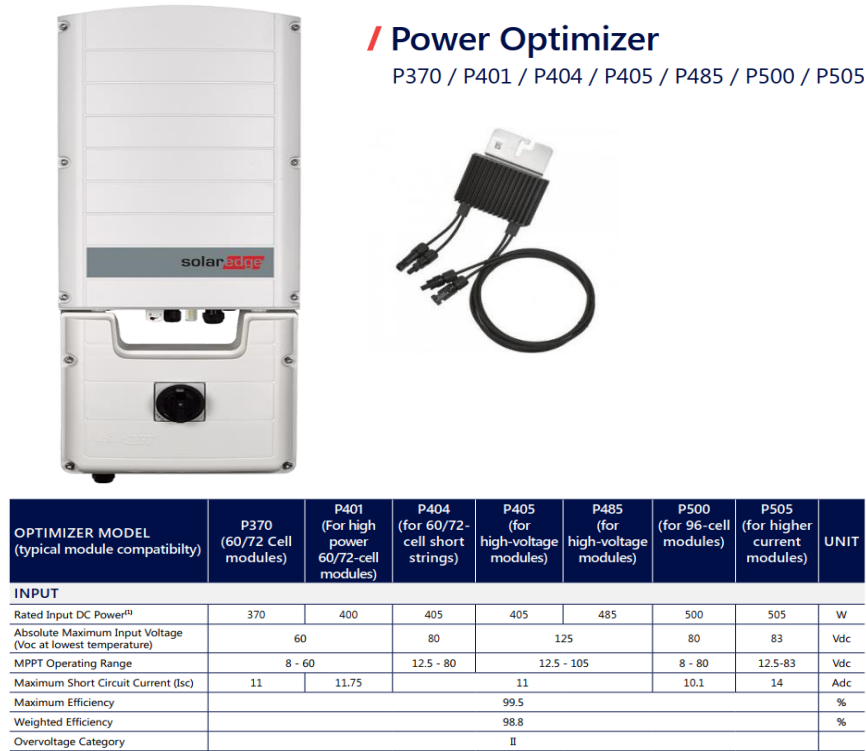


Şekil 5.40. Dize, güç optimize ediciler ve mikro invertörlerin tasarım şeması.

PV teknolojisinde uzun yıllardan beri dize invertörlerin kullanılması olağan hale gelmiştir. Fakat günümüzde PV sistemlerde birden fazla daha küçük invertör kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte, MLPE teknolojileri maliyetleri düşüktüğü hızla popülerlik ve pazar payı kazanmaktadır. Greentech Media "GTM" Araştırma 2014'ün başında ABD'de kurulan tüm konut güneş sistemlerinin yarısından fazlasının MLPE teknolojilerini kullandığını belirtmektedir.

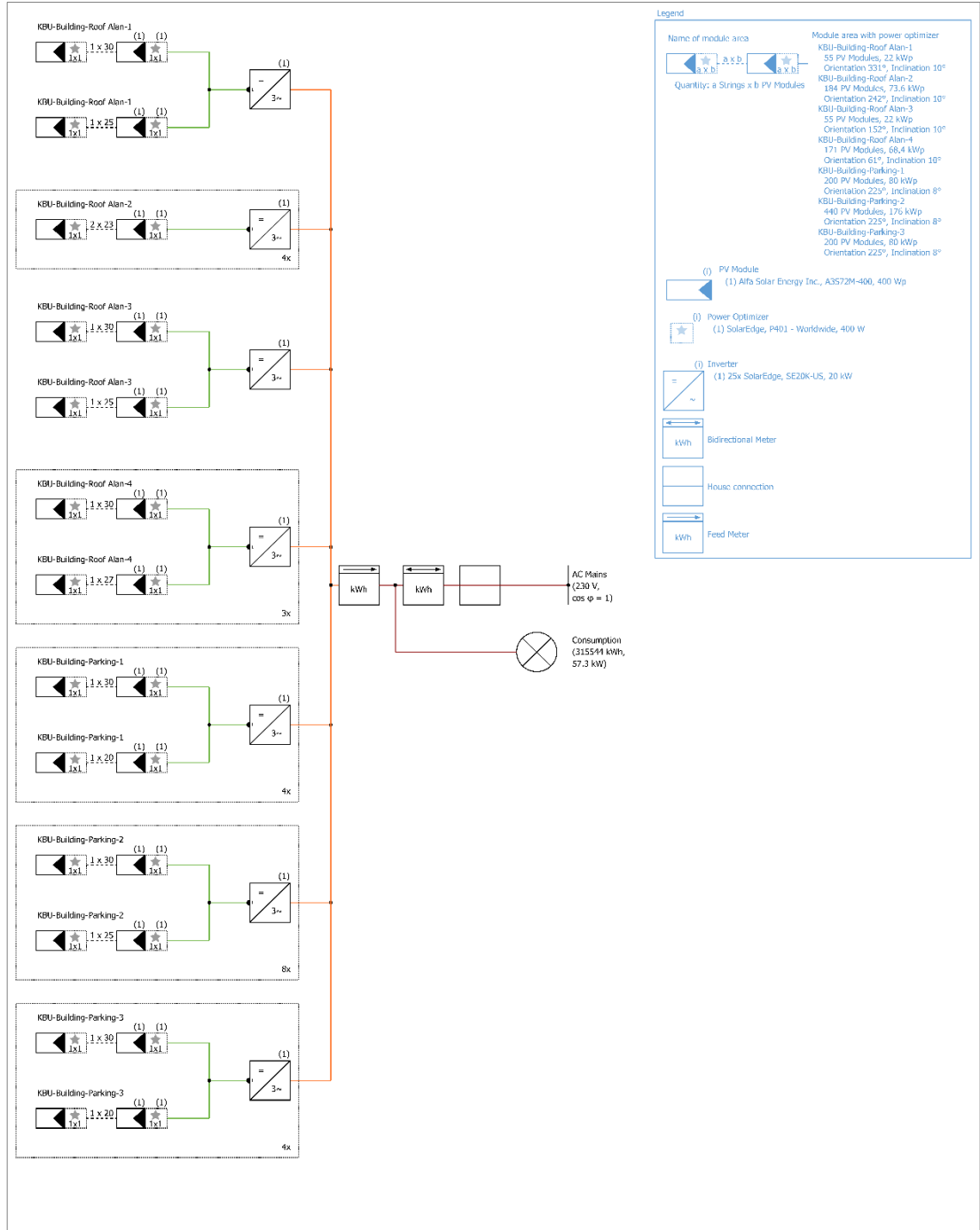
Bu kriterlere göre, invertörlerin daha verimli çalışabilmeleri için kurulması tasarlanan fotovoltaik sistemin kurulu gücüne yakın bir güçte invertör seçilmiştir. Bu nedenle, SolarEdge firmasının SE20K-US modeli olan 20 kW'lık bir evirici seçilmiştir. Güç optimize ediciler, aynı üreticiden merkezi bir inverter ile birlikte çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle SolarEdge firmasının P401 – Worldwide modeli olan bir

güç optimize edici seçilmiştir. Yazılım programı, sistem için gerekli inverter sayısını 25 olarak belirlemiştir. Seçilen inverter modeli ve inverterlere eklenen maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) konfigürasyonu Şekil 5.41’de gösterilmektedir. Fotovoltaik sistemlerde MPPT’ nin kullanılması sistemin çıkış gücünü artırır ve bu nedenle panel gücünden daha yüksek verimlilikte faydalanılarak daha az panel kullanımı ile yatırım maliyeti düşürülmüş olur. Bu yüzden kullanılacak MPPT sayısı çok önemlidir. Olabildiğince fazla MPPTli inverterler demek daha heterojen yapıya sahip yüzeylerde ve koşullarda rahat bir projelendirme imkanı sunacağı anlamındadır.



Şekil 5.41. SolarEdge invertör konfigürasyonu.

Şekil 5.42’de tasarlanan şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin blok şemasında, başta 25 invertör bulunmakta olup bu 25 invertör’e bağlı her invertörde ise toplamda 50 ila 55 adet PV modül kullanılmıştır. İkinci invertör’e bağlı modüller de oluşan 2’şer string bölgelerine ayrılmıştır. Öteki taraftan, diğer inverterlere bağlı bölgeler ise farklı sayılı modüllerden oluşan 1’li string bölgelerine ayrılmıştır.



Şekil 5.42. Tasarlanan fotovoltaik sistemin blok şeması.

Paneller evirici yardımıyla, yapının elektrik sistemini beslemekte, hatta paralel olarak bağlı olan şebeke sistemi ise çift yönlü sayacı sayesinde, olası panellerin yapıyı besleyememesi durumunda yapının elektrik ihtiyacını karşılayacak şekilde bağlanmıştır.

Aküler, güneş enerjisinin olmadığı günlerde ya da güneşsiz günlerde elektrik enerjisinin kullanılabilmesi amacıyla güneşli günlerde elektrik enerjisinin depolanmasında kullanılır. Akü grupları çok maliyetli olması ve belli bir kullanım yılından sonra verimlerinde düşüş olması nedeniyle genellikle bu tip büyük ölçekli projelerde kullanılması tercih edilmez.

Simülasyonu gerçekleştirilmiş olan çalışmada, yıllık tüketim 315544 kWh, panel kurulu gücü 522 kWp, 1305 adet panel, 25 adet evirici ve bu güneş panellerine bağlı 1305 adet güç optimize edici bulunmaktadır. Maliyet analizinin gerçekleştirilmesi için ayrıca; kablolama, konstrüksiyon, işçilik + nakliye ve elektriksel ekipmanların (koruma ekipmanları, topraklama vs.) da göz önünde bulundurulması gerekir. Kurulması tasarlanan sistemde kullanılan parça listesi ve adet sayısı Çizelge 5.5’de listelenmiştir.

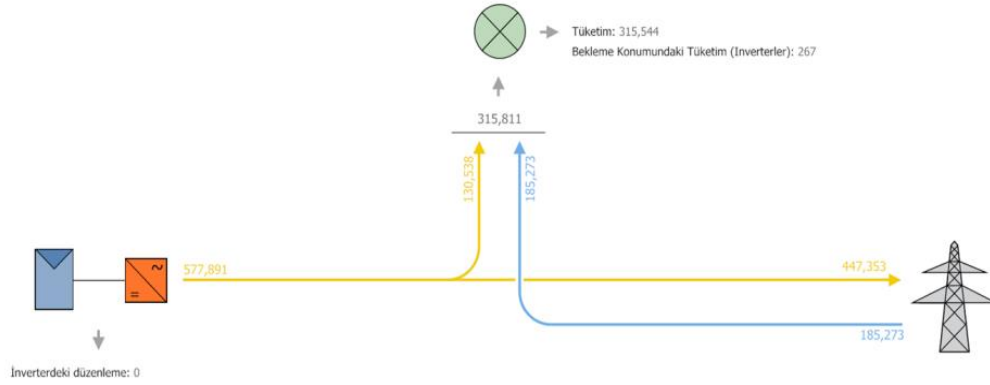
Çizelge 5.5. PV sistemde kullanılan parça listesi.

