

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MEVCUT KAMU YAPILARININ ENERJİ ETKİN
İYİLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA: BAŞİSKELE
BELEDİYE HİZMET BİNASI

ÖZGE ÖZKARAASLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DR.ÖĞR.ÜYESİ FATMA İKNUR KARA

TEMMUZ 2025

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MEVCUT KAMU YAPILARININ ENERJİ ETKİN
İYİLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA:
BAŞİSKELE BELEDİYE HİZMET BİNASI

ÖZGE ÖZKARAASLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DR.ÖĞR. ÜYESİ FATMA İKNUR KARA
2. DANIŞMAN: DR.ÖĞR. ÜYESİ ELİF ÖZER YÜKSEL

TEMMUZ 2025

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**A STUDY ON THE ENERGY-EFFICIENT
IMPROVEMENT OF EXISTING PUBLIC TRUCTURES:
BAŞISKELE MUNICIPALITY SERVICE BUILDING**

ÖZGE ÖZKARAASLAN

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE**

ADVISOR: ASST. PROF. DR. FATMA İKNUR KARA
Co-ADVISOR: ASST. PROF. DR. ELİF ÖZER YÜKSEL

JULY 2025

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 30/06/2025 tarih ve 2025/34 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 23/07/2025 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Özge ÖZKARAASLAN'ın tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Dr.Öğr.Üyesi FATMA İKNUR KARA

ÜYE

: Dr.Öğr.Üyesi Derya ÇAKIR AYDIN

ÜYE

:Doç. Dr. Ferhat PAKDAMAR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Biricik Babacığma...

ÖZET

Günümüzde gelişen toplum ve teknoloji ile beraber enerjiye olan bağımlılık her geçen gün artmaktadır. Enerji kullanımı üzerine yapılan araştırmalar, küresel enerji harcamalarının büyük kısmının binalarla ilişkili olduğunu göstermektedir. Artan enerji ihtiyacı, yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda sürdürülebilirliği sağlayabilmek amacıyla yapılar enerji etkin yapılar olarak tasarlanmalıdır. Enerji etkin tasarımın temel amacı, minimum enerji tüketimiyle maksimum konfor seviyesini elde etmektir. Dış çevre ile iç mekân arasında bir bariyer görevi gören yapı kabuğu, bu süreçte belirleyici bir rol üstlenmektedir. Yapı kabuğu, iç mekânda bulunan kullanıcının konfor koşullarının sağlanmasında önem taşıyan bir yapı katmanı konumundadır.

Başiskele Belediye Hizmet Binası ele alınarak yürütülen bu çalışma, mevcut kamu yapılarında enerji verimliliğini artırmak ve yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimini azaltmaya yönelik bir yöntem geliştirmeyi amaçlamaktadır. Araştırmanın ilk aşamasında, kullanıcı davranışları, iç mekân konfor koşulları ve yapı kabuğu özelliklerini analiz edebilmek amacıyla yapının kullanıcı profiline bir anket çalışması uygulanmıştır. Anket sonuçları doğrultusunda yapının enerji kullanım profili ve kullanıcı memnuniyet durumu ortaya çıkarılmıştır. Yapının mevcut enerji performansı, bilgisayar destekli enerji modelleme yazılımı olan DesignBuilder kullanılarak analiz edilmiştir. Toplam yıllık enerji tüketimi ile ısıtma-soğutma yükleri hesaplanmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına dayanarak, yapının cephe performansını iyileştirmek amacıyla dinamik bir güneş kırıcı tasarımı önerilmiştir. Önerilen tasarımın entegrasyonu sonrasında sistemin enerji tüketimi tekrar analiz edilerek mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, önerilen sistem tasarımı ile ısıtma ve soğutma sistemlerinin enerji tüketimlerinde ve sistemin toplam yıllık enerji tüketiminde azalma sağladığını göstermektedir. Çalışma, kamu yapılarında enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uygulanabilir, yerel koşullara duyarlı ve teknik temellere dayanan çözüm önerisi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Etkinlik, Enerji Analizi, Kamu Yapıları, Güneş Kırıcı, Sürdürülebilirlik.

ABSTRACT

With the advancement of society and technology in today's world, dependence on energy is increasing day by day. Research on energy consumption reveals that a significant portion of global energy expenditure is associated with buildings. The growing demand for energy leads to the depletion of non-renewable energy resources. In this context, in order to ensure sustainability, buildings must be designed as energy-efficient structures. The main goal of energy-efficient design is to achieve maximum comfort with minimum energy consumption. The building envelope, which acts as a barrier between the external environment and the interior space, plays a decisive role in this process. The envelope is a critical component in maintaining indoor comfort conditions for users.

This study, conducted on the Başiskele Municipality Service Building, aims to develop a method to enhance energy efficiency in existing public buildings and to reduce total annual heating and cooling energy consumption. In the first phase of the research, a user survey was conducted to analyze user behavior, indoor comfort conditions, and building envelope characteristics. Based on the survey results, the building's energy use profile and user satisfaction level were identified. The current energy performance of the building was analyzed using DesignBuilder, a computer-based energy modeling software. Annual total energy consumption as well as heating and cooling loads were calculated. Based on the analysis results, a dynamic solar shading system was proposed to improve the façade performance of the building. Following the integration of the proposed system, energy consumption was reanalyzed and compared to the current state. The findings show that the proposed system reduces the energy consumption of the heating and cooling systems as well as the total annual energy use. The study offers a technically grounded, context-sensitive, and applicable solution proposal to enhance energy efficiency in public buildings.

Keywords: Energy Efficiency, Energy Analysis, Public Buildings, Solar Shading Device, Sustainability.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana yol gösteren, bilgi ve deneyimleriyle ufkumu açan, gösterdikleri sabır ve destekleriyle beni yönlendiren danışman hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Fatma İknur KARA' ya ve Dr. Öğr. Üyesi Elif ÖZER YÜKSEL 'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Her emeğiniz benim için çok kıymetlidir.

Hayatımın her anında varlığıyla bana güç veren, sevgisini ve desteğini her zaman yanımda hissettiğim sevgili anneme minnettarım. Hayatım boyunca bana örnek olan iyiliğini, değerlerini ve sevgisini hep yüreğimde taşıdığım, desteğini hep içimde hissettiğim rahmetli biricik babam ASİM ÖZKARAASLAN'a...

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti	2
1.2. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	8
2. KAMU YAPILARI ve ENERJİ ETKİNLİK	10
2.1. Belediye Hizmet Binaları	12
2.1.1. Tarihsel Gelişimi	12
2.1.2. Tasarım ve Uygulama	13
2.2. Belediye Hizmet Binalarında Enerji Etkin Yaklaşımın Önemi	14
2.2.1. Türkiye'deki Kamu Binalarında Enerji Performans Uygulamaları	15
2.2.2. Türkiye’de Kamu Binalarında Enerji Verimliliği	15
2.3. Türkiye’de Enerji Etkin Yapı Tasarımı Üzerine Kanun ve Yönetmelikler	16
2.3.1. Enerji Verimliliği Kanunu	16
2.3.2. Isı Yalıtım Yönetmeliği	16
2.3.3. Enerji Kimlik Belgesi	17
2.3.4. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği	19
2.3.5. Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönermelik	20
2.3.6. Merkezi Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmelik	21
2.3.7. Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Projesi (KABEV)	23
2.3.8. İklim Kanunu	25
3. ENERJİ ETKİN YAPILAR	26
3.1. Enerji Etkin Yapılarda Etkili Olan Kriterler	27
3.1.1. Kullanıcıya İlişkin Kriterler	28
3.1.2. Yapı Biçimi ve Yapı Niteliğine İlişkin Kriterler	30
3.1.3. Çevreye İlişkin Kriterler	30
3.1.4. Yapının Biçimi, Konumu, Yönlendirilmesi ve Mekân Yerleşimi	31
3.1.5. Yapı Termofiziksel Kriterler	32
3.1.6. Yapı Kabuğu ve Güneş Kırıcı Sistemler	33
3.2. Sürdürülebilir Mimarlık ve Kinetik Mimarlık İlişkileri	35
3.2.1. Bina Kabuğunun Değişimin Gereksinimleri ve Hareketli Bileşenler	36

3.2.2. Sürdürülebilir Mimarlık ve Enerji Etkinliğinde Bina Kabuğunun Önemi	37
3.2.3. Hareketli Güneş Kontrol Elemanları	38
3.3. Yapılarda Güneş Kontrol Elemanlarının Kullanımı	39
3.3.1. Güneş Işınimleri ve Güneş Kontrol Elemanları	40
3.3.2. Güneşin İç Mekân Koşullarına Etkisi	41
3.3.3. Güneş Kontrol Elemanı Çeşitleri	42
3.3.4. Güneş Kontrol Elemanlarının Enerji Performansı ve İç Mekân Konforu Üzerindeki Etkisi	47
3.3.5. Güneş Kontrol Elemanlarının Isıtma ve Soğutma Yüklerine Etkisi	48
4. MEVCUT KAMU YAPISININ YAPI KABUĞUNUN ENERJİ ETKİN İYİLEŞTİRİLMESİ	49
4.1. Yöntem ve Uygulama	49
4.1.1. Enerji Simülasyon Aracı (DesignBuilder)	50
4.1.2. Kullanıcı Konfor Analizi Anket Çalışması	51
4.1.2.1 Kullanıcı Anket Sonuçlarının Değerlendirilmesi	52
4.1.3. Yapıya Uygun Verilerin Elde Edilmesi	55
4.1.3.1. Coğrafi Veriler	55
4.1.3.2. İklim Verileri	57
4.1.3.3. Yapısal Veriler	59
4.1.3.4. Yapının Konumu ve Yönlendirilmesi	60
4.1.3.5. Yapının Formu ve Mekân Organizasyonu	61
4.1.3.6. Yapı Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özellikleri	63
4.2. Mevcut Kamu Yapısının Isıtma ve Soğutma Enerjilerinin Enerji Etkinlik Analizi	63
4.2.1. Kamu Yapısını Modellenmesi, Kullanım Bölgelerine Ayrılması ve Verilerin Programa Tanımlanması	64
4.2.2. Kamu Yapısının Enerji Tüketim Simülasyonu ve Enerji Etkin İyileştirme Önerileri	69
4.2.3. Öneri Alternatif Enerji Etkin İyileştirme Senaryoları ve Enerji Tüketim Simülasyonları	74
4.2.4. Alternatif Senaryoların Karşılaştırmalı Enerji Tüketim Analizleri	94
4.2.5. Alternatif İyileştirme Senaryoları İçin Yapım Maliyeti ve Geri Dönüş Süresi Analizi	103
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	108
5.1. Sonuçlar	108
5.2. Öneriler	111
KAYNAKLAR	112
ÖZGEÇMİŞ	117
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR	118
EKLER	119