Ekipman	Fiyatı	Adedi	Toplam
Monokristal PV paneller	150 \$	1305	195.750 \$
20 kW evirici	1600 \$	25	40.000 \$
Güç optimize edici	80 \$	1305	104.400 \$
Kablolama		2500 \$	
İşçilik+nakliye		2500 \$	
Konstrüksiyon		2350 \$	
Elektriksel ekipmanlar		2500 \$	
Toplam			350.000 \$

Yapılan bu araştırmalar sonucunda, şebekeye bağlı bir sistem kurulmak istendiğinde toplam kurulum maliyeti yaklaşık olarak 350.000 \$ (yaklaşık 6 milyon TL) olmaktadır. Revit programındaki GBS analiz sonucunda verilen yapının yıllık elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık olarak 315.544 kWh civarındadır. Buna göre, şebekeye bağlı bir sistem oluşumu göz önünde bulundurulduğunda, amorti süresi yaklaşık olarak 6.7 yıl olarak gözükmektedir. Bunun yanı sıra, şebeke bağımlı sistemlerde, yükün fazlasını şebekeye satma durumu oluştuğunda ise ek getiri durumu söz konusu olabilmektedir.

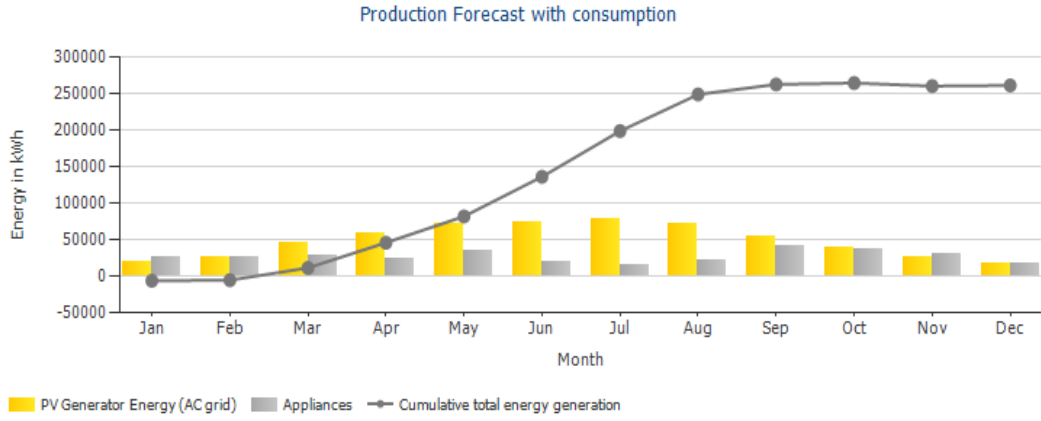
Çalışmada, Karabük Üniversitesi kampüsünde ÖİM binasında ve otopark alanında PV sistemi tasarlanmış ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Tasarım ve benzetim işlemleri PVSOL Premium 2020 yazılımı ile yapılmıştır. PVSOL yazılımı ile yapılan tasarım sonucunda 1305 adet modül dört ayrı çatı alanı ve üç ayrı otopark alanı için yerleştirilmiştir. Evirici, güç optimize edici seçimleri yazılım üzerinden yapılmıştır. Yazılımın eviriciler için konfigürasyonu kendi veri tabanı üzerinden otomatik olarak yapabilme özelliği vardır. Seçilen ekipmanların adet fiyatları yazılıma işlenerek yazılımın maliyet analizi de yapması sağlanmıştır. Şekil 5.43'te tasarlanan güneş santraline ait simülasyon sonucu elde edilen enerji akış diyagramı bulunmaktadır. Bu diyagrama göre, ÖİM binası için kurulan PV sistemi yıllık 577.891 kWh üretimin yapıldığı hesaplanmıştır. Simülasyon programında hesaplamalara göre, 315.544 kWh olan tüketimin 130.538 kWh'i kurulan güneş enerji sisteminden 185.237 kWh'i şebekeden sağlanmıştır. Ayrıca simülasyon programı verilerine göre, tüketimin az olduğu zamanlarda şebekeye 447.353 kWh'lik enerji satışı olacağı hesaplanmıştır.

Enerji akışı grafiği
Proje: KBÜ Öğrenci İşleri Merkezi



Şekil 5.43. PV sistemin enerji akış grafiği.

Şekil 5.44'te PV sisteminin aylara göre enerji üretim tablosunda sarı renkli çubuklar PV jeneratör enerjisi miktarını, gri çubuklar doğrudan öz tüketim miktarını ifade etmektedir. Bu grafiğe göre PV sisteminin ürettiği enerji miktarı tüketim miktarından daha fazladır. En çok enerji üretimi yaz aylarında olup en yüksek değer Mayıs ayında ve en düşük değer ise Aralık ve Ocak aylarında gerçekleşmiştir.



Şekil 5.44. PV sistemin üretim tahmini.

Yapılan simülasyon sonucu tasarlanan PV sistemin tümünden elde edilebilecek yıllık elektrik enerjisi miktarı 577.891 kWh olarak elde edilmiştir. Sistemin performans oranı yazılım tarafından %77.5 olarak hesaplanmıştır. Performans oranı, belirli bir sistem ortamında potansiyel PV enerjisi üretiminin verimliliğini tanımlar. Simülasyon sonucu üretilen elektrik enerjisi miktarı ÖİM binasının gerçek yıllık elektrik tüketim miktarı ile karşılaştırıldığında, tasarlanan PV sistemin bu tüketimin karşılayabileceği görülmekte, başka deyişle bu sistemin otarşi derecesindedir (kendi kendine yetme derecesi). Ayrıca, şebekeye 447.353 kWh'lik enerji satışı olacağı hesaplanmıştır. Ayrıca PV sistemin önemli avantajlardan biri de sistemin kurulumu ile önlenebilecek CO₂ emisyonu miktarının yılda 271,609 kg olacağıdır.

5.3.2. Rüzgar Enerji Potansiyel Analizi

Rüzgar coğrafi konum ile koşullarla ve zamanla değişim gösteren bir enerji kaynağıdır. Yerel değişimler lokal coğrafi şartlara bağlıdır. Rüzgar enerjisi projelerinde rüzgar türbininin yerleşim çalışmalarında proje sahasının tasarım ve planlamasında rüzgarın karakteristikleri ve belirlenen karakteristiklerin zaman içindeki dağılım ve değişiminin büyük bir özenle ortaya konması çok önemlidir. Genellikle herhangi bir yerde, rüzgarın zamanla değişimi; yıllar arası, yıllık, günlük ve kısa periyotlu olmak üzere dört farklı katagoride incelenebilir [83].

Rüzgarın günlük gözlemlerindeki değişimler; yıllara, mevsimlere, günlere hatta saatlere göre özellikle rüzgarlı bölgelerde enerji üretimi ve yatırımı açısından önemlidir. Rüzgar hızının mevsimsel, günlük, hatta saatlik değişimleri ve rüzgar gücü parametreleri rüzgar türbininin kurulmasına karar verilmeden önce dikkatli bir şekilde incelenmeli ve analiz edilmelidir [83].

Bir bölgede rüzgar türbinlerin kurulması için o bölgede bir yıl süreyle (365 x 24 = 8760 saat) yapılan rüzgar hız ve yön ölçümleri gerekmektedir. Daha güvenilir bir hesaplama için rüzgar türbinleri kurulacak bölgenin on yıllık rüzgar verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu süre çok uzun bir süre olduğundan; bir yıllık rüzgar verileri Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımı başta olmak üzere, çeşitli istatistiksel metotlar, yatırımcılar tarafından kullanılarak bölgenin rüzgar potansiyeli analiz edilmektedir [83].

5.3.2.1. Tanımlayıcı Rüzgar İstatistikleri

Merkezi eğilim, merkezi bir değere yaklaşan bir veri kümesinin eğilimi anlamına gelir. Merkezi eğilimi tanımlamak için kullanılan istatistikler, bir veri dizisinin temsili değerini veya merkez değerini yansıtır. Bir veri dizisinin ortalaması, genellikle aşağıdaki gibi hesaplanan ve merkezi eğilimi tanımlamak için kullanılan terimdir [84].

$$v_{ort} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (5.13)$$

Eş. (5.13)'te v_{ort} ; ortalama hız değeri, v_i ; veri dizisinin bir değeri ve n ; bu veri dizisinde yer alan verilerin sayısıdır. Ortalama değere göre veri dizisinin yayılma derecesi, aşağıdaki gibi ifade edilen standart sapma (σ) değeri ile tarif edilebilmektedir.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - v_{ort})^2} \quad (5.14)$$

Rüzgar Hızının Değişkenlik Ölçüsü; Türbülans Yoğunluğu

Rüzgar türbinlerinin ömrünü etkileyen faktörlerden biri türbülans yoğunluğudur. Türbülans, ortalamadan olan sapmaların düzeyini ifade etmektedir. Tanım olarak en basit yöntemle ölçülen, aynı periyottaki, rüzgar hızlarının standart sapmasının ortalama rüzgar şiddetinin değerine bölünmesiyle elde edilir. Türbülans yoğunluğu aşağıdaki Eş. (5.15) ile hesaplanabilmektedir [84];

$$I = \frac{\sigma_v}{v_{ort}} \quad (5.15)$$

Burada σ , her zaman aralığında rüzgar hızı standart sapmasıdır, v_{ort} ortalama rüzgar hızıdır. Türbülans yoğunluğu rüzgar hızı arttıkça azalır. Benzer şekilde yer seviyesinden olan yüksekliğin artması ile rüzgar hızı artarken türbülans yoğunluğu azalmaktadır. Türbülans yoğunluğu 0,25 değerinden çok büyük ($I \leq 0,25$) olmamalıdır. Türbülans yoğunluğunun 0,25 değerinden daha büyük sahalarda yüksek türbülans yoğunluklu bölgeler olarak adlandırılmıştır. Türbülans yoğunluğunun yüksek olması, özellikle rüzgar türbinine etki eden kuvvetlerin etkisinin daha da artarak malzeme yorulmasına ve ekonomik ömrünün azalmasına yol açmaktadır. Bununla birlikte son yıllarda teknolojinin gelişmesi ile yeni nesil rüzgar türbinleri yüksek türbülans yoğunluğunda da çalışabilen türbinler geliştirilmektedir [84].

Rüzgar hızı dağılımının belirlenmesinde kullanılan pek çok dağılım fonksiyonu vardır. Bu çalışmada, rüzgar enerjisi potansiyelini belirleyebilmek için parametrelili Weibull dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Weibull dağılım fonksiyonunun parametreleri özellikle bölgenin rüzgar potansiyeli hakkında genel bilgi vermektedir. Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu iki parametreden (k ve C) oluşmaktadır. k şekil parametresi 1 ile 10 arasında değişmekte olup, C ölçek parametresi ise bölgenin rüzgar hız potansiyeline bağlı olarak değişmektedir. Bu parametreler sayesinde bölgenin ortalama rüzgar hızı ve ortalama rüzgar gücü değerleri tahmin edilmiştir. Ortalama rüzgar hızı ve enerji potansiyelinin belirlenmesi için öncelikle Weibull parametreleri, şekil parametresi (k) ve ölçek parametresinin (C) bulunması gereklidir. Bunun için çeşitli metotlar vardır. Bunlar, grafik metodu, maksimum benzerlik metodu, moment metodu, enerji eğilim metodu, emprical metot ve enerji pattern metodu bu

yöntemlerden bazılarıdır. Bu çalışmada grafik metodu ve moment metodu kullanılmıştır. Kullanılan metotların açıklandığı kısımlarda detaylı şekilde verilmiştir.

Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

Weibull olasılık dağılım fonksiyonu; ilk olarak Waloddi Weibull tarafından 1951 yılında, makinelerin yaşam sürelerini tahmin etmek maksatıyla soyadını vererek meydana çıkarmış olduğu bir dağılım formülü olup, günümüzde bu dağılım daha esnek ve sade yapısı nedeniyle, veri analizlerinde ve mühendislik alanlarında yer alan çeşitli istatistiksel modellerde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle; iki parametreden (c ve k) oluşan Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu $f_w(v)$, esneklik ve sadeliğinden dolayı ekseriyetle rüzgar enerjisi potansiyelinin hesaplamalarında en çok kullanılan matematiksel bir yöntemdir [85].

Rüzgar hızı için İki Parametrelili Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel formu aşağıdaki Eş. (5.16)'da verilmektedir [85].

$$f_w(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (5.16)$$

Burada, v rüzgar hızı (m/s), k şekil parametresini, C ölçek parametresini ve $f_w(v)$ ise, rüzgar hızı Weibull olasılık yoğunluğu fonksiyonunu ifade etmektedir. Ortalama rüzgar hızı ve enerji potansiyelinin belirlenmesi için öncelikle Weibull parametreleri k ve c 'nin bulunması gereklidir.

Weibull kümülatif olasılık dağılım fonksiyonunu $F_R(v)$ ise Eş. (5.17)'de verildiği şekilde hesaplanmıştır [85].

$$F_R(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (5.17)$$

Şekil parametresi k ; rüzgar hızı dağılım şeklini, yani rüzgar esme sıklığını gösteren bir parametredir.

Weibull parametrelerini bulmak için kullanılan metodlar

- **Grafik Metodu**

Grafik metodu Weibull dağılımı parametrelerinin tahminlenmesinde, kullanılan diğer bir yöntemdir. Grafik yöntemde, rüzgar verilerini temsil eden noktalara bir eğri uydurma prensibi amaçlanır. Bunu yapmanın bir yolu, veri noktaları ve eğri arasındaki farklılıkları minimum yapan bir eğri türetmektir. Bu amacı gerçekleştirmek için en küçük kareler regresyonu diye adlandırılan bir teknik uygulanır. Bu nedenle bazı literatürlerde bu metot, en küçük kareler yöntemi diye de adlandırılır. Grafik yönteminde, Weibull olasılık dağılımının parametreleri grafik çizilerek hesaplanır, yani burada herhangi bir hesaplama yoktur. Grafik yönteminde öncelikle veri küçükten büyüğe doğru sıralanır ve her bir gözlem değeri için sıra meydanları hesaplanır. Verilerin sıra meydanları belirlendikten sonra, grafik üzerinde veri ve sıra meydanları çizilir [86].

Bu yöntemde, Eş. (5.17) lineer bir formda yazmak için eşitliğinin her iki tarafının da iki defa logaritması alınır [86],

$$F_R(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^k};$$

$$e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^k} = 1 - F_R(v);$$

$$-\left(\frac{v}{C}\right)^k = \ln(1 - F_R(v));$$

$$k \ln v - k \ln C = \ln(-\ln(1 - F_R(v)))$$

eşitliği bulunur. Burada $x_i = \ln v$, $y_i = \ln(-\ln(1 - F_R(v)))$, $k = A$, $B = -k \ln C$ kabul edilirse;

$$y_i = Ax_i + B \tag{5.18}$$

şeklinde lineer bir denklem bulunur. Weibull parametrelerinin bulunmasıyla birlikte ortalama rüzgar hızı ve rüzgar enerji potansiyeli Eş. (5.19-5.20)'deki gibi hesaplanmıştır [86];

$$v_{ort} = C \Gamma \left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (5.19)$$

$$P_w = \frac{1}{2} \rho C^3 \Gamma \left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (5.20)$$

Burada ρ havanın yoğunluğu ($1,209 \text{ kg/m}^3$), Γ gama fonksiyonudur.

Küpkök ortalama hız ise Eş. (5.21)'deki gibi hesaplanmıştır [86];

$$v_{rmc} = \left[C^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k}\right) \right]^{\frac{1}{3}} \quad (5.21)$$

Rüzgar enerji yoğunluğu potansiyeli (birim rotor alanı başına güç potansiyeli) Eş. (5.22) bağıntısı ile hesaplanabilmektedir:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho v_{rmc}^3 \quad (5.22)$$

Belli bir periyottaki enerji potansiyeli Eş. (5.23) bağıntısı ile hesaplanabilmektedir;

$$P_I = P_w \cdot T \quad (5.23)$$

Burada T periyot uzunluğudur. Eğer T=24 alınırsa, P_I günlük enerji değerini, T=8760 (365 gün*24 saat) alınırsa P_I enerji yıllık miktarını verir.

Mod hızı (en sık görülen hız) Eş. (5.24) bağıntısı ile hesaplanabilmektedir [90];

$$v_{mod} = C \left[\frac{k-1}{k} \right]^{\frac{1}{k}} \quad (5.24)$$

Diğer yandan, rüzgar rejiminde hız değerleri değişkendir ve toplam enerji hesaplanırken, bütün hızlar hesaba dahil edilmiştir.

Rejime maksimum enerjiyi sağlayan hız:

$$v_{P,max} = \frac{C(k+2)^{\frac{1}{k}}}{k^{\frac{1}{k}}} \quad (5.25)$$

Böylelikle ele alınan konumdaki rüzgar enerjisi potansiyeline dair tüm verilerden hareketle belli bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli hesapları yapılabilmektedir.

- **Moment Yöntemi**

Moment yöntemi, Weibull dağılımı parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan en eski yöntemlerdendir. Moment yöntemi dağılımın ortalaması ve standart sapması arasındaki ilişkiyi şekil parametresi için çözen bir yöntemdir. Dağılımın standart sapması, ortalaması ve şekil parametresi hesaplandıktan sonra ölçek parametresi hesaplanabilmektedir [86].

Ölçek parametresi Eş. (5.26)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$k = \left(\frac{\sigma_v}{v_{ort}} \right)^{-1,091} \quad (5.26)$$

Şekil parametresi (k) ise Eş. (5.27) ile ifade edilmektedir.

$$C = \frac{v_{ort}}{\Gamma(1+\frac{1}{k})} \quad (5.27)$$

Burada σ , Standart sapmayı ve v_{ort} , Ortalama hızı ifade edilmektedir.

Weibull olasılık dağılım fonksiyonu $f_w(v)$ ile rüzgar türbininin enerji üretim fonksiyonu $f_T(v)$ kullanılarak T_P periyodu süresince (yıllık üretim için $T_P = 24 \times 365 = 8.760$ saat) üretilecek rüzgar enerjisi aşağıdaki Eş. (5.28) ile hesaplanır [86];

$$E_{Toplam} = T_P \int_{v_{min}}^{v_{maks}} f_w(v) \cdot f_T(v) \cdot dv \quad (5.28)$$

5.3.2.2. Karabük İli Rüzgar Enerji Potansiyeli ve Yıllık Üretim Tahmini

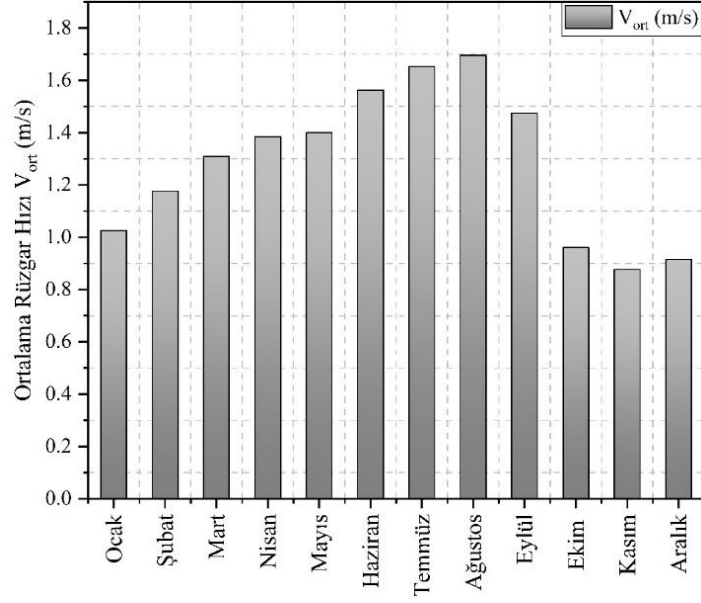
Çalışmada, Karabük ilindeki Kapullu Köyü'nde kurulan ölçüm istasyonundan alınan veriler ve Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden (MGM) alınan veriler ile rüzgar enerjisi tahmin modellemeleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.45'te görüldüğü gibi, ölçüm istasyonunun kurulduğu Kapullu köyü, Karabük şehir merkezine yaklaşık 4,2 km ve Karabük üniversitesine 2,7 km uzaklıktadır. Karabük'ün kuzeyinde, 480 m yüksekliğindedir.



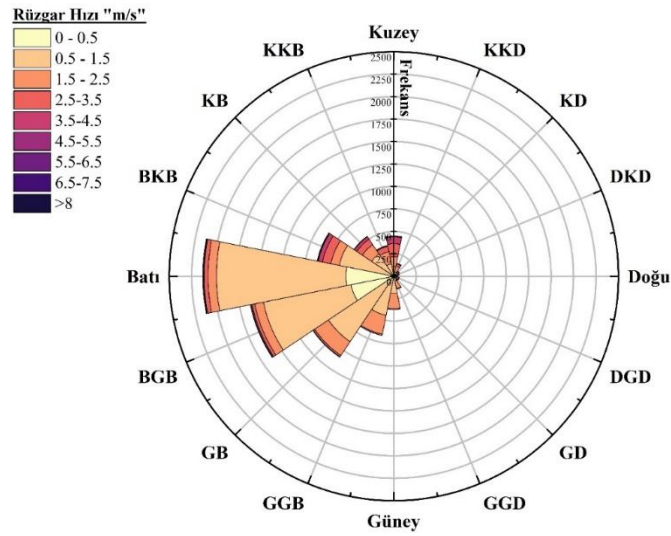
Şekil 5.45. Karabük'teki rüzgar gözlem istasyonu (RGİ) konumu.

Kapullu Gözlem İstasyonu Verileri

Kaydedilen verilere ortalama aylık rüzgar hızı Şekil 5.46'da verilmiştir. Aylık ortalama maksimum rüzgar hızı ve aylık ortalama minimum rüzgar hızı, Ağustos ayında sırasıyla 1,69 m/s ve Kasım ayında 0,87 m/s olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama rüzgar hızı yaklaşık 1,28 m /s olarak değerlendirilmiş ve Karabük iline ait rüzgar gülü Şekil 5.47'de gösterilmiştir.



Şekil 5.46. Karabük Kapullu gözlemlenen aylık ortalama rüzgar hız verileri.



Şekil 5.47. Karabük Kapullu rüzgar gülü.