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CO ₂	: Karbondioksit
kWh	: Kilowatt saat
U	: Toplam ısı geçiş katsayısı
TEP	: Ton eşdeğer petrol
W/m ² K	: Isı iletkenlik katsayısı
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneęi)
BEP-TR	: Binalarda Enerji Performans Türkiye
BREEAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Bina Araştırma Kuruluřu Çevresel Değerlendirme Metodu)
EKB	: Enerji Kimlik Belgesi
HVAC	: Heating, Ventilation, and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme)
KABEV	: Kamu Binalarında Enerji Verimliliği
LED	: Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik)
SHGC	: Solar Heat Gain Coefficient (Güneş Isı Kazancı Katsayısı)
YGEM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Türkiye'nin 2020 yılına yönelik sektörlerdeki enerji tasarruf potansiyeli [WWF Enerji İklim Değişikliği, 2011].	20
Şekil 2.2: Kamu binalarında enerji verimliliği projesi(KABEV) proje süreci [KABEV,2024].	23
Şekil 2.3: KABEV enerji verimliliği oranları bina türlerine göre ortalama tasarruf oranları (%) [KABEV,2024].	24
Şekil 3.1: Yüksek Performans Ölçütlü Yapı Kriterleri[Çevre, Şehircilik B.,2016].	26
Şekil 3.2: İç ortam hava kalitesini etkileyen temel faktörler[Web-1,2019].	28
Şekil 3.3: Gölgeleme elemanlarını sınıflandırılması.	36
Şekil 3.4: Kinetik cephelerin sınıflandırılması.	37
Şekil 3.5: Güneş kontrol elemanların yerleşimi[Lopez,2017].	42
Şekil 3.6: Hareketli güneş kontrol elemanları [Stack ve ark.,2013].	45
Şekil 4.1: Yapı kabuğunun enerji etkin iyileştirilme yöntem ilerleyişi.	50
Şekil 4.2: DesignBuilder programı [DesignBuilder, 2025].	51
Şekil 4.3: Kullanıcı konfor değerlendirmeleri.	52
Şekil 4.4: Anket değerlendirme grafiği.	55
Şekil 4.5: Başiskele Serdar Mahallesi lokasyon görüntüsü[Web-2,2025].	56
Şekil 4.6: Başiskele Belediye hizmet binası.	60
Şekil 4.7: Başiskele Belediye hizmet binası.	60
Şekil 4.8: Başiskele Belediye hizmet binası harita görüntüsü[Web-2,2025].	61
Şekil 4.9: Bodrum kat planı.	62
Şekil 4.10: Zemin kat planı.	62
Şekil 4.11: 1. kat planı.	62
Şekil 4.12: 2. kat planı.	63
Şekil 4.13: DesignBuilder program modeli ve kat bölgeleri.	64
Şekil 4.14: Yapı güney cephe güneş analizleri.	65
Şekil 4.15: Yapı kuzey cephe güneş analizleri	65
Şekil 4.16: DesignBuilder model çalışması.	67
Şekil 4.17: Başiskele Belediye hizmet binası designbuilder modeli.	69
Şekil 4.18: Mevcut kamu yapısının aylara göre ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	70
Şekil 4.19: Mevcut kamu yapısının toplam enerji yükleri(kWh).	70
Şekil 4.20: Designbuilder programında güneş kırıcı eleman kesiti ve değişkenleri[DesignBuilder, 2025]..	71
Şekil 4.21: Başiskele Belediye hizmet binası güney cephe designbuilder model görüntüsü.	71
Şekil 4.22: Başiskele Belediye hizmet binası güney cephe perspektif designbuilder model görüntüsü.	72
Şekil 4.23: Başiskele Belediye hizmet binası kuzey cephe perspektif designbuilder model görüntüsü	72
Şekil 4.24: Alternatif iyileştirme senaryoları.	74
Şekil 4.25: Alternatif sabit güneş kırıcı kesiti.	75
Şekil 4.26: AS1 - Sabit güneş kırıcı ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	76

Şekil 4.27: AS1 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	76
Şekil 4.28: Alternatif dinamik güneş kırıcı kesiti.	77
Şekil 4.29: AS2 - Dinamik güneş kırıcı ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	78
Şekil 4.30: AS2 - Dinamik güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	78
Şekil 4.31: Alternatif sabit güneş kırıcı kesiti.	79
Şekil 4.32: AS3 - Sabit güneş kırıcı ile iyileştirme ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	80
Şekil 4.33: AS3 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	80
Şekil 4.34: Alternatif dinamik güneş kırıcı kesiti.	81
Şekil 4.35: AS4 - Sabit güneş kırıcı ile iyileştirme ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	82
Şekil 4.36: AS4 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	82
Şekil 4.37: Alternatif sabit güneş kırıcı kesiti.	83
Şekil 4.38: AS5 - Sabit güneş kırıcı ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	84
Şekil 4.39: AS5 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	84
Şekil 4.40: Alternatif dinamik güneş kırıcı kesiti.	85
Şekil 4.41: AS6 - Sabit güneş kırıcı ile iyileştirme ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	86
Şekil 4.42: AS6 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	86
Şekil 4.43: Alternatif sabit güneş kırıcı kesiti.	87
Şekil 4.44: AS7 - Sabit güneş kırıcı ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	88
Şekil 4.45: AS7 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	88
Şekil 4.46: Alternatif sabit güneş kırıcı kesiti.	89
Şekil 4.47: AS8 - Sabit güneş kırıcı ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	90
Şekil 4.48: AS8 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	90
Şekil 4.49: Alternatif dinamik güneş kırıcı kesiti.	91
Şekil 4.50: AS9 - Sabit güneş kırıcı ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	92
Şekil 4.51: AS9 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	92
Şekil 4.52: AS10 - Saydam yüzeylerde iyileştirme ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	93
Şekil 4.53: AS10 - Saydam yüzeylerde iyileştirme toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).	94
Şekil 4.54: Alternatif senaryoların karşılaştırmalı soğutma enerji tüketim analizleri (kWh).	95
Şekil 4.55: Alternatif senaryoların karşılaştırmalı toplam soğutma enerji tüketim analizleri (kWh).	95
Şekil 4.56: Alternatif senaryoların karşılaştırmalı ısıtma enerji tüketim analizleri (kWh).	96
Şekil 4.57: Alternatif senaryoların karşılaştırmalı toplam ısıtma enerji tüketim analizleri (kWh).	96

Şekil 4.58: Yapının mevcut durum ve alternatif senaryoların karşılaştırmalı toplam enerji tüketim değerleri(kWh).	97
Şekil 4.59: Alternatif senaryoların yapım maliyetinin geri dönüş süreleri.	106

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Enerji kimlik belgelerindeki temel veriler[Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2019].	18
Tablo 2.2: Bina enerji sınıfı ve enerji aralıkları[Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2019].	19
Tablo 4.1: Kullanıcı özellik diyagramı.	53
Tablo 4.2: Kullanıcı konfor koşullarının memnuniyet değerlendirmesi.	54
Tablo 4.4: Kocaeli ili aylık ortalama sıcaklık ve yağış miktarı (1929–2024)) [Meteoroloji Genel Müdürlüğü,2024].	57
Tablo 4.5: Kocaeli 1960–2023 uzun yıllar rüzgâr yönü özeti[Meteoroloji Genel Müdürlüğü,2024].	58
Tablo 4.6: Kocaeli güneşlenme süresi)[Meteoroloji Genel Müdürlüğü,2024].	59
Tablo 4.7: Kamu yapısı çalışma saatleri.	66
Tablo 4.8: Başiskele Belediye hizmet binası termofiziksel verileri.	68
Tablo 4.9: Başiskele Belediye hizmet binası saydam yüzey termofiziksel verileri.	69
Tablo 4.10: Öneri saydam yüzey termofiziksel özellikleri.	93
Tablo 4.11: Alternatif senaryoların karşılaştırmalı soğutma enerji tüketim değerleri ve iyileştirme oranı (%) (kWh).	98
Tablo 4.12: Alternatif senaryoların karşılaştırmalı ısıtma enerji tüketim değerleri ve iyileştirme oranı (%) (kWh).	99
Tablo 4.13: Alternatif senaryoların karşılaştırmalı toplam enerji tüketim değerleri ve iyileştirme oranı (%) (kWh).	100
Tablo 4.14: Alternatif senaryoların mevcut durum ile soğutma enerji tüketim değerleri arasındaki fark (kWh).	101
Tablo 4.15: Alternatif senaryoların mevcut durum ile ısıtma enerji tüketim değerleri arasındaki fark (kWh).	101
Tablo 4.16: Alternatif senaryoların mevcut durum ile toplam (soğutma ve ısıtma) enerji tüketim değerleri arasındaki fark (kWh).	102
Tablo 4.17: Alternatif senaryoların mevcut duruma göre yıllık toplam soğutma enerjisi kazanç maliyeti(TL).	103
Tablo 4.18: Alternatif senaryoların mevcut duruma göre yıllık toplam ısıtma enerjisi kazanç maliyeti(TL).	103
Tablo 4.19: Alternatif senaryoların mevcut duruma göre yıllık toplam enerji kazanç maliyeti(TL).	104
Tablo 4.20: Başiskele Belediye Hizmet Binası opak (duvar) yüzey ve saydam cam yüzey alanları.	105
Tablo 4.21: Alternatif iyileştirme senaryoları için yapım maliyeti ve geri dönüş süresi.	106