Şekil 5.47 incelendiğinde, Karabük bölgesinde 2018–2019 arası yıllık rüzgar esiş yönü verileri gösterilmiştir. Karabük bölgesi için ağırlıklı olarak rüzgar esiş yönlerinin batı ve güneybatı olduğu görülmektedir.

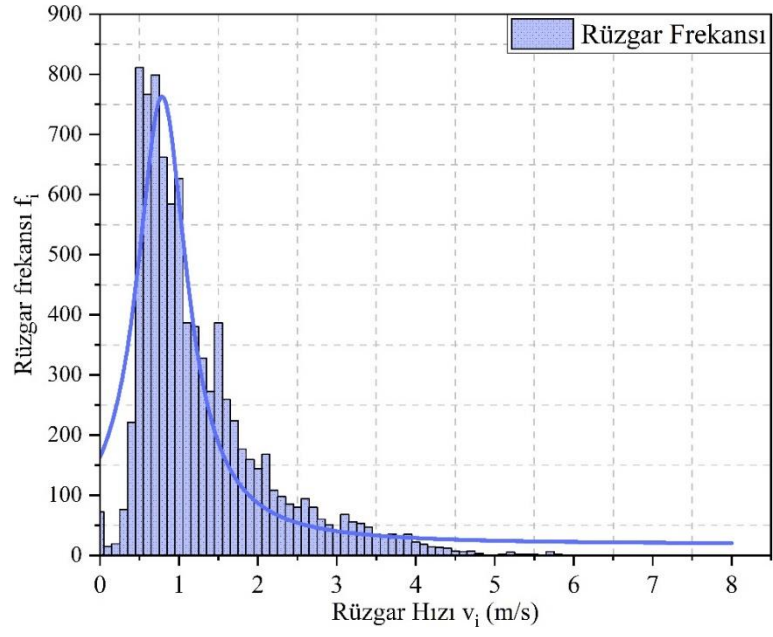
Karabük Üniversitesi'nin rüzgar potansiyelini belirlemek için Kapullu istasyonunun konumu olan 1 yıl boyunca (01.01.2018 ile 01.01.2019 arası) saatlik (8759 saat) rüzgar verileri kullanılmıştır. Bu veriler ile Weibull dağılımını hesaplamak için rüzgar hızı

değerlerine bağlı olarak frekans değerleri ve standart sapma değerlerine Çizelge 5.6'daki gösterildiği gibi ulaşılmıştır.

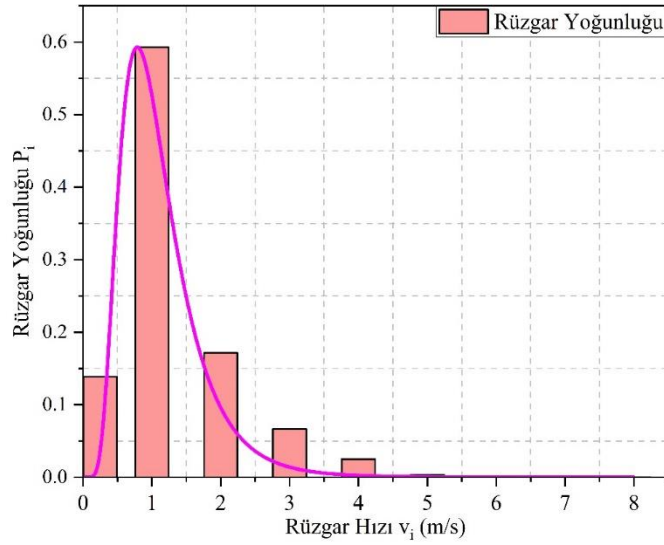
Çizelge 5.6. Saatlik rüzgar hızlarının periyodik frekansı ve olasılığı.

	Hız Aralıkları	Hız	Frekans “Esme Sayısı”	Frekans Birikimli	Rüzgar Yoğunluğu		Standart Sapma
i	v_i	v_i	f_i	F_i	P_i	$f_i \cdot v_i$	$(v_i - v_{ort})^2 \cdot f_i$
0	0 – 0.5	0,25	1214	1214	0.1386	303.5	1336.631
1	0.5 – 1.5	1	5193	6407	0.5929	5193	465.167
2	1.5 – 2.5	2	1502	7909	0.1715	3004	737.469
3	2.5 – 3.5	3	585	8494	0.0668	1755	1692.058
4	3.5 – 4.5	4	220	8714	0.0251	880	1604.641
5	4.5 – 5.5	5	31	8745	0.0035	155	424.552
6	5.5 – 6.5	6	10	8755	0.0011	60	220.967
7	6.5 – 7.5	7	2	8757	0.0002	14	64.996
8	7.5 – 8.5	8	2	8759	0.0002	16	89.799
Toplam			8759		1	11380,5	6636.281
$v_{ort} = \frac{\sum f_i \cdot v_{mi}}{\sum f_i} = \frac{11380,5}{8759} = 1,299 \text{ m/s}$				$\text{Std Sapma } \sigma_v = \sqrt{\frac{\sum (v_{mi} - v_{ort})^2 \cdot f_i}{\sum f_i}} = \sqrt{\frac{7338,662}{8759}} = 0,915$			
Türbülans Yoğunluğu; $I_T = \frac{\sigma_v}{v_{ort}} = \frac{0,915}{1,264} = 0,724$							
* Türbülans yoğunluğunun 0.25 den büyük olduğu alanlara rüzgar enerji santrali kurmaktan kaçınılmalıdır.							

Çizelge 5.6'daki hesaplanıp listelenmiş olan frekans (f_i) değerlerinin ve rüzgar yoğunluğunun grafiği Şekil 5.48-5.49'da görülmektedir. Bu diyagramlara göre kaydedilen verilerde ölçüm süreleri boyunca en uzun süre görülen rüzgar hızları; 0,5 m/s ile 1,5 m/s aralığında olup en uzun süre görülen hız değeri, 750 saat ile 1 m/s'dir.



Şekil 5.48. Ölçüm verilerinin frekans (f_i) grafiği.

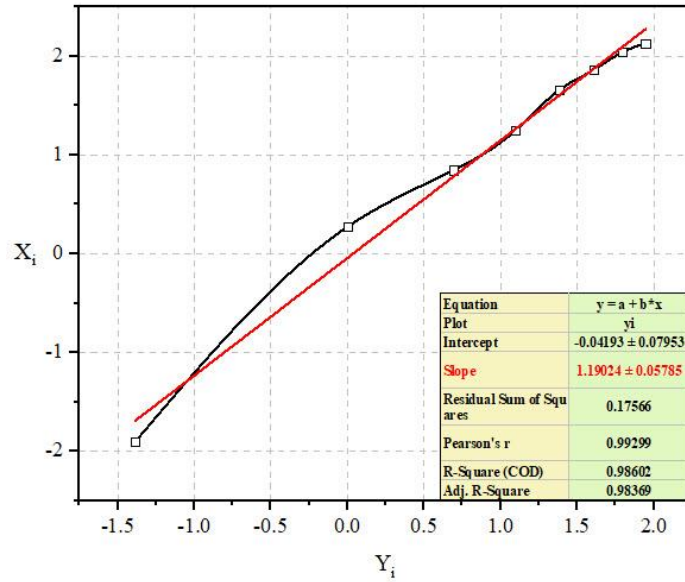


Şekil 5.49. Ölçüm verilerinin esme yoğunluğu (P_i) grafiği.

Weibull dağılım parametrelerini tahmin için Grafik Metodu kullanarak 2018 yılına ait saatlik rüzgar hızlarının kullanılması ile elde edilen x_i ve y_i düzeninin hesaplamaları Çizelge 5.7’de verilmiş ve oluşturulan grafik Şekil 5.50’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Weibull dağılımı hesabı için grafik metodu.

Hız Aralığı	Hız	x_i	Frekans “Esmeye Sayısı”	Rüzgar Yoğunluğu	Y_i
v_{mi}	v_i	$x_i = \ln(v_i)$	f_i	P_i	$Y_i = \ln(-\ln(1 - P_i))$
0-0,5	0,25	-1,386	1214	0,1386	-1,902
0,5-1,5	1	0,000	5193	0,5929	0,274
1,5-2,5	2	0,693	1502	0,1715	0,847
2,5-3,5	3	1,099	585	0,0668	1,252
3,5-4,5	4	1,386	220	0,0251	1,662
4,5-5,5	5	1,609	31	0,0035	1,862
5,5-6,5	6	1,792	10	0,0011	2,040
6,5-7,5	7	1,946	2	0,0002	2,126
7,5-8,5	8	2,079	2	0,0002	-
Toplam		9.218	8759	1	8.162



Şekil 5.50. Saatlik rüzgar hızlarının X_i ve Y_i düzeninin grafiği.

Çizelge 5.7’den elde edilen “ X_i ” ve “ Y_i ” değerleri kullanılarak Şekil 5.50’deki grafiğe ulaşılmıştır ve çizilen grafikte yer alan kesişim noktası denkleminde ($y = 1,19024x - 0,05785$) de “ k ” ve “ C ” parametrelerine ulaşılabilmektedir. Buna göre,

$a = k = 1,19024$ ve $b = 0,05785$; $C = 1,0498$ olarak bulunmuştur. Weibull parametrelerinin bulunmasıyla birlikte ortalama rüzgar hızı ve rüzgar enerji potansiyeli aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$v_{ort} = C \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) = 1,0498 \Gamma \left(1 + \frac{1}{1,1902} \right) = 0,989 \text{ m/s}$$

$$P_W = \frac{1}{2} \rho C^3 \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) = \frac{1}{2} \cdot 1,209 \cdot (1,0498)^3 \cdot \Gamma \left(1 + \frac{3}{1,1902} \right) = 2,377 \text{ W/m}^2$$

Moment yönteminde, dağılımın standart sapması ($\sigma_v = 0.915$) ve hız ortalaması değerleri ($v_{ort} = 1.29 \text{ m/s}$) kullanılarak Eş. (5.25-5.26) ile şekil parametresi ($k = 1.548$) ve ölçek parametresi ($C = 1.444$) olarak hesaplanmıştır.

Buna göre, Karabük bölgesinde Weibull dağılım fonksiyonunun Grafik ve Moment metotları kullanılarak k ve c parametreleri elde edilmiştir. Bu parametrelerin kullanılması ile ortalama rüzgar hızı ve ortalama rüzgar gücü verileri elde edilmiştir. Her iki metot kullanılarak bulunan ortalama hızlar, güç yoğunlukları, şekil ve ölçek parametreleri Çizelge 5.8'de verilmiştir. Rüzgar potansiyeli belirlenmesinde kullanılan bu iki yöntemin karşılaştırılması sonucunda da neredeyse aynı değerlere ulaşıldığı görülmüştür.