1. GİRİŞ

Enerji, modern toplumların sürdürülebilir kalkınmasında kritik bir rol oynamaktadır. Sanayileşmenin hız kazanması, şehirleşmenin artması ve yaşam standartlarının yükselmesi gibi dinamikler, küresel ölçekte enerji talebinin her geçen gün artmasına neden olmuştur. Günümüzde artan nüfus, şehirleşme ve teknolojik gelişmeler sonucunda enerjiye olan talep sürekli olarak artış göstermektedir [Vorsatz, 2007]. Yapılan araştırmalar, küresel ölçekte tüketilen toplam enerjinin yaklaşık %30'unun yapı sektöründe kullanıldığını ortaya koymaktadır [International Energy Agency [IEA], 2021]. Dünya genelindeki toplam enerji tüketiminin önemli bir kısmının binalarda gerçekleşen faaliyetlerden kaynaklandığını ortaya koyduğu bu durum, yapı sektöründe enerji verimliliği odaklı tasarım ve uygulamaların önemini artırmıştır.

Kamu yapıları, geniş kullanım alanları ve yoğun kullanıcı sirkülasyonu nedeniyle enerji tüketimi açısından kritik yapılardır. Yapıların enerji performansını iyileştirmeye yönelik yaklaşımlar günümüz sürdürülebilirlik hedeflerinin temel unsurlarından biri haline gelmiştir [Vorsatz, Koepfel and Mirasgedis, 2007]. Enerji verimliliği, kamu yapılarının uzun vadeli sürdürülebilirliği ve ekonomik işletimi için kritik bir konudur. Mevcut kamu yapılarının enerji etkinliğini artırmak, hem enerji kullanım maliyetlerini düşürmek hem de karbon salınımını azaltmak açısından önemlidir.

Birçok mevcut kamu binası, inşa edildikleri dönemin enerji verimliliği standartlarına göre tasarlandığı için, günümüz gereksinimlerini karşılamada yetersiz kalmaktadır. Bu binaların enerji performanslarının iyileştirilmesi, hem çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak hem de kamudaki kaynakların enerji etkin kullanımında büyük önem arz etmektedir.

Bu bağlamda, mevcut kamu yapılarında enerji etkinliğini artırmaya yönelik yenilikçi tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle yapı kabuğu ve cephe sistemleri, dış çevre ile iç mekân arasındaki enerji alışverişini düzenleyen temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Çift kabuklu cepheler, hareketli güneş kırıcı sistemler ve doğal havalandırma stratejileri gibi pasif tasarım öğeleri, binaların enerji performansını önemli ölçüde iyileştirebilmektedir.

1.1. Literatür Özeti

Bu çalışmanın başlangıcında; enerji etkin yapı tasarım stratejileri, yapı kabuğunda kullanılan elemanların ve malzemelerinin yıllık enerji tüketimine etkileri, enerji etkinlik analiz sistemleri gözden geçirilmiştir. Türkiye'de, yapıların enerji performansına ilişkin düzenlemeler 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu (2007) ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (2008) ile yasal bir çerçeveye kavuşmuştur. Ancak, bu düzenlemelerin yürürlüğe girmesinden önce inşa edilen kamu yapılarının mevcut enerji performansları, günümüz standartlarının gerisinde kalmaktadır. Bu durum, mevcut kamu binalarına yönelik iyileştirme projelerinin önemini artırmaktadır **[Resmî Gazete, 2007; 2008]**.

Türkiye'de binalarda enerji verimliliğini artırmak amacıyla çeşitli yasal düzenlemelere gidilmiş, bu kapsamda 5 Aralık 2008 tarihinde "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" yürürlüğe alınmıştır **[Resmî Gazete, 2008]**. Bu yönetmelik, binaların tasarımından kullanım aşamasına kadar geçen tüm süreçlerde enerji tüketimini azaltmayı, çevresel etkileri en aza indirmeyi ve iç mekân konfor koşullarını artırmayı hedefleyen kapsamlı hükümler içermektedir. Yönetmelikte ısı yalıtımı standartları, aydınlatma sistemlerinin enerji verimliliği, ısıtma ve soğutma tesisatlarının performansı, yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonu ve enerji kimlik belgesi (EKB) düzenlemeleri gibi birçok konu detaylı şekilde tanımlanmıştır. Özellikle yeni inşa edilecek binaların asgari enerji sınıfı olarak "C" seviyesini sağlaması zorunlu tutulmuştur.

Yönetmelik kapsamında, bina kabuğunda kullanılacak malzemeler için belirli ısıl geçirgenlik katsayıları (U değerleri) sınırlandırılmış, ayrıca cephe tasarımlarında pasif enerji kazanımı yöntemlerinin teşvik edilmesi öngörülmüştür. Yapılan çeşitli araştırmalara göre, yönetmelik şartlarının uygulanmasıyla bina enerji tüketiminde yaklaşık %25-30 oranında azalma sağlanabileceği ifade edilmektedir **[Özbalta, 2010]**. Bununla birlikte, mevcut kamu binalarının 2023 yılı sonuna kadar asgari enerji performansı standartlarına uygun hale getirilmesi zorunluluğu da getirilmiştir **[Resmî Gazete, 2008]**. Tüm bu düzenlemeler, kamu binalarında enerji etkinliğini artırmaya yönelik tasarım ve iyileştirme çalışmalarına yasal ve teknik bir temel oluşturmuştur.

Kamu binalarında enerji verimliliği ile ilgili birçok akademik çalışma bulunmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar, özellikle pasif tasarım stratejilerinin (örneğin, yalıtım,

doğal aydınlatma, güneş kontrol sistemleri) ve aktif sistem optimizasyonlarının (örneğin, LED aydınlatmalar, yüksek verimli HVAC sistemleri, yenilenebilir enerji entegrasyonu) enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabileceğini göstermektedir. Örneğin, Smith ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışma, modern binalarda akıllı enerji yönetim sistemlerinin %30'a varan enerji tasarrufu sağladığını göstermektedir **[Smith ve arkadaşları, 2018]**. Benzer şekilde, Türkiye’de yapılan bir araştırmada, mevcut kamu binalarında pasif yalıtım tekniklerinin uygulanmasıyla %25 oranında enerji tasarrufu sağlandığı tespit edilmiştir **[Yılmaz, 2020]**. Bu çalışmalar, enerji verimliliğini artırmak için bütünsel bir yaklaşımın gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Enerji etkin tasarım kavramı, binalarda minimum enerji tüketimi ile optimum iç mekân konforunun sağlanmasını hedeflemektedir **[Givoni, 1998]**. Enerji etkin tasarım, binaların çevresel etkilerini azaltmak ve enerji tüketimini minimize etmek amacıyla geliştirilen bir strateji olup, bina kabuğu bu süreçte belirleyici rol oynamaktadır. Yapı kabuğunun, bina ile dış çevre arasındaki enerji alışverişinde kritik bir unsur olduğunu vurgulamaktadır **[Olgyay, 2015]**. Cephe sistemleri, özellikle ısıl konfor, doğal aydınlatma ve havalandırma performansı üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Bu sistemlerin doğru ve etkin bir şekilde tasarlanması, hem ısıtma hem de soğutma enerji yüklerinin azaltılmasına önemli katkı sağlamaktadır.

Hareketli güneş kırıcı sistemler ise, cephe tasarımında dinamik bir kontrol mekanizması sunarak, mevsimsel ve gün içinde değişen güneş ışınımı koşullarına uyum sağlamak ve enerji verimliliğini artırmaktadır **[Tzempelikos and Athienitis, 2007]**. Doğru konumlandırılmış ve optimize edilmiş hareketli gölgeleme elemanları, soğutma yüklerini azaltırken, gün ışığı kullanımını da artırarak yapay aydınlatmaya olan ihtiyacı minimuma indirebilmektedir.