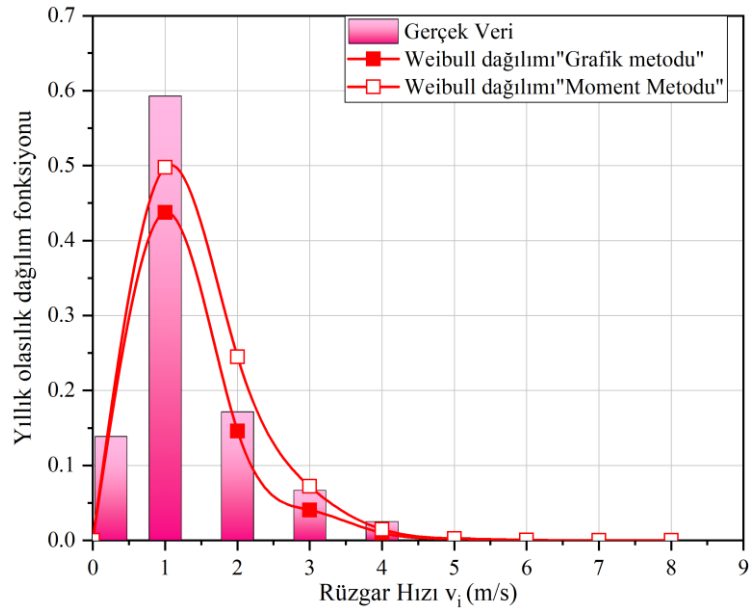
Çizelge 5.8. Kullanılan metotlara göre Weibull dağılım fonksiyonu parametreleri.

Parametreler	Grafik metodu	Moment metodu
k	1,1902	1,548
C	1,0498	1,444
v_{ort}	0,989 m/s	1.299 m/s
P_W	2,377 W/m ²	3,443 W/m ²

Rüzgar hızı süreleri ile Weibull dağılımının moment ve grafik metotlardan elde edilen sonuçları Çizelge 5.9'da görüldüğü gibi listelenmiş ve ölçüm verileri ile karşılaştırılması Şekil 5.51'de verilmiştir.

Çizelge 5.9. Weibull fonksiyonu farklı metotlarına göre dağılım sonuçları.

Hız v_{mi}	Weibull dağılımı $f_w(v)$		Weibull Birikimli dağılımı $F_w(v)$	
	Grafik metodu	Moment metodu	Grafik metodu	Moment metodu
0	0	0	0	0
1	0.4375	0.4975	0.6167	0.4322
2	0.1460	0.2448	0.8879	0.8089
3	0.0406	0.0721	0.9711	0.9550
4	0.0101	0.0148	0.9932	0.9921
5	0.0023	0.0023	0.9985	0.9989
6	0.0005	0.0003	0.9997	0.9999
7	0.0001	0	0.9999	1
8	0	0	1	1



Şekil 5.51. Weibull dağılım fonksiyonunun rüzgar hızı ile değişimi.

Ölçülen veriler sonucunda Weibull Dağılımı bölümünde yer alan denklemler kullanılarak Excel'de hesaplanmış rüzgar hızı, rüzgar gücü ve rüzgar enerji potansiyeli değerleri Çizelge 5.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.10. (01.01.2018 - 01.01.2019) yılına ait rüzgar potansiyeli bulguları.

Değişkenler	Birimler	Sonuçlar	
		Grafik metodu	Moment metodu
Ölçek parametresi	k	1.1902	1.548
Şekil parametresi	C (m/s)	1.0498	1.444
Ortalama hızı	v_{ort} (m/s)	0.989	1.299
Mod hızı	v_{mod} (m/s)	0.2249	0.7383
Maksimum hızı	v_{maks} (m/s)	2.4037	2.4675
Küpkök ortalama hız	v_{rmc}	1.5786	1.7854
Rüzgar gücü potansiyeli	P_E (W/m ²)	2.3779	3.4404
Enerji potansiyeli	P_I (kWh/m ² -yıl)	20.8276	30.13433
Teorik üretilebilir enerji	P_T (kWh/m ² -yıl)	12.28828	17.77926

Bütün bu bulgulardan yola çıkarak, yapılan analizlerden elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir,

- Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğüne ait olan Kapullu istasyonun bulunduğu yerdeki rüzgar yoğunluğu oldukça düşüktür. Bu düşük güç yoğunluğu ve aylık rüzgar hızı değerlerinden gözükmektedir.
- İncelenen tüm aylarda Weibull dağılımının rüzgar güç yoğunluğu değerlerini gerçek verilerine %16 oranla daha küçük bir hata oranı ile hesaplanmıştır.
- Aylık ortalama güç yoğunluğu değerlerine göre (3.4 W/m²), bu değer 100 W/m² den küçük olduğu için rüzgar gücü sınıflanmasında zayıf potansiyeli gösteren rüzgar gücü sınıfına girmektedir. Dolayısı ile bu bölge şebekeye bağlanacak bir enerji sistemine uygun değildir. Bu güç sınıfı küçük enerji sistemleri (su pompalamak gibi) veya akü şarj etme için uygun olabilmektedir.
- Sonuç olarak ölçüm noktası rüzgar hızının yetersizliğinden Karabük Üniversitesi kampüs alanında bu çalışmanın yapılması verimli sonuçlar doğurmayacağını söylemek mümkündür.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Net Sıfır Enerjili bina tasarımında üç temel strateji bulunmaktadır. Bunlar binanın pasif yaklaşımında alınabilecek stratejiler, binada kullanılan HVAC sistemlerinin verimlerini artırmaya yönelik stratejiler ve yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılması yönündeki stratejiler biçiminde sıralanabilmektedir.

Bu çalışmada; Karabük Üniversitesinde Öğrenci İşleri Merkezi binasının Autodesk Revit 2022 programında modellenmesi, Autodesk Insight ve Green Building Studio yardımıyla enerji simülasyonu yapılarak binanın bulunduğu konuma ait iklimsel veri çıktıları ile (ortalama dış hava sıcaklığı, atmosferik basınç, ortalama rüzgar hızı değişimi, rüzgar yönü, güneş enerjisi miktarı) binanın yıllık enerji tüketimi, iç ısı kazançlar ve CO₂ üretimi değerleri elde edilmiştir.

Tezde ulaşılan temel sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Çalışmanın ilk kısmı mevcut binanın termal analizi üzerinedir. TS 825 standartına göre termal analizi yapılmış ve yapı bileşenlerinin standarda uygun bulunması ile bina yapı malzemelerinde herhangi bir değişikliğe gerek duyulmamıştır.
- Autodesk Revit programıyla yapılan bina enerji performans analizinden elde edilen sonuçlarına göre ÖİM bina yıllık elektrik tüketimi 315.549 kWh, yakıt tüketimi 105.539 kWh olarak elde edilmiştir ve bina m² başına toplam enerji tüketiminin 159 kWh olarak bulunmuştur.

- Öğrenci İşleri Merkezi binasının enerji talebinin minimize edilebilmesi için pasif, aktif ve yenilenebilir sistemler üzerinde değişiklikler yapılabileceği göz önüne alınmış ve önerilen değişiklikleri içeren senaryoların simülasyonları yapılarak enerji ve ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. Binada enerji talebinin minimize edilebilmesi için yapılan stratejiler sonucunda, geri kalan enerji talebinin “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması” ile karşılanarak binanın NSEB formuna dönüştürülmesi incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda ısı pompası ve fotovoltaik panellerin (PV) kullanılmasının ekonomik olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca binanın yerinin ortalama rüzgar hızı ve yıllık üretim potansiyeli açısından rüzgar enerjisi türbini kurulumuna elverişli olmadığı değerlendirilmiştir.
- Pasif yaklaşımlar stratejileri ışığında, ÖİM binasındaki atrium alanında iklimsel ve görsel konfor şartları dikkate alınarak yapay şelale modellenmiştir. Analizlerden elde edilen veriler göre, bu işlem esnasında havanın sıcaklığını ortalama 7.29 °C düşürdüğü tespit edilmiştir. Pasif soğutma sisteminin sıcak ve kuru iklime sahip Karabük iline konfor koşullarını sağlayacak halinde olduğu ve yazın düşük enerji tüketimlerine olumlu katkı sağlayabilecekleri görülmüştür.
- Elektrik enerjisi ihtiyacı ise yıllık 315.549 kWh olup, güneye bakan 10° eğimli bina çatısında ve otopark alanında kaplayan her biri 400 WP olan 1305 adet PV panel tarafından sağlanan yıllık yaklaşık 577.891 kWh’lik üretimle karşılanmaktadır. Simülasyon programı verilerine göre, tüketimin az olduğu zamanlarda şebekeye 447.353 kWh’lik enerji satışı olacağı hesaplanmıştır. Ayrıca sistemin kurulumu ile önlenebilecek CO₂ emisyonu miktarı yılda 271,609 kg olacağı bulunmuştur.
- ÖİM binası üzerinde alternatif HVAC senaryoların sonucuna göre, FanCoil sistemin alternatif senaryosundan elde edilen yıllık enerji kullanım yoğunluğu 214.4 kWh/m², ısı pompası sistemi ise 138.41 kWh/m² dir. Referans binaya göre, FanCoil alternatif senaryosu %10,20 , ısı pompası alternatif senaryosu

%42 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır. Fakat ÖİM binasında yıllık enerji maliyetleri dikkate alındığında, mevcut VRV sistemi tercih edilmiştir.

- Yapılan analiz sonuçlarıyla, aktif ve pasif enerji verimli bina tasarım stratejileri kullanılarak ve binaya yerinde yenilenebilir enerji üretimi stratejileri entegre edilerek ÖİM binasının NSEB standartlarına ulaşılmasının mümkün olduğu gösterilmiştir. Fakat NSEB tasarımının ve hesaplamasının karmaşık bir süreç olmasından ötürü, bina enerji simülasyonu (BES) araçlarının kullanımı gereklidir.
- NSEB için kullanılan sistemler ve yatırımın ucuz olacağını söylemek doğru olmaz. Uzun vadede düşünüldüğünde ise yatırım karşılığını vermektedir. Çalışmanın bahsedilen yönde devam etmesi ve gerçek uygulamasının yapılması ve hatta yaygın kullanıma geçmesi güçlü bir şekilde umut edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Bilirgin, Ü., “Enerji Sektörel Bakış 2020”, *KPMG Bağımsız Denetim ve Serbest Muhasebeci Mali Müşavirlik A.Ş.*, (2020).
2. Özev, M., “Enerji Politikaları Ders Notları”, *İstanbul Üniversitesi Açık Ve Uzaktan Öğretim Fakültesi*, İstanbul (2015).
3. İnternet: Magna Law Legal & Consulting, “İklim değişikliğine dair uluslararası anlaşmalar, bu anlaşmalarla oluşturulan mekanizmalar ve türkiye’de yeşil borçlanma araçları”, <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=b583b1b9-75d6-487e-ab48-016d1a31a08e> (2022).
4. Sefer, U. and Villi, B., “Avrupa yeşil mutabakatının çelik sektörüne olası etkileri.” *Journal of Empirical Economics and Social Sciences*, 3(2), 94-113 (2021).
5. Kavak, K. v.d, “Enerji görünümü 2021”, *Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.S.*, (2021).
6. İnternet: Bloomberg HT, “Savaş, enerjide taşları yerinden oynatacak”, <https://www.bloomberght.com/savas-enerjide-taslari-yerinden-oynatacak-2300661> (2022).
7. İnternet: Ekoyapı, “Enerji Etkin Bina Tasarım Stratejisi”, <https://www.ekoyapidergisi.org/enerji-etkin-bina-tasarim-stratejisi> (2016).
8. İnternet: Biyologlar, “Enerji Bağımsızlığı Nedir?”, <https://biyologlar.com/enerji-bagimsizligi-nedir-> (2016).
9. Harputlugil, G.U., “Enerji Performansına Dayalı Tasarımda Analiz ve Simülasyon.” *Megaron*, 6(1). (2011).
10. Harputlugil, G.U., “Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri” *Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, (2016).
11. Karagözlü, M., “Konutlarda enerji giderlerinin azaltılmasına yönelik bir çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 30-40 (2006).
12. Tıkır, A., “İstanbul’da mevcut bir konutun dış kabuğunun enerji etkin yenilenmesi ve ekonomik etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik bir çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul,(2009).