Koç [2021], eğitim yapılarında enerji performansının artırılmasına yönelik bina kabuğu tasarımının etkisi analiz edilmiştir. DesignBuilder yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları kapsamında, mevcut tek kabuk cephe sistemleri ile önerilen çift kabuk cephe sistemleri karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Binanın mevcut enerji tüketim profilini modellemiş, farklı cephe sistemlerinin yıllık enerji yükleri üzerindeki etkileri hesaplamıştır. Elde edilen sonuçlar, çift kabuk cephe uygulamasının ısıtma yüklerinde anlamlı bir azalma sağladığını ve iç mekân termal konfor düzeyini artırdığını ortaya koymuştur. Özellikle ılımlı-kuru iklim koşullarına sahip bölgelerde, pasif enerji kazanımı ve kayıpların

azaltılması stratejilerinin bina enerji performansı üzerindeki kritik rolü vurgulanmıştır [Koç, 2021]. Enerji verimliliği hedefleri doğrultusunda, yapı kabuğunda gerçekleştirilecek tasarım optimizasyonlarının iklim verileri ile uyumlu olması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca, sürdürülebilir mimari yaklaşımlara katkı sunacak biçimde, eğitim yapılarında enerji etkin tasarım prensiplerinin bütünleşik bir biçimde ele alınmasının önemi ortaya koymuştur [Koç, 2021].

Engin [2021], kinetik cephe sistemlerinin güneşiği kontrolü, kamaşma azaltımı ve enerji performansı üzerindeki etkilerini detaylı biçimde ele almıştır. Araştırmada **Engin [2021]**, hareketli cephe elemanlarının güneşiği seviyelerini optimize ettiği, iç mekânlarda kamaşma riskini düşürdüğü ve ısıtma-soğutma enerji yüklerini azaltarak bina genelinde enerji verimliliğini artırdığı belirlemiştir. **Engin [2021]**, simülasyon destekli analizler sonucunda, dinamik cephe tasarımlarının kullanıcı konforunu iyileştirmenin yanı sıra sürdürülebilir yapı hedeflerine ulaşmada etkin bir çözüm sunduğu ortaya koymuştur. Bu çalışma, kinetik cephe sistemlerinin özellikle kamu ve eğitim yapıları gibi yüksek kullanım yoğunluğuna sahip binalarda uygulanabilirliğini destekleyerek enerji etkin tasarım yaklaşımlarına özgün bir perspektif kazandırmaktadır [Engin, 2021].

Deniz [2022], yapı kabuğunun düşük maliyetli yöntemlerle enerji etkin şekilde iyileştirilmesine yönelik yeni bir yaklaşım sağlamıştır. Araştırmada **Deniz [2022]**, mevcut kamu yapılarında gerçekleştirilebilecek cephe iyileştirme stratejileri incelenmiş ve sınırlı bütçelerle maksimum enerji tasarrufu sağlama potansiyeli değerlendirilmiştir. Basit ve ekonomik müdahalelerle ısı performansın artırılabilirliğini, enerji tüketiminin ise anlamlı düzeyde azaltılabileceğini vurgulamıştır. Önerdiği yöntemler, kamu binalarında sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için pratik ve uygulanabilir çözümler sunarak, düşük maliyetli enerji verimliliği çalışmaları için önemli bir referans noktası oluşturmuştur [Deniz, 2022].

Yardımcı [2019], İstanbul'da yer alan mevcut bir ofis yapısının enerji etkin tasarım ilkeleri doğrultusunda yenilenmesine yönelik bir yaklaşım sunmuştur. Mevcut yapıların enerji performanslarının iyileştirilmesinde pasif tasarım stratejileri, cephe optimizasyonu ve sistem verimliliği artırımı gibi yöntemlerin etkili olduğu vurgulamıştır. **Yardımcı [2019]** çalışmada, mevcut bina kabuğunda yapılan iyileştirmelerin, iç mekân konforunu artırırken yıllık enerji tüketiminde önemli düşüşler sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, tasarım müdahaleleri sonucunda enerji

kimlik belgesi sınıfının da yükseldiği belirtilmiştir. Bu yaklaşım, mevcut yapıların tamamen yıkılıp yeniden yapılmasına gerek kalmadan, enerji verimliliklerinin artırılabilceğini göstermesi açısından öne çıkmaktadır. Özellikle kent merkezlerinde bulunan eski ofis yapılarının sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda dönüşümüne yönelik çalışmalara önemli bir referans oluşturmaktadır [Yardımcı, 2019].

Tekbıyık [2021], sürdürülebilir mimarlık bağlamında yenilenebilir enerji kaynaklarının kamu binalarında nasıl uygulanabileceğini incelemiştir. **Tekbıyık [2021]**, araştırmada, farklı iklim bölgelerine uygun yenilenebilir enerji sistemleri analiz edilmiş ve kamu yapılarında uygulanabilirlik kriterleri belirlemiştir. Çalışma, güneş panelleri, rüzgâr türbinleri ve hibrit enerji sistemlerinin kamu binalarındaki verimliliklerini değerlendirerek sürdürülebilir enerji kullanımının bina performansına etkisini ortaya koymuştur. Enerji bağımlılığını azaltan ve karbon salımını düşüren tasarım stratejilerinin kamu yapılarında yaygınlaştırılmasının önemini vurgulayarak, gelecekteki enerji etkin bina dönüşümleri için bilimsel bir referans sunmuştur [Tekbıyık, 2021].

Cirit [2012], binalarda kullanılan güneş kontrol elemanlarının soğutma enerjisi yükleri üzerindeki etkisi incelemiştir. Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde konumlandırılmış örnek bina modelleri üzerinden, sabit ve hareketli güneş kırıcıların performansları simülasyonlarla değerlendirmiştir. DesignBuilder ve EnergyPlus yazılımları kullanılarak yapılan analizlerde, özellikle doğru konumlandırılmış ve yönetime uygun seçilmiş gölgeleme elemanlarının soğutma yüklerinde %15 ila %40 oranında tasarruf sağladığı görülmüştür. Hareketli sistemlerin mevsimsel değişimlere daha iyi uyum sağladığı, doğu ve batı cephelerinde düşey güneş kırıcı, güney cephelerde yatay güneş kırıcıların daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Pasif güneş kontrol stratejilerinin bina enerji verimliliğine olan katkısını ortaya koymakta, sürdürülebilir bina tasarımı için önemli bir rehber sunmaktadır [Cirit, 2012].

Cengiz [2021], mevcut binaların enerji verimliliğini artırmaya yönelik olarak pencere cam alanı oranlarındaki değişikliklerin ve faz değişimli malzeme (PCM) uygulamalarının etkilerini kapsamlı biçimde ele almaktadır. Gün ışığı kazançları ile ısı kayıpları arasında denge kurulması gereken pencere yüzeyleri, bina enerji performansı açısından kritik bir rol oynamaktadır. Cam alan oranının artırılması doğal aydınlatmayı iyileştirse de, özellikle yaz aylarında iç mekânda ısı yükünü artırarak soğutma enerjisi ihtiyacını yükseltebilmektedir. PCM'ler ise, gün içinde biriken ısıyı

emerek ve ihtiyaç duyulduğunda serbest bırakarak iç ortam sıcaklığını dengelemekte etkili olmaktadır. **Cengiz [2021]** çalışmada, farklı iklim bölgelerine göre oluşturulan bina modelleriyle çeşitli cam alan oranları ve PCM kombinasyonları değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, doğru oranda cam kullanımının ve uygun PCM entegrasyonunun bir arada uygulanması, hem ısıtma hem de soğutma yüklerini azaltarak enerji tüketimini önemli ölçüde düşürebilmektedir. Bu bağlamda, cam alan tasarımı ile PCM uygulamalarının bütüncül biçimde ele alınması, enerji etkin bina yenilemeleri açısından önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır [**Cengiz, 2021**].

Gökçen [2023], binalarda enerji verimliliğini artırmaya yönelik olarak uyum gösteren (adaptif) cephe sistemleri içerisinde yer alan hareketli güneş kontrol elemanlarının ısıtma enerji performansı üzerindeki etkileri araştırmıştır. **Gökçen [2023]** çalışma kapsamında, farklı yönlere bakan örnek cephelerde, çeşitli hareketli güneş kontrol sistemleri (döner paneller, kayar paneller, yön değiştiren kanatçıklar vb.) analiz etmiştir. Bu sistemlerin, gün içindeki güneş ışıınımı açısına, dış hava sıcaklığına ve iç mekân gereksinimlerine göre konum değiştirmesi simüle edilerek, bina enerji performansına katkısı değerlendirmiştir. Simülasyonlarda DesignBuilder yazılımı ve EnergyPlus hesaplama motoru kullanılmıştır. Çalışmada Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesine (ılıman, sıcak-nemli, sıcak-kuru ve soğuk iklim) göre konumlandırılmış tipik ofis binası modelleri üzerinden analizler gerçekleştirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, hareketli güneş kontrol elemanlarının sabit elemanlara kıyasla çok daha etkin sonuçlar verdiği görülmüştür. Özellikle yaz dönemlerinde gelen güneş kazançlarının kontrolü ile soğutma yüklerinde %25'e varan azalma sağlanırken, kış döneminde doğal ısıtma kazançlarına izin verilerek ısıtma yüklerinde de dengeli bir düşüş gözlemlenmiştir. Güney cephesinde yön değiştiren yatay panellerin, doğu ve batı cephelerinde ise dikey hareketli panellerin enerji performansı açısından daha etkili olduğu belirlenmiştir. **Gökçen [2023]** ayrıca, çalışmada kullanıcı kontrollü sistemler ile otomatik kontrol sistemleri de karşılaştırmış; otomatik sistemlerin iklim koşullarına daha hızlı ve tutarlı tepki verebildiği, böylece daha istikrarlı bir enerji tasarrufu sağladığı ortaya koymuştur. Hareketli sistemlerin yalnızca enerji verimliliği değil, aynı zamanda görsel konfor ve gün ışığı kullanımı açısından da avantaj sağladığı vurgulanmıştır. Sonuç olarak, adaptif cephelerde kullanılan hareketli güneş kontrol elemanlarının, dış koşullara tepki vererek ısıtma ve soğutma enerjisi yüklerini optimize ettiği, dolayısıyla sürdürülebilir bina tasarımı için önemli bir potansiyel

sunduğu görülmüştür. Bu çalışma, adaptif cephe sistemleri kapsamında hareketli güneş kontrol elemanlarının ısı enerji performansına etkisini detaylı biçimde inceleyerek literatüre önemli katkı sağlamaktadır. Farklı iklim bölgeleri, yönelimler ve kontrol stratejileri bağlamında yapılan kapsamlı simülasyon analizleri sayesinde, dinamik cephe elemanlarının enerji verimliliği üzerindeki rolü somut verilerle ortaya koymuştur. Otomatik kontrol sistemlerinin etkinliğini vurgulayan çalışma, tasarım sürecinde cephe elemanlarının iklim koşullarına duyarlı olarak planlanmasının gerekliliğini göstererek ortaya çıkarmaktadır. Cephe tasarımında dinamik sistemlerin kullanımının enerji verimli, çevre dostu ve konforlu yapılar için stratejik bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır [Gökçen, 2023].