13. Eskin, N., “Konut dışı binaların yıllık enerji ihtiyaçlarının incelenmesi”, *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 467-473 (2009).
14. Yaman, M. C., and Gökçen, G. “Statik ve dinamik hesaplama metodları ile binalarda enerji performans değerlendirmesi, ölçüm değerleri ile karşılaştırılması.” *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 509-525 (2009).
15. Mangan, S.D. and Oral, G.K., “Türkiye’nin farklı iklim bölgelerinde bir konut binasının enerji etkin iyileştirilmesi.”, *Tesisat Mühendisliği*, **14**: 37-46 (2014).
16. Durmuş, G. and Sadık, Ö., “Uluslararası Standartlarında İnşa Edilen Yapının Enerji Kimliğinin Belirlenmesi: Gaziantep Örneği.” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(2), 43-51 (2014).
17. Güğül, G.N. and Köksal, M.A., “Economic evaluation of the methods used to reduce energy consumption of a single detached house.” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34:1 215-234 (2019).
18. Akyol, M., “Az katlı konutlarda pasif ev kriterlerinin bina ısı performansına etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2012).
19. Bayar, U. and ATILGAN, A.İ., “Yeşil ev tasarımı ve enerji analizi için uygulama örneği.” *Mühendis ve Makina*, 56(671), 41-52 (2015).
20. Eke, R. and Senturk, A., “Performance comparison of a double-axis sun tracking versus fixed PV system.” *Solar Energy*, 86(9), 2665-2672 (2012).
21. Mustafa, C., “Kampüs Binalarında Şebekeden Bağımsız Bir Çatı Üstü Fotovoltaik Sistem Tasarımı Ve Benzetimi” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2018).
22. Haydaroğlu, C. and Gümüş, B., “Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralının PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi.” *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 491-500. (2016).
23. Tozlu, C., “Muğla Üniversitesinde kurulu şebekeye bağlı fotovoltaik güç sistemlerinin performans analizi.” Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla (2004).
24. Suda, C., “25,6 kWp gücündeki şebekeye bağlı binaya entegre fotovoltaik güç sisteminin üç yıllık performansının parametrelere göre değerlendirilmesi.” Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla (2007).
25. Sekuçoğlu, A.S., “Fotovoltaik (PV), Rüzgar ve Hibrit Sistemlerin Tasarımı ve Ekonomik Analizi.” Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon (2012).

26. Keskin, E., "Türkiye iklim koşullarında fotovoltaik güç sistemlerinin tasarım ve maliyet analizi." Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon (2012).
27. Kumar, N.M., Kumar, M.R., Rejoice, P.R. and Mathew, M., "Performance analysis of 100 kWp grid connected Si-poly photovoltaic system using PVsyst simulation tool." *Energy Procedia*, 117, 180-189 (2017).
28. Adıgüzel, E. and Javani, N., "Güneş termal enerjili ve fotovoltaik destekli "neredeyse sıfır enerjili binaların" enerji ve ekonomik açıdan incelenmesi." , *Teskon 2015 Bildiriler Kitabı*, s. 1237-1252 (2015).
29. Altun, A.F., "Ulusal ve uluslararası yeşil bina sertifikasyonlarının enerji performansı açısından değerlendirilmesi" Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa (2016).
30. Işıldar, G.Y. and Gökbayrak, A., "Yeşil binalarda belgelendirme ölçütlerinin ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre değerlendirilmesi." *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 46-57 (2018).
31. Taşkın, S., "Yaklaşık sıfır enerjili binalar ve havalandırma sistemleri." *Systemair*, (2017).
32. Osmançelebioğlu, D., "Sürdürülebilir mimari ve sertifikalı yeşil binalar." Yüksek Lisans Tezi, *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2015).
33. Çakmanus, İ., "Yaklaşık Sıfır Enerjili Binalar (nnZEB)." (2011).
34. Utlı, Z. and Tekin, S., "Yeşil bina uygulamalarında net sıfır enerjili binaların tasarım parametrelerinin belirlenmesi." *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 1613-1621 (2017).
35. Evola G., Margani G., "Energy retrofit towards Net ZEB application of BIPV on an apartment block in Southern Italy", 48th International Conference of the Architectural Science Association, Genoa, Italy (2014).
36. Höfler K., Knotzer A., Venus D., "Renovation concepts for net zero energy buildings–best practice residential building Kapfenberg/Austria", *Advances in Building Energy Research*, 9 (1), 107-119 (2015).
37. Caskey S. L., Bowler E. J., Groll E. A., "Analysis on a net-zero energy renovation of a 1920s vintage home", *Science and Technology for the Built Environment*, 22 (7), 1060-1073 (2016).
38. Pihelo P., Kalamees T., "Commissioning of thermal performance of prefabricated timber frame insulation elements for nZEB renovation", *MATEC Web of Conferences*, 02004 (2019).

39. Tekeli, A., “Yaklaşık sıfır enerjili aile sağlık merkezi binası tasarımı.” Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2020).
40. Ergün, H., “Bursa ili için bir sıfır enerji binasının termoekonomik analizi” Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa (2019).
41. Yıldız, Ö., “Erzurum havalimanı terminal binasının enerji analizi ve net sıfır enerjili bina formuna dönüştürülmesinin incelenmesi” Doktora Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum (2019).
42. Çildir, A.S., “Neredeyse sıfır enerji ofis yapılarında yapı elemanlarının ortam konforuna etkisinin yapı enerji simülasyonu yardımıyla araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2020).
43. Hootman, T., “Net zero energy design: a guide for commercial architecture.” *John Wiley & Sons*. Hoboken, New Jersey (2012).
44. Torcellini, P., Pless, S., Deru, M. and Crawley, D., “Zero energy buildings: a critical look at the definition” *National Renewable Energy Lab.(NREL)*, Golden, CO, United States (2006).
45. O'Brien, W. and Athienitis, A. eds., “Modeling, design, and optimization of net-zero energy buildings.” *John Wiley & Sons*. Hoboken, New Jersey (2015).
46. Tokgöz, N. and Özgün, Ö., “Atık Isı Geri Kazanım Sistemlerine Yönelik Literatür Araştırması ve Sanayiden Örnek Vaka İncelemesi.” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), 57-72 (2019).
47. Özcan, U., “Yapıda HVAC Sistem Seçimi.” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(1), 212-217 (2019).
48. Öztürk, H.K., Atalay, Ö. and Yılcı, A., “Yapılarda Kullanılan HVAC Sistemlerinde Kontrol ve Enerji Verimliliği.” *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 90, 69-76 (2005).
49. Ünlü, G. v.d., “Binalarda Enerji Sistemleri ve Ölçüm Yöntemleri” *Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara (2016).
50. Aydoğduoğlu, O., “Enerji verimliliği sağlamada akıllı aydınlatma sistemi uygulaması: Manisa Celal Bayar üniversitesi rektörlük binası örneği” Yüksek Lisans Tezi, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa (2018).
51. Altun, A.F., “Şebekeden bağımsız, güneş ve rüzgar kaynaklı, batarya ve hidrojen depolamalı hibrit enerji sistemlerinin dinamik modellenmesi, enerji, ekserji ve seviyelendirilmiş maliyet analizi” Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa (2021).

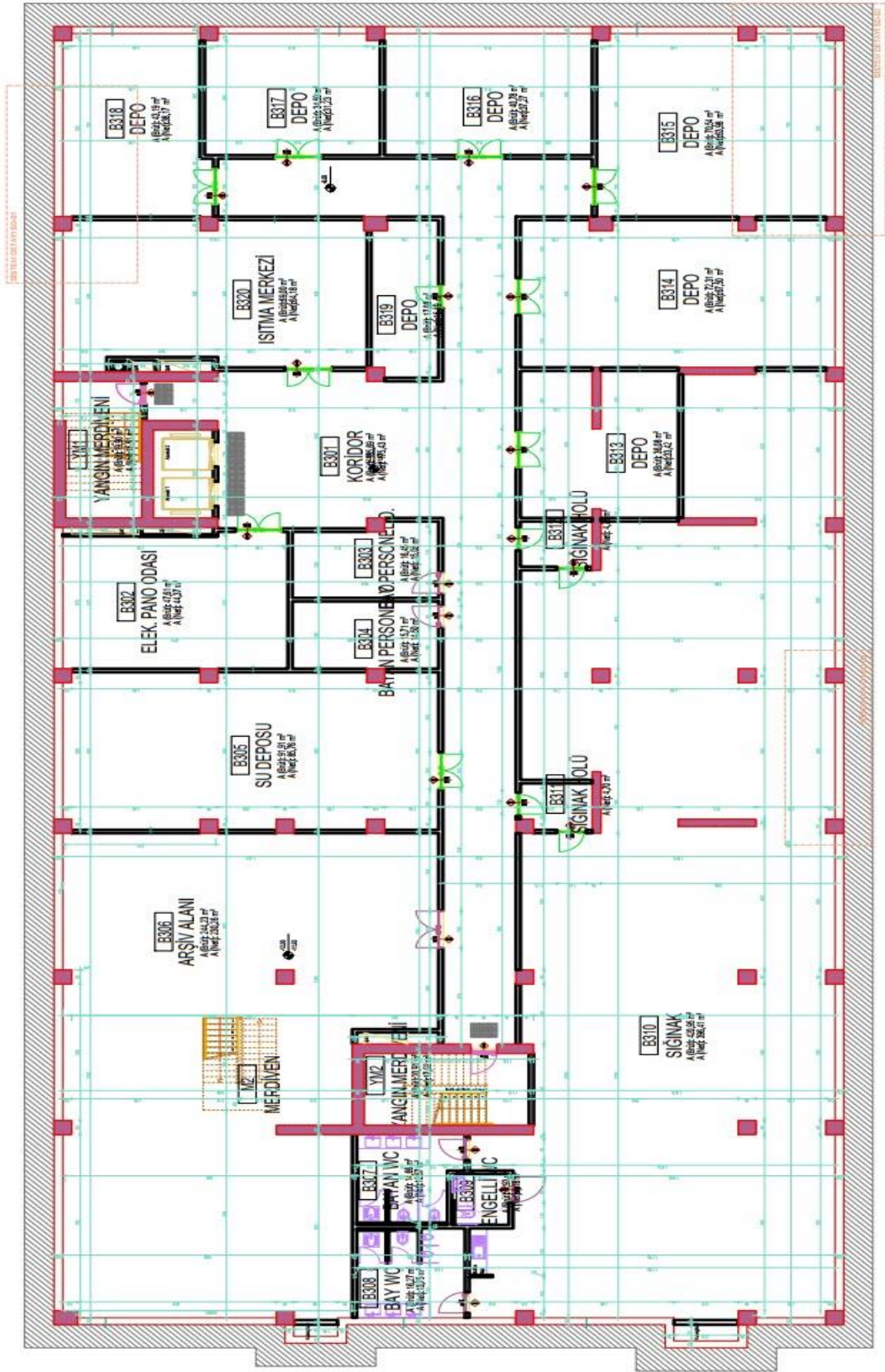
52. Uslusoy, S., “Yenilenebilir enerji kaynakları kullanan enerji etkin binaların yapı bileşeni açısından irdelenmesi” Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2012).
53. Bektaş, A., “Binalarda rüzgar enerjisi kullanımının farklı bölgeler açısından değerlendirilmesine yönelik bir çalışma: toki Tarımköy projesi örneği” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2013).
54. Yöntem, S., “Çevre Dostu Binalarda Enerji Verimliliği Örnek Uygulamalar” *Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara (2016).
55. İnternet:Vikipedi,“KarabükÜniversitesi”,https://tr.wikipedia.org/wiki/Karab%C3%BCK_%C3%9Cniversitesi (2022).
56. İnternet: TEB MİMARLIK, “Karabük Üniversitesi Öğrenci İşleri Binası Projesi”, <http://tebmimarlik.com/karabuk-ogrenci-isleri-binası>.
57. Özçağlar, A., “Karabük ilinin idari coğrafyası.” *Uluslararası Geçmişten Günümüze Karabük ve Çevresinde Dini, İlmi ve Kültürel Hayat Sempozyumu*, 113 (2016).
58. Polat, H., “Analysis of the environmental factors that affect the indoors comfort with psychometric diagram”.
59. İzocam, “Açıklamalı ve örneklerle TS825 binalarda ısı yalıtım kuralları standardı” (2013).
60. İzoder, “Türkiye için U-Değerleri Haritaları” (2016).
61. İnternet: Yesilbinadergisi, “Sürdürülebilir Yapılar Kapsamında Tasarım, Analiz ve Simülasyonu için Autodesk Çözümleri”,https://www.yesilbinadergisi.com/yayın/696/surdurulebilir-yapilar-kapsamında-tasarım-analiz-ve-simulasyon-icin-autodesk-cozumleri_20927.html (2010).
62. Yaman, H. and İlhan, B., “İnşaat Sektöründe Bina Enformasyonu Modellemesi Kavramına Genel Bir Bakış.” *1. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*, 29. (2010).
63. Aydın, M. and Yaman, H., “Bina Enformasyonu Modellemesi (BIM) Tabanlı Bina Yönetmelik Uygunluk Kontrolü Literatürüne Genel Bir Bakış.” *Tasarım+kuram dergisi*, 14(25), 59-77. (2018).
64. Borrmann, A., Koch, C. and Beetz, J., 2018. “Building Information Modeling: Why? What? How?”, *Building Information Modeling–Why? What? How?, Technology Foundations and Industry Practice*, (2019).
65. Ofluoğlu, S., “Yapı Bilgi Modelleme: Gereksinim ve Birlikte Çalışabilirlik.” *Mimarist*, (2014).