Öz [2015], konaklama yapılarında enerji verimliliğini odağa alarak, tasarım ve performans analizini bir araya getiren bütüncül yaklaşımıyla literatüre önemli katkı sunmaktadır. Özellikle otel gibi yüksek enerji tüketimine sahip yapılarda, tasarım aşamasında alınan kararların enerji performansına etkisini ortaya koyması bakımından özgün niteliktedir. **Öz [2015]** ayrıca enerji modelleme araçlarının karar verme süreçlerine nasıl entegre edilebileceğini göstermesi, mimarlar ve enerji uzmanları için uygulamaya dönük rehberlik sağlamaktadır. Çalışma, sürdürülebilir otel tasarımı konusunda bilimsel ve pratik bir kaynak niteliğindedir [Öz, 2015].

Çetin [2018], pasif tasarım stratejilerinin enerji performansı üzerindeki etkilerini detaylı simülasyonlarla ortaya koyarak literatüre önemli katkı sağlamaktadır. Çift kabuklu cephe sisteminin doğal havalandırma, ısı kontrolü ve güneş kırıcılarla birlikte kullanımının soğutma ve ısıtma yüklerini optimize ettiğini göstermiştir. **Çetin [2018]**, çalışmanın öne çıkan yönü, cephe tasarımında mimari ve çevresel etkenleri entegre bir yaklaşımla ele alması ve tasarım kararlarının enerji tüketimine etkisini sayısal verilerle desteklemesidir [Çetin, 2018].

Başaran [2015], bina cephelerine entegre edilen kinetik gölgeleme sistemlerinin dinamik iklim koşullarına adaptif tepkiler vererek ısı kazancı ve aydınlatma ihtiyacını optimize ettiğini bilimsel verilerle ortaya koymaktadır. Hareketli sistemlerin enerji performansı üzerindeki etkileri detaylı bir biçimde analiz etmiştir **Başaran [2015]**.

Kamu Binalarının Enerji Verimli Yenilenmesine Yönelik Rehber (**ÇŞB**) [2020], kamuya ait mevcut binaların enerji performanslarını artırmak amacıyla yenileme sürecinde izlenmesi gereken teknik, idari ve mali adımları kapsamlı şekilde sunan bir

kılavuzdur. Rehber, enerji etütleri, mevcut durum analizi, ısıtma-soğutma sistemlerinin optimizasyonu, yalıtım uygulamaları, aydınlatma sistemlerinin modernizasyonu ve yenilenebilir enerji entegrasyonu gibi başlıklarda yol gösterici bilgiler sağlar. Ayrıca, yasal çerçeve, teşvik mekanizmaları ve uygulama örnekleri ile karar vericilere, mühendis ve uygulayıcılara bütüncül bir perspektif sunar. Amaç, kamu binalarında hem enerji tasarrufu sağlamak hem de çevresel sürdürülebilirliği desteklemektir [**Kamu Binalarının Enerji Verimli Yenilenmesine Yönelik Rehber (ÇŞB), 2020**].

Anaç [2019], farklı iklim bölgelerinde kullanılan çeşitli cephe gölgeleme sistemlerinin bina enerji performansı üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde analiz etmiştir. Pasif tasarım stratejilerinden biri olan gölgeleme elemanlarının ısıtma ve soğutma yüklerini nasıl etkilediğini belirleyerek enerji verimliliğini artırmaya yönelik öneriler geliştirmektedir. **Anaç [2019]** bu kapsamda, sabit ve hareketli gölgeleme sistemlerinin farklı yönlerdeki cephelere uygulanmasıyla elde edilen enerji performans verileri karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. **Anaç [2019]**, sayısal analizlerde, bina enerji simülasyon yazılımları aracılığıyla yıllık enerji tüketimleri hesaplanmış; güneş kazancı, iç ortam konfor koşulları ve ısıtma-soğutma yükleri gibi parametreler dikkate almıştır. Sonuçlar, özellikle soğutma ağırlıklı yüklerin hâkim olduğu sıcak iklim bölgelerinde gölgeleme elemanlarının önemli ölçüde enerji tasarrufu sağladığını ortaya koymuştur. **Anaç [2019]** ayrıca, yön, açıklık oranı, malzeme ve sistem tipi gibi değişkenlerin performans üzerindeki etkileri detaylı biçimde incelenmiştir. Sürdürülebilir bina tasarımı ve enerji etkin cephe stratejileri geliştirilmesi açısından literatüre önemli katkılar sunmaktadır [**Anaç, 2019**].

1.2. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Türkiye’de kamu yapılarının enerji etkinliği konusunda yapılan düzenlemeler ve yönetmelikler (Enerji Verimliliği Kanunu, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Enerji Kimlik Belgesi gibi) yol gösterici unsurlar olmuştur. Ancak mevcut kamu binalarında, özellikle eski yapılarda, enerji performansının iyileştirilmesine yönelik kapsamlı stratejilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Enerji etkin tasarım, binalarda minimum enerji kullanımı ile maksimum konfor koşullarının sağlanmasını hedefleyen bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Bu

bağlamda, yapı kabuğu (cephe sistemi), dış çevre koşulları ile iç mekân konfor düzeyleri arasında bir bariyer görevi üstlenerek, enerji performansını doğrudan etkilemektedir. Özellikle cephe tasarımında güneş kırıcı sistemler, doğal havalandırma stratejileri ve ısı yalıtım çözümleri gibi pasif tasarım ilkeleri önemli bir yer tutmaktadır.

Bu çalışma, mevcut bir kamu yapısı olan Başiskele Belediye Hizmet Binası'nın enerji performansını, kullanıcı alışkanlıkları, yapı kabuğu özellikleri ve mevcut kullanım verileri üzerinden analiz ederek, dinamik güneş kırıcı sistem entegrasyonu içeren senaryolarla enerji etkinliğini artırmayı hedeflemektedir. Çalışmanın bilimsel temelini, enerji etkin tasarım ilkeleri, cephe iyileştirme yöntemleri ve bina enerji modelleme teknikleri üzerine gerçekleştirilen kapsamlı literatür taraması oluşturmaktadır. Araştırma, kamu yapılarında enerji verimliliğini artırmaya yönelik stratejileri belirlemek amacıyla pasif ve aktif sistemlerin etkinliğini değerlendirmekte ve elde edilen bulguları Başiskele Belediye Hizmet Binası örneği üzerinden ortaya koymaktadır.

Literatürdeki bulgular ve yapılan analizler, kamu yapılarında hareketli güneş kırıcı sistemlerinin uygulanmasının enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabileceğini ve iç mekân konforunu artırabileceğini ortaya koymaktadır. Hareketli güneş kırıcı sistemler de, güneş ışıınımını mevsimsel ve günlük değişimlere göre optimize ederek bina performansına katkı sağlamaktadır. Böylelikle çalışma, sürdürülebilir ve enerji verimli kamu yapıları oluşturma sürecine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

2. KAMU YAPILARI ve ENERJİ ETKİNLİK

Toplumların sosyal, ekonomik ve siyasal yapılarındaki dönüşümlerle birlikte kamu kavramı da tarihsel süreçte önemli değişimler geçirmiştir. Antik dönemlerde Latince "publicus" kavramı, doğrudan yurttaş topluluğunu ve onların ortak çıkarlarını ifade etmek amacıyla kullanılmıştır **[Arendt, 1958]**. Romalılar, bireysel yaşam alanları ile toplumsal mekânlar arasında açık bir ayrım yapmış; kamusal mekân kavramı sokaklar, meydanlar ve tiyatrolar gibi ortak kullanım alanları üzerinden somutlaşmıştır. Ayrıca, "publicum" kelimesi devletin mülkiyetini, gelirlerini ve topraklarını ifade ederken, kamu ve devlet arasındaki güçlü bağın temelleri atılmıştır **[Habermas, 1989]**.

Orta Çağ'a gelindiğinde, kamu kavramı feodal sistemin yapısına bağlı olarak daha sınırlı bir çerçevede ele alınmış; kilise ve yönetici sınıfların yetki alanı altında şekillenmiştir. Ancak Aydınlanma Çağı ile birlikte bireyin haklarının ön plana çıkması, kamu kavramının anlamında köklü değişimlere yol açmıştır. Bu dönemde kamu, toplumun ortak yararı için oluşturulan ve bireysel hakların korunduğu bir alan olarak yeniden tanımlanmıştır.