66. Çuhadar, F.G., "Mimarlık hizmeti kapsamında bina bilgi modelleme:" G Villa" konut projesi" Yüksek lisans Tezi, *İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2017).
67. Erbaş, R., "Yapı bilgi sistemlerinin mevcut binalarda enerji analizinin incelenmesi" Yüksek lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2018).
68. International Energy Agency "Energy Efficiency 2020", *International Energy Agency (IEA) Report*, France, (2020).
69. YETİŞ, C., "Atriumlu yapılarda iç mekan hava kalitesine yönelik iyileştirme önerilerinin belirlenmesi: kamil güleç kütüphanesi örneği" Yüksek lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2021).
70. Göçer, Ö., "Atrium tipi binalarda enerji tüketiminin azaltılması ve kullanıcı konforunun sağlanması için uygun camlama ve denetim sistemi modeli" Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2006).
71. Uslusoy, S., "Yenilenebilir enerji kaynakları kullanan enerji etkin binaların yapı bileşeni açısından irdelenmesi" Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2012).
72. Giabaklou, Z. and Ballinger, J.A., "A passive evaporative cooling system by natural ventilation." *Building and Environment*, 31(6), 503-507 (1996).
73. Ghiabaklou, Z., "Thermal comfort prediction for a new passive cooling system." *Building and environment*, 38(7), 883-891. (2003).
74. İnternet: Autodesk Green Building Studio, "Building Performance Analysis", <https://gbs.autodesk.com/GBS/> (2022).
75. Sattari, M., "Yaklaşık sıfır enerjili binaların (NSEB) türkiye'de uygulanabilirliği üzerine bir inceleme" Yüksek lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon (2021).
76. Yılmaz, B., "Binalarda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik" Yüksek lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2009).
77. Ünlü, G., "Sürdürülebilir binalar için HVAC sistemleri seçimi, tasarımı ve enerji analizi" Yüksek lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2010).
78. Mustafa, C., "Kampüs Binalarında Şebekeden Bağımsız Bir Çatı Üstü Fotovoltaik Sistem Tasarımı Ve Benzetimi" Yüksek lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2018).

79. İnternet: Ekoyapidergisi, “Binalarda Fotovoltaik Enerji Kullanımının Türkiye'deki Potansiyeli”,<https://www.ekoyapidergisi.org/binalarda-fotovoltaik-enerji-kullaniminin-turkiye-deki-potansiyeli> (2012).
80. İnternet: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, “Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)”, <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>
81. Hakyemez, M.E., “İstanbul Kilyos (kumköy) Bölgesinin Rüzgar Kaynaklı Enerjiler Açısından Değerlendirilmesi” Yüksek lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2011).
82. İnternet: DS New Energy, “Dize İnvertörler VS. Güç Doktorları VS. Microinverters”, <https://tr.dsisolar.com/info/string-inverters-vs-power-optimizers-vs-micr-47390521.html> (2020).
83. Akdağ, S.A., “Rüzgar enerjisi potansiyeli ve ekonomik analizinde Weibull dağılımının kullanımı” Yüksek lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2008).
84. Çelik, A.N., “İskenderun bölgesine ait rüzgar hızı ve güç yoğunluğunun çeşitli modeller kullanarak istatistiksel olarak analizi.”
85. Zeytinoğlu, F.Ç., “Weibull Dağılımının Ölçek ve Biçim Parametreleri için İstatistiksel Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması.” *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Yıl, 8, 73-87. (2009).
86. Kaplan, Y., “Rayleigh ve Weibull dağılımları kullanılarak osmaniye bölgesinde rüzgar enerjisinin değerlendirilmesi.” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1). (2016).

EK AÇIKLAMALAR A.

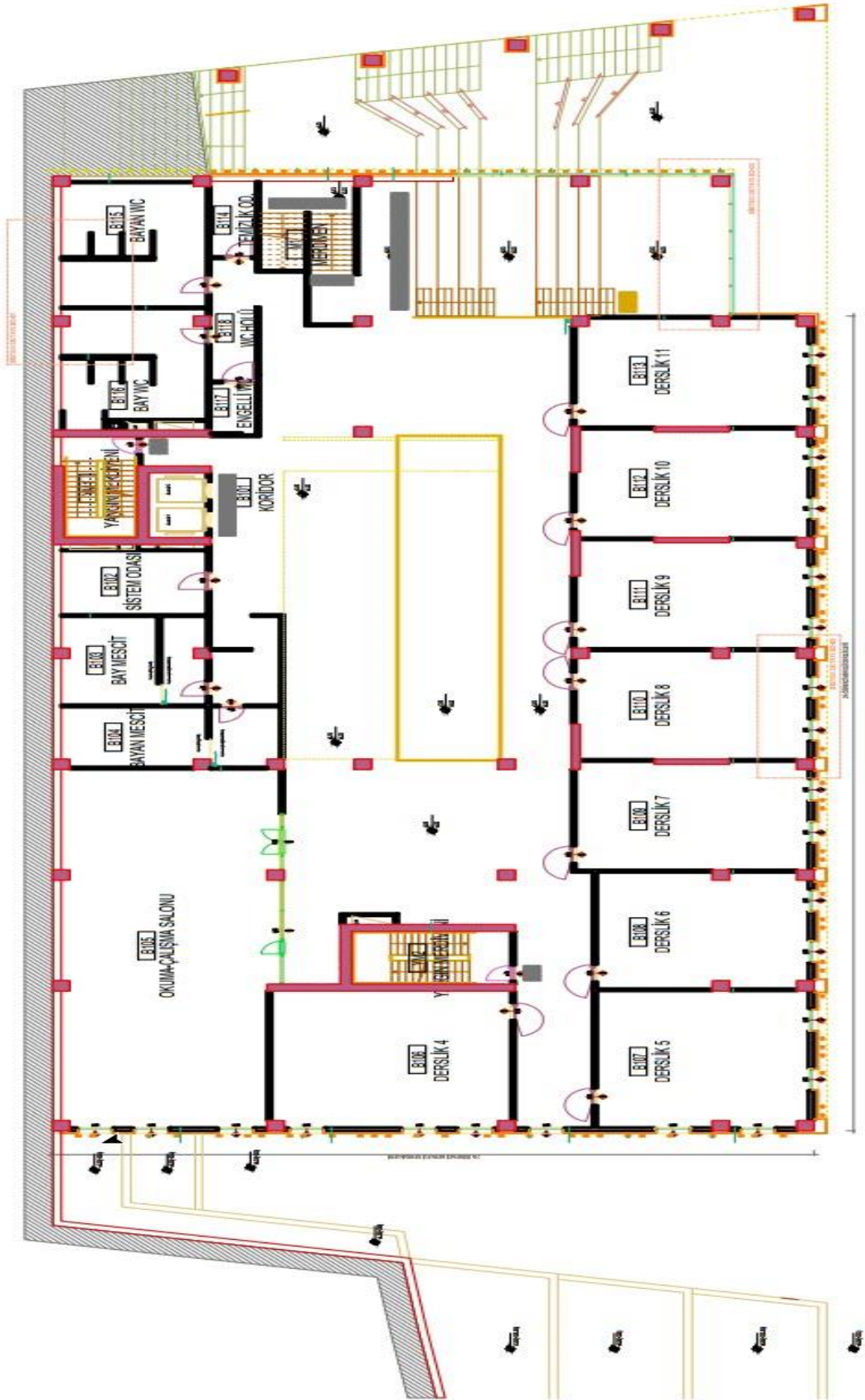
ÖİM BİNA KAT PLANLARI



Şekil Ek A.1. 3. Bodrum Kat Planı.