Günümüzde ise kamu kavramı yalnızca devletin denetimindeki varlıkları değil, aynı zamanda tüm toplumun erişimine açık mekânları, hizmetleri ve faaliyetleri kapsamaktadır. Kamusal alanlar, demokratik katılımın, toplumsal etkileşimin ve ortak yaşam kültürünün sürdürüldüğü ortamlar olarak değerlendirilmektedir **[Mitchell, 2003]**. Sürdürülebilirlik, erişilebilirlik ve sosyal adalet gibi kavramlarla doğrudan ilişkilendirilen kamu alanları, günümüzde bireylerin yaşam kalitesini artırmayı ve toplumsal refahı desteklemeyi amaçlayan dinamik yapılardır.

Kamu yapıları, devlet ve yerel yönetimler tarafından halkın kullanımına sunulan ve kamu hizmetlerinin sağlandığı binalardır. Bu yapılar, eğitim, sağlık, güvenlik, ulaşım ve yönetim gibi farklı hizmet alanlarında faaliyet göstermektedir **[Kaya ve Demir, 2019]**. Kamu yapılarının enerji etkinliği, yüksek kullanıcı yoğunluğu ve sürekli hizmet vermeleri nedeniyle büyük önem taşımaktadır **[European Commission, 2021]**.

Kamu yapıları, hastaneler, okullar, belediye hizmet binaları, adalet sarayları, emniyet binaları ve kültürel tesisler gibi geniş bir yelpazeye sahiptir. Bu yapılar büyük enerji

tüketicileri arasında yer almakta olup, enerji verimliliği çalışmaları ile maliyet tasarrufu ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılabilir [Smith et al., 2018].

Özellikle belediye hizmet binaları, günlük işleyişleri nedeniyle önemli ölçüde enerji tüketmekte ve bu tüketimin optimize edilmesi, hem kamu bütçesi açısından hem de çevresel etkilerin azaltılması açısından kritik bir rol oynamaktadır [Yılmaz, 2020].

Kamu binaları, toplumun ortak kullanımına sunulan, devletin çeşitli hizmetleri yürüttüğü ve kamu yararına işlev gören yapılar olarak tanımlanmaktadır. Bu binalar, sağladıkları hizmet türüne, kullanıcı profiline ve işlevselliklerine göre farklı kategorilere ayrılmaktadır. Kamu binalarının sınıflandırılması, hem mimari tasarım kriterlerini hem de bina performans değerlendirmelerini etkileyen önemli bir unsurdur.

Genel olarak kamu binaları; idari binalar, eğitim binaları, sağlık yapıları, kültürel ve sosyal yapılar ile güvenlik ve adalet yapıları olarak sınıflandırılmaktadır [Yılmaz, 2013].

İdari Binalar: Belediyeler, kaymakamlıklar, valilikler ve diğer kamu kurumlarına ait hizmet binaları bu kategoriye girer. Temel işlevleri kamu yönetimi faaliyetlerini yürütmektir.

Eğitim Binaları: İlköğretim, ortaöğretim, yükseköğretim kurumlarına ait okul ve kampüs yapıları eğitim faaliyetlerini desteklemek amacıyla inşa edilmektedir.

Sağlık Yapıları: Hastaneler, sağlık ocakları ve toplum sağlığı merkezleri gibi, bireylerin sağlık hizmetlerine erişimini sağlamak için kullanılan yapılar bu gruba dahil edilir.

Kültürel ve Sosyal Yapılar: Kütüphaneler, müzeler, tiyatrolar, kültür merkezleri ve spor salonları gibi yapılar, toplumsal kültürel etkileşimi artırmak için kamu hizmeti sunar.

Güvenlik ve Adalet Yapıları: Polis merkezleri, adliyeler, cezaevleri ve askeri tesisler gibi, kamu güvenliği ve adaletin sağlanmasına yönelik binalardır.

Bazı araştırmalara göre, kamu binalarının sınıflandırılması yalnızca işlevsel özelliklerine göre değil, aynı zamanda kullanım yoğunluklarına, erişilebilirliklerine ve enerji performanslarına göre de yapılmaktadır [Altınışık, 2011]. Özellikle son yıllarda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik kriterleri de kamu binalarının sınıflandırılmasında önemli bir ölçüt haline gelmiştir.

Kamu yapılarının bu şekilde kategorize edilmesi, farklı bina türlerine özel enerji etkin tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesine ve bina iyileştirme stratejilerinin belirlenmesine önemli katkılar sağlamaktadır.

2.1. Belediye Hizmet Binaları

Belediye hizmet binaları, yerel yönetimlerin halka sunduğu hizmetlerin yürütüldüğü temel yapılardır. Bu binalar genellikle yönetim birimleri, meclis salonları, danışma ve vatandaş hizmet merkezleri gibi farklı alanlardan oluşur. Bu farklı alanların bütünleşmesiyle ortaya çıkan yapı bulunduğu ve temsil ettiği bölgeyi etkilemektedir. Kanun ve yönetmeliklerin uygulanması üzerine olan etkilerinden farklı olarak kütleli olarak kent silüetine dahil olmaktadır.

Belediye hizmet binalarının halka hizmet etmesi ve ilk ulaşılan kamu yapılarından biri olması sebebiyle ulaşımı ve erişimi kolaylığı konumlandırılması açısından önem arz etmektedir. Günlük işleyişleri gereği yüksek enerji tüketimine sahip olan belediye binalarında enerji verimliliğinin artırılması, bütçe tasarrufu sağlamakla birlikte çevresel sürdürülebilirliğe de katkıda bulunur [U.S. Department of Energy, 2020]. Bu çalışmanın inceleme konusu belediye hizmet binaları idari binalar başlığı altındaki yapılardır.

2.1.1. Tarihsel Gelişimi

Belediye hizmet binalarının tarihsel gelişimi, yerel yönetim anlayışının değişimine paralel olarak ilerlemiştir. Osmanlı döneminde belediye hizmetleri genellikle vakıf binaları, hanlar ve kamu yapıları aracılığıyla yürütülmüştür. Tanzimat Dönemi ile birlikte modern belediyecilik anlayışı gelişmiş ve belediye hizmet binaları daha kurumsal bir yapıya kavuşmaya başlamıştır.

Cumhuriyet döneminde şehir planlamasının önem kazanmasıyla birlikte belediye binaları daha işlevsel ve merkezi bir yapıya bürünmüştür. 1930'lu yıllardan itibaren Türkiye'de modern mimari anlayışı benimsenmiş, belediye hizmet binaları hem yönetsel hem de sosyal fonksiyonları bir arada barındıracak şekilde tasarlanmıştır. 1980 sonrası dönemde, kentleşmenin hızlanmasıyla belediye hizmet binaları daha büyük ölçekli hale gelmiş, çok katlı ve enerji tüketimi yüksek yapılar inşa edilmiştir. 2000'li yıllarda sürdürülebilirlik anlayışının yaygınlaşması ile birlikte belediye

binaları, enerji verimli, akıllı sistemlerle donatılmış ve çevre dostu malzemelerle inşa edilen yapılar haline dönüşmüştür.

Osmanlı döneminde belediye hizmetleri, vakıf yapıları ve yerel idareler aracılığıyla yürütülürken, modern anlamda belediye binaları 19. yüzyılda Batılı yönetim modellerine uyum sağlamak amacıyla ortaya çıkmıştır [Çelik, 2005]. Türkiye'de Cumhuriyet'in ilanı ile birlikte yerel yönetimlerin kurumsallaşması hızlanmış ve belediye hizmet binaları daha işlevsel ve büyük ölçekli hale gelmiştir [Göksu, 2012].

Günümüzde ise bu yapılar, teknoloji ile entegre, enerji verimli ve sürdürülebilir çözümler içeren kompleksler olarak tasarlanmaktadır.

2.1.2. Tasarım ve Uygulama

Belediye hizmet binalarının tasarım süreci, işlevselliği ve sürdürülebilirliği ön planda tutan bir anlayışla gerçekleştirilmelidir. Belediye hizmet binaları merkezi yönetimden farklı olarak yerel yönetimi temsil etmesi sebebiyle halkın birinci derece kullandığı ve hizmet aldığı kamu yapısı olması nedeniyle halkın sürekli kullanımına uygun ve bu sirkülasyonu destekleyecek şekilde tasarlanmalıdır.

Tasarım sürecinde ilk olarak bina konumlandırması ele alınmalıdır. Bina yönlenmesi, doğal ışık ve hava akışından maksimum düzeyde faydalanacak şekilde yapılmalıdır. Doğru yönlendirme sayesinde güneş ışığının optimum kullanımı sağlanarak ısıtma ve aydınlatma ihtiyacı azaltılabilir.

Cephe tasarımında yalıtım ve güneş kırıcı sistemler büyük önem taşımaktadır. Düşük ısı iletim katsayısına sahip malzemeler kullanılarak ısı kayıpları minimize edilebilir. Bunun yanı sıra, çift camlı veya düşük emisyonlu cam sistemleriyle hem doğal ışık kullanımı artırılabilir hem de iç ortam konforu iyileştirilebilir.

İç mekân düzenlemelerinde, kullanıcı konforunu ve bina işletme maliyetlerini azaltacak çözümler uygulanmalıdır. Örneğin, açık ofis planlarıyla havalandırma ve ısıtma sistemlerinin daha etkin çalışması sağlanabilir. Ayrıca, sensörlü aydınlatma sistemleri ve akıllı enerji yönetim yazılımları ile enerji tüketimi optimize edilebilir.

Bina altyapısında sürdürülebilir teknolojiler kullanılmalıdır. Güneş panelleri, yağmur suyu toplama sistemleri ve gri su geri dönüşüm mekanizmaları gibi yenilikçi sistemler, hem enerji tasarrufu hem de su tüketiminin azaltılmasına katkı sağlar. Isı geri kazanım

sistemleri ve doğal havalandırma stratejileri ile iç hava kalitesi artırılırken, aynı zamanda enerji maliyetleri düşürülebilir.

Son olarak, belediye hizmet binalarında enerji performansını izlemek için bina otomasyon sistemleri kullanılmalıdır. Bu sistemler, enerji kullanımını anlık olarak takip ederek gereksiz tüketimleri tespit edebilir ve bina yönetimine tasarruf sağlama imkânı sunar. Akıllı şehir konsepti ile entegre çalışabilen bu sistemler, enerji verimliliği açısından büyük avantajlar sunmaktadır.

Ayrıca, bina kabuğunun yalıtım kalitesi, pencere sistemlerinin güneş kontrolüne uygun olması ve yeşil çatılar gibi sürdürülebilir uygulamaların entegrasyonu da enerji tüketimini düşürmede önemli rol oynamaktadır. Belediyelerin bina tasarımında enerji modelleme yazılımlarını kullanarak en uygun sistemleri belirlemesi, verimlilik açısından faydalı olacaktır. Bunun yanında, yenilikçi bina otomasyon sistemleri ile enerji kullanımının anlık izlenmesi ve yönetilmesi, akıllı şehir konsepti ile entegre edilerek enerji tasarrufunu artırabilir.

2.2. Belediye Hizmet Binalarında Enerji Etkin Yaklaşımın Önemi

Enerji verimliliği, belediye hizmet binalarında maliyetleri düşürmek, çevresel etkileri azaltmak ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, yüksek verimli yalıtım sistemlerinin kullanılması ve akıllı bina teknolojilerinin benimsenmesi kritik rol oynamaktadır [UN Environment Programme, 2021].

Enerji etkin bina tasarımında pasif ve aktif sistemlerin dengeli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Pasif sistemler arasında doğal havalandırma, bina yönlendirmesi, yalıtım malzemelerinin optimizasyonu ve gün ışığından maksimum faydalanma stratejileri yer almaktadır. Aktif sistemler ise güneş panelleri, ısı pompaları, akıllı aydınlatma sistemleri ve otomatik enerji yönetim sistemlerini içermektedir.

Ayrıca, enerji tüketiminin izlenmesi ve yönetilmesi, bina performansını artırarak uzun vadede ciddi tasarruflar sağlayabilmektedir. Akıllı enerji yönetimi sayesinde gereksiz enerji tüketimi önlenir ve bina operasyonları daha verimli hale getirilebilir. Bunun yanı sıra, enerji performansı değerlendirmeleri yapılarak bina iyileştirmeleri düzenli olarak güncellenmelidir.

Gelecekte belediye binalarının sıfır enerji yapıları haline getirilmesi hedeflenmekte olup, bu yönde yapılan çalışmalar hızla artmaktadır. Yeşil bina sertifikaları (LEED, BREEAM vb.), karbon nötr hedefleri ve yenilenebilir enerji entegrasyonu gibi uygulamalar, belediye binalarının çevresel etkilerini azaltmada önemli bir rol üstlenmektedir.

2.2.1. Türkiye'deki Kamu Binalarında Enerji Performans Uygulamaları

Türkiye’de 400.000 adet kamu binası bulunmaktadır **[KABEV, 2024]**. Kamu binaları yapı sektörünün enerji tüketiminin yüksek olduğu bölümünü oluşturmaktadır. Mevcut kamu bina stoğumuzun enerji verimli iyileştirme ihtiyacı bulunmaktadır. Türkiye’de kamu binalarında gerçekleştirilen enerji performans uygulamalarında enerji verimliliğinin artırılması ve sera gazı emisyon değerlerinin azaltılması amaçlanmıştır. 2008 yılında yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ile kamu binalarında enerji kimlik belgesi alma zorunluluğu kapsamına girmiştir **[Resmi Gazete, 2008]**. Binaların tasarım başlangıcından kullanıma kadar tüm süreçte enerji etkin tasarım kriterlerinin kullanılmasını öne sürmektedir. 2017 başlayan KABEV projesi(Kamu Yapılarında Enerji Verimliliği) kapsamında kamu yapılarında %30 a kadar bir enerji tasarrufu sağlanması amaçlanmıştır **[Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017]**. BEP-TR (Binalarda Enerji Performansı Türkiye) yazılımı ile projelendirme aşamasında yapının enerji simülasyonu yapılarak yapıların enerji düzeyinin “A” ve “B” olacak standartta tasarlanması yaygınlaştırılarak hedeflenmiştir. Mevcut kamu yapılarında iyileştirme stratejileri geliştirerek ısıtma-soğutma sistemlerinin yenilenmesi, pencere ve camların değiştirilmesi, güneş kırıcı sistemlerin eklenmesi gibi uygulamalar yapılabilmektedir. Toplam kullanım alanının 10.000 m²’nin üstünde olan yapılarda 2023 yılından itibaren iyileştirme projelerinin tasarlanarak uygulanması zorunlu hale getirilmiştir **[Resmi Gazete, 2018]**. Yapılan bu çalışmalar kamu yapılarındaki enerji verimliliği için daha sistematik ve sürdürülebilir bir sistem oluşturmaya zemin yaratmaktadır.

2.2.2. Türkiye’de Kamu Binalarında Enerji Verimliliği

Kamu yapılarında örnek teşkil eden binalar tasarım ve uygulama süreçlerinde sürdürülebilirlik ilkelerine bağlı olarak enerji verimliliği sağlanmak amaçlanmıştır.

Yapılarda enerji tüketim değerlerini düşürerek pasif tasarım ilkeleri, yenilebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı mekanik ve elektrik sistemlerinde sürdürülebilir ve yenilebilir enerji kaynaklarının yaygın olduğu sistemlerin seçilmesi hedeflenmiştir.

Kamu yapılarındaki enerji verimliliği uygulamaları devlet tarafından desteklenmektedir. Kamuda yapılan bu adımlarla mevcut yapıların iyileştirmesi yönündeki çalışmalarında hızla artması gerekmektedir. Ayrıca kamu yapıları topluma örnek teşkil ederek sürdürülebilirlik bilincinin yaygınlaştırılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

2.3. Türkiye’de Enerji Etkin Yapı Tasarımı Üzerine Kanun ve Yönetmelikler

Enerji tasarrufu ile enerjinin etkin kullanımı sağlanarak, yenilenemeyen enerji kaynaklarının gelecek nesillere miras kalması amaçlanmaktadır. Enerji tasarrufu, üretimde, yaşam standartları ve iş gücünde herhangi bir azalma olmadan enerjiyi verimli kullanmak, israf etmemek; aynı işi daha az enerji kullanarak yapmak olarak tanımlanmaktadır [YEGM, 2014a]. Enerji verimliliği ise; binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinde, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarında bir azalma olmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır [YEGM, 2014b].

2.3.1. Enerji Verimliliği Kanunu

Enerjinin etkin kullanılabilmesi ile ilgili en belirgin kanun 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu 02.05.2007 tarih ve 26510 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Kanunda enerjinin etkin kullanılması, enerji israfının önlenmesi ve ekonomik yükünün azaltılarak verimliliğin artırılması hedeflenmiştir. Enerji verimliliği kanununun yürürlüğe girmesini takiben, ilgili bakanlıklar birçok yönetmelik, genelge ve tebliğ yayımlayarak Türkiye’de enerji verimliliğine ilişkin kapsamlı bir mevzuat altyapısı yaratılmıştır.

2.3.2. Isı Yalıtım Yönetmeliği

Isı Yalıtım Yönetmeliği, BEP-Y’nin temel dayanaklarından biridir ve Türkiye’deki her yeni veya kapsamlı tadilata girecek binada ısı kaybını en aza indirmeyi, böylece

enerji faturalarını ve karbon salımını düşürmeyi hedefler. U-değeri sınırları, detay çözümleri ve denetim süreçleriyle birlikte uygulandığında, binaların en az C enerji sınıfına ulaşmasına önemli katkı sağlar. Asıl amaç Binalarda ısı kayıplarını ve ısı kazançlarını sınırlandırarak enerji tüketimini düşürmek, konfor koşullarını iyileştirmek ve sera gazı emisyonlarını azaltmaktır.

2.3.3. Enerji Kimlik Belgesi

Enerji Kimlik Belgesi (EKB) uygulaması ile yapıların enerji tüketimi ve sera gazı emisyon değerlerinde anlamlı bir tasarruf beklenmektedir. Türkiye’de Enerji Kimlik Belgesi yönetmelik faaliyetleri 1 Ocak 2011 tarihinde başlamıştır. Yönetmelik gereği, bir binanın inşaatı tamamlandıktan sonra “Yapı Kullanma İzin Belgesi” alınabilmesi için Enerji Kimlik Belgesi (EKB) zorunludur. EKB, mevcut ya da yeni bir yapının satış, satın alma ve kiralama işlemlerinde de ibraz edilmelidir. Belge, bu alanda yetkilendirilmiş uzmanlar tarafından düzenlenir. Binaların enerji verimliliği performansının hesaplanması ve EKB’nin hazırlanması için geliştirilen ulusal hesaplama modeli, web tabanlı BEP-TR yazılımı üzerinden uzmanların kullanımına açıktır. Enerji Kimlik Belgeleri (EKB), inşaat sektöründe enerji verimliliğine yönelik stratejilerin oluşturulmasında başlıca veri kaynağıdır. Bu belgelerde, binaların enerji sınıfları ile birlikte yıllık enerji tüketimleri ve sera gazı salım miktarları yer alır. Sağlanan bilgiler, yeni projelerde temel enerji verimliliği koşullarını belirlemeye; mevcut yapılarda ise iyileştirme alanlarını saptamaya yardımcı olur.