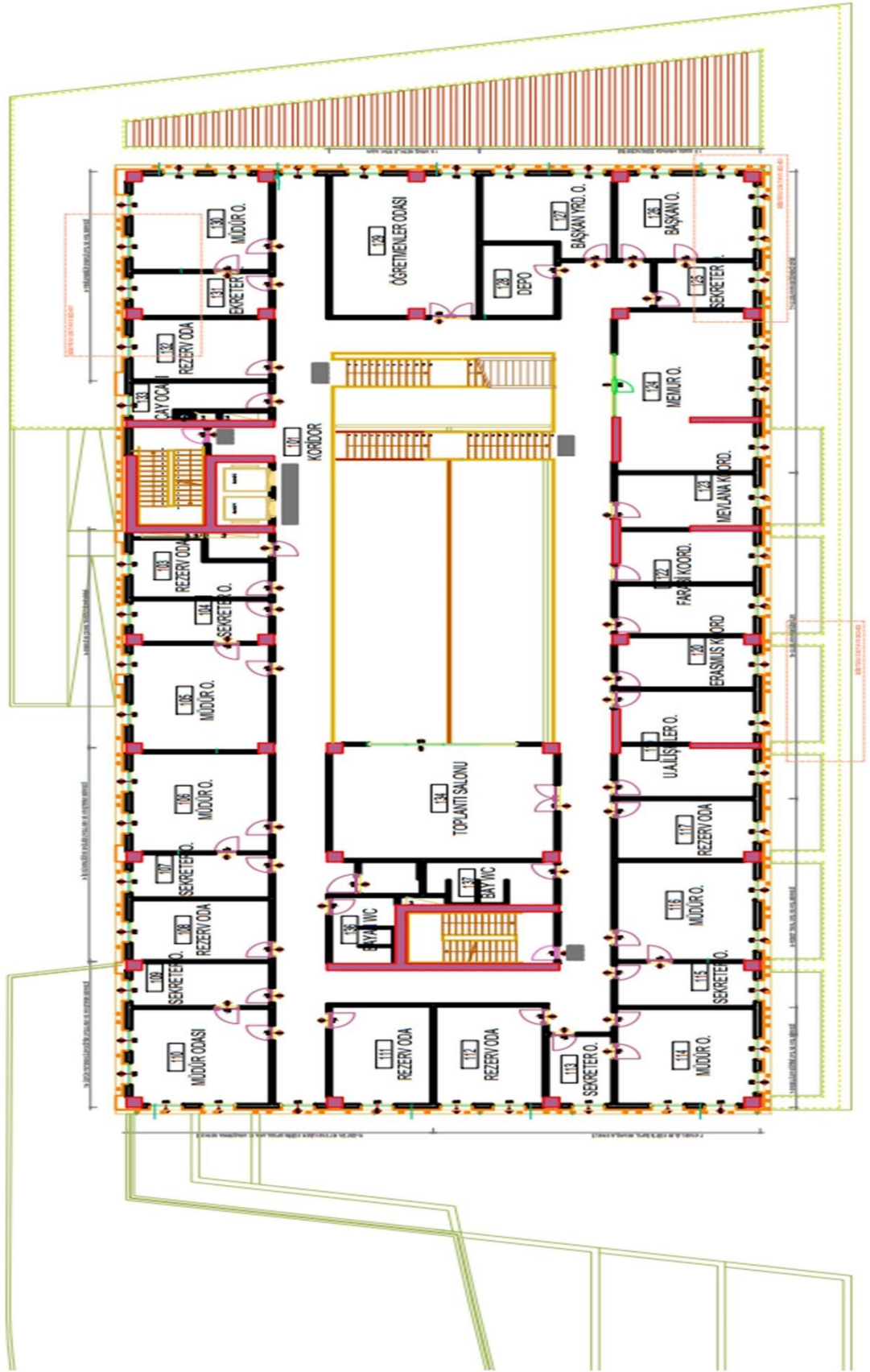
Şekil Ek A.2. 2.Bodrum Kat Planı.



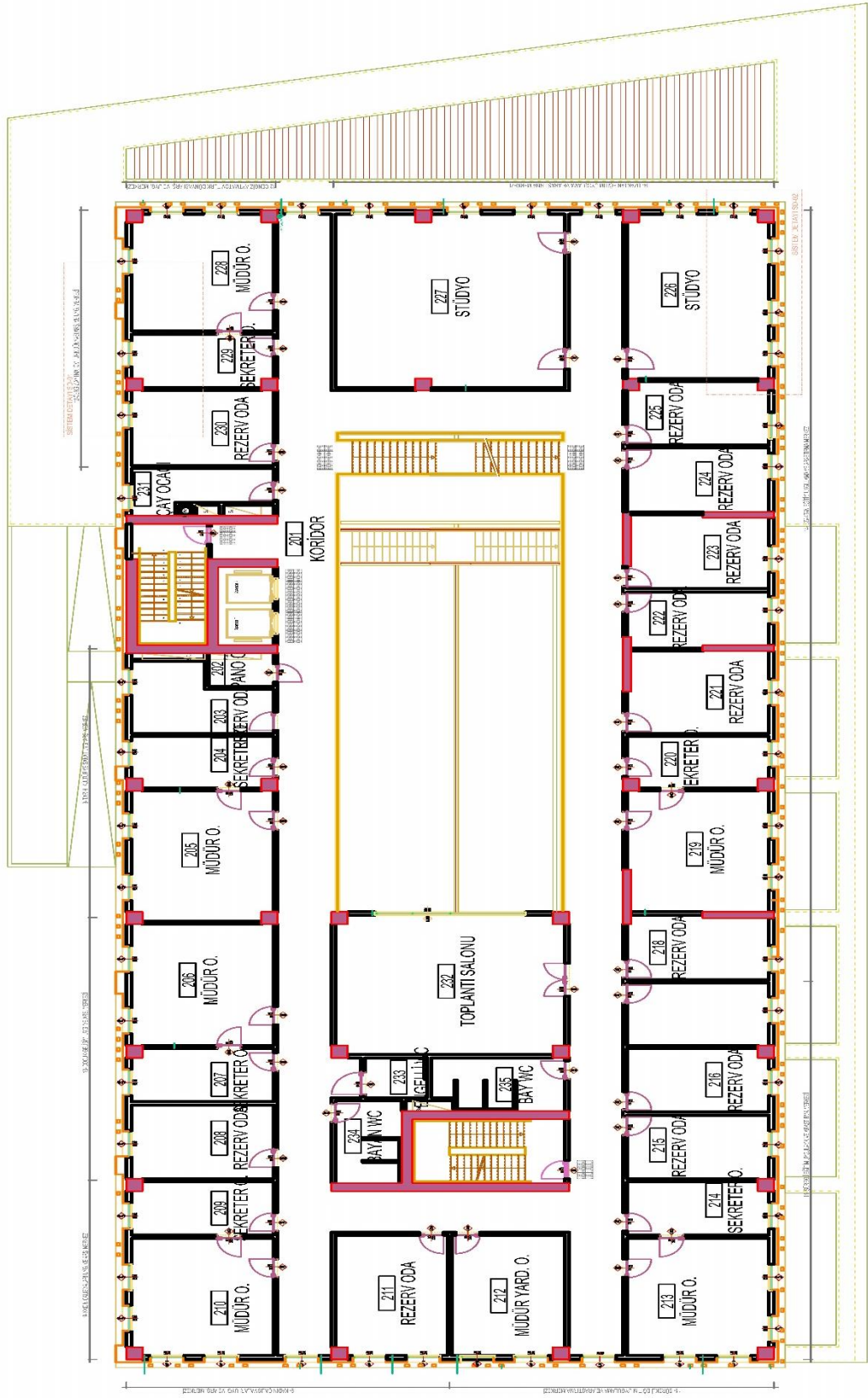
Şekil Ek A.3. 1. Bodrum Kat Planı.



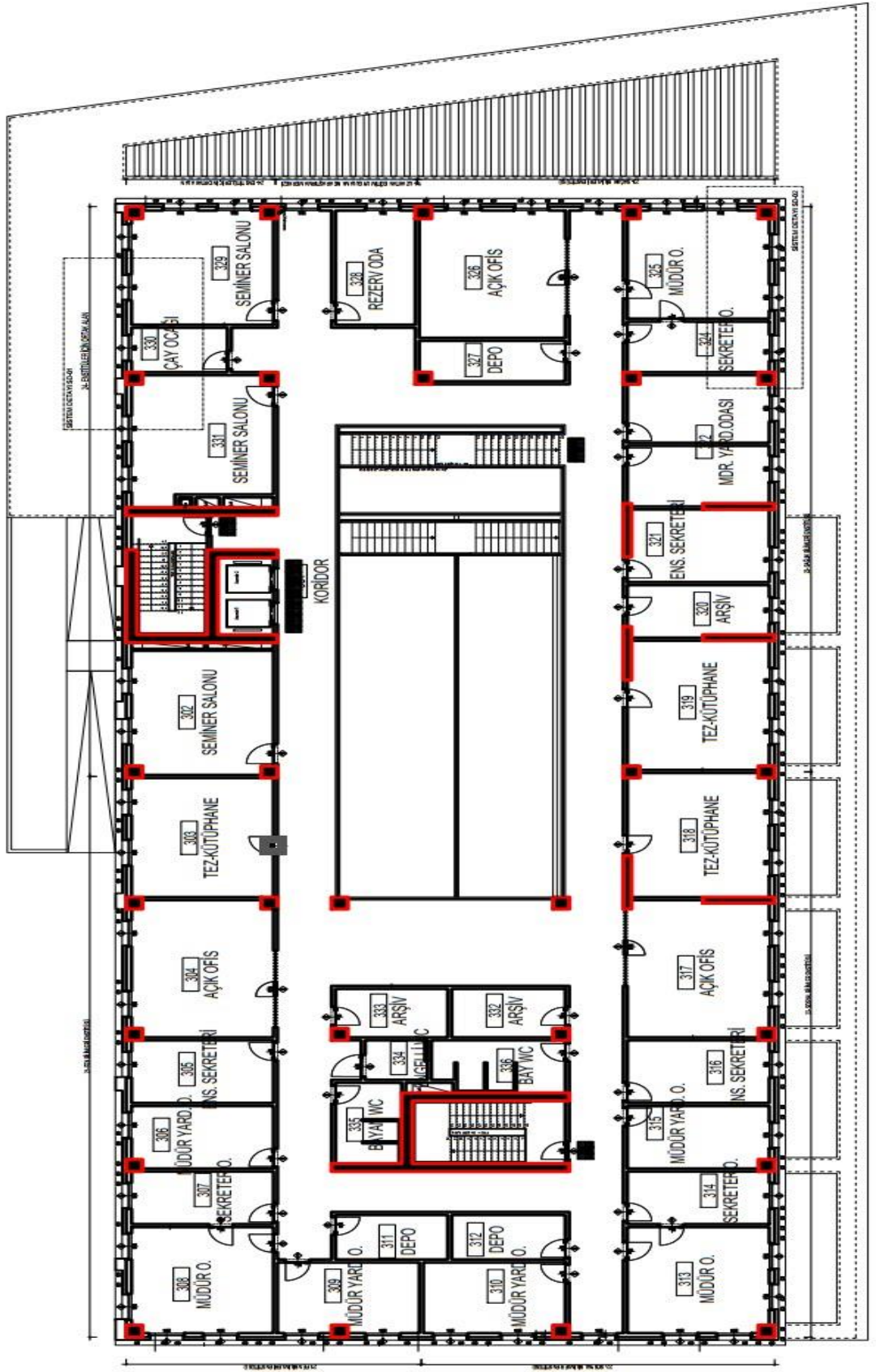
Şekil Ek A.4. Zemin Kat Planı.



Şekil Ek A.5. 1.Kat Planı.



Şekil Ek A.6. 2.Kat Planı.



Şekil Ek A.7. 3.Kat Planı.

ÖZGEÇMİŞ

Abdulla ALAKOUR 1994 yılında Şamada doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2016 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2020 yılında mezun oldu. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim başlanmış olduğu yüksek lisans programına devam etmektedir.