EKB verilerinin geniş ölçekte analiz edilmesi, çağdaş inşaat yöntemlerinin yaygınlaşmasını ve yenilikçi yapı malzemelerinin geliştirilmesini teşvik edebilir. Bunun için belgenin hazırlandığı süreçte binanın çevresi, arazi kullanımı ve yerel iklim koşulları mutlaka dikkate alınmalıdır. Ayrıca EKB verileri; kadastral, çevresel ve atmosferik bilgilerle entegre edilerek üç boyutlu modellerde işlenebilir. Böylece enerji tüketiminin çevresel etkileri incelenebilir, bölgesel enerji politikaları geliştirilebilir ve uygulamaların sonuçları izlenebilir. Doğru, güncel ve güvenilir veriyle desteklenen bu yaklaşımlar, gerçekçi hedeflerin konulmasını ve sağlıklı planlamalar yapılmasını sağlar.

Bu nedenle farklı veri kümelerini EKB bilgileriyle bir araya getiren “Bina Enerji Bilgi Sistemi”nin kurulması, etkin enerji verimliliği politikalarının geliştirilmesi açısından

kritik önem taşır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) sayesinde yerel yönetimler bina stokunun konum bazlı enerji performansını görebilir; hangi yapıların rehabilitasyona ihtiyaç duyduğunu ve olası finansman seçeneklerini saptayabilir.

BEP-TR yazılımında bir binaya ait bütün geometrik ve mekanik özellikler (mimari, statik, ısıtma, havalandırma, aydınlatma vb.) tanımlandıktan sonra; ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemlerinin enerji tüketimleriyle birlikte sera gazı emisyonları da hesaplanmaktadır **Tablo 2.1**.

Tablo 2.1: Enerji kimlik belgelerindeki temel veriler [Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2019].

Bina Verisi	Enerji Performans Verileri	Belge Verileri
Bina Tipi	Enerji Performans Oranı	Veriliş Tarihi
İnşaat Ruhsat Tarihi	Sera Gazı Emisyon Oranı	Geçerlilik Tarihi
Toplam Alan	Yenilenebilir Enerji Kullanım Oranı	Belge Numarası
Ada-Parsel-Pafta No	Toplam Yıllık Enerji Tüketimleri	Performans Sınıfı
UAVT Bina No	Toplam Yenilenebilir Enerji	Emisyon Sınıfı
Adres	Kojenerasyon	Düzenleyen Kişi
	Fotovoltaik	Düzenleyen Firma
		Sertifika No

Enerji kimlik belgesi hesaplanırken BEP-TR hesaplama yöntemi; yapıların ısıtılması ve soğutulması için gerekli net enerji ihtiyacının belirlenmesi, ihtiyacı karşılayacak sistem sistemin kayıpları da hesaplanarak yapının toplam ısıtma ve soğutma tüketiminin hesaplanması, havalandırma için gerekli enerji tüketiminin belirlenmesi, yapının gün ışığı alım süresinin belirlenmesi ve gün ışığının ihtiyacı karşılamadığı kısımlarda aydınlatma enerji tüketiminin belirlenmesi, sıcak su için kullanılan enerjinin belirlenmesi, kullanılan enerji kaynak türlerinin belirlenmesi, yenilebilir enerji kaynak kullanımının amaçlanmasını kapsamaktadır. Binaların enerji performansı değerlendirilirken yedi basamaklı bir ölçek kullanılır: A, B, C, D, E, F ve G. En yüksek verimliliği A sınıfı temsil ederken, G sınıfı en fazla enerjiyi tüketen

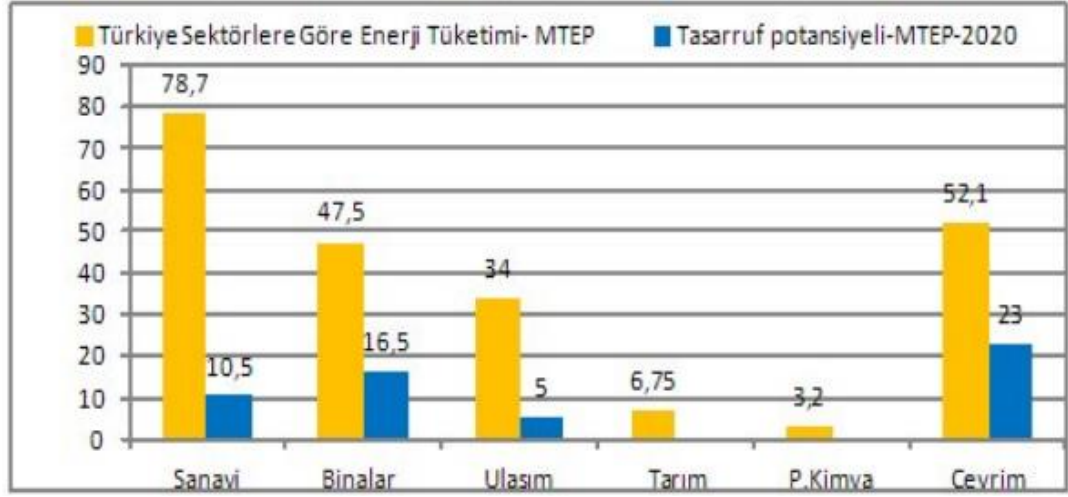
kategoriyi ifade eder. Bir yapıya ait mimari ve tesisat verileri BEP-TR yazılımına girildiğinde, program otomatik olarak enerji sınıfını hesaplar. Mevzuata göre, bir binanın “kabul edilebilir” sayılabilmesi için en az C sınıfında yer alması zorunludur **Tablo 2.2.**

Tablo 2.2: Bina enerji sınıfı ve enerji aralıkları [Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2019].

Enerji Sınıfı	Ep Aralıkları
A	0-39
B	40-79
C	80-99
D	100-119
E	120-139
F	140-174
G	175-...

2.3.4. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

05.12.2008 tarihli ve 27075 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren bu yönetmelik; dış iklim koşulları, iç mekân gereksinimleri, yerel şartlar ve maliyet etkinliği gibi unsurları gözетerek binaların tüm enerji kullanımlarını hesaplamaya yönelik kuralları belirlemeyi amaçlar. Yönetmelik, binaların birincil enerji tüketimi ve karbondioksit (CO₂) emisyonu bakımından sınıflandırılmasını; yeni yapılar ile kapsamlı tadilat geçirecek mevcut binalar için asgari enerji performans gerekliliklerinin tanımlanmasını; yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini; ısıtma-soğutma sistemlerinin kontrolünü ve sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını öngörür. Ayrıca binalarda performans kriterleri ile uygulama esaslarını düzenleyerek çevrenin korunmasına katkı sağlamayı hedefler **Şekil 2.1.**



Şekil 2.1: Türkiye'nin 2020 yılına yönelik sektörlerdeki enerji tasarruf potansiyeli [WWF Enerji İklim Değişikliği, 2011].

2.3.5. Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelik

Enerji verimliliği, günümüzde çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik kalkınma ve enerji arz güvenliği açısından hayati öneme sahiptir. Türkiye’de bu konuda yürürlükte olan en önemli yasal düzenlemelerden biri “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelik”tir. Bu yönetmelik, 2008 yılında 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'na dayanarak çıkarılmış ve zamanla güncellenmiştir. Yönetmeliğin amacı, enerji kaynaklarının ve enerjinin etkin kullanımı, israfın önlenmesi ve çevrenin korunmasını sağlamak için enerji verimliliğini artırıcı önlemlerin yasal çerçevesini oluşturmaktır.

Yönetmelik kapsamında; sanayi kuruluşları, bina sektörü, ulaşım sektörü, enerji üretim ve dağıtım tesisleri ile kamu kurumları gibi pek çok alanda enerji verimliliği uygulamalarının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Enerji yöneticisi görevlendirme zorunluluğu, enerji etüdü yapılması, verimlilik artırıcı projelerin (VAP) desteklenmesi, gönüllü anlaşmalar ve enerji yönetim sistemlerinin kurulması gibi uygulamalar, yönetmelikte yer alan başlıca düzenlemelerdir.

Sanayi sektörü, yönetmeliğin önemli hedef gruplarından biridir. Yıllık enerji tüketimi 1000 TEP'in (Ton Eşdeğer Petrol) üzerinde olan işletmelerin enerji yöneticisi görevlendirmesi, enerji yönetim birimi kurması ve enerji etütleri yapması zorunludur.

Ayrıca bu işletmeler, enerji verimliliği projeleri geliştirerek devlet desteklerinden yararlanabilmektedir.

Binalar ise yönetmeliğin diğer kritik alanıdır. Yönetmelik, toplam inşaat alanı 20.000 m²'yi geçen veya yıllık enerji tüketimi 500 TEP'i geçen ticari ve kamu binalarında enerji yöneticisi bulundurulmasını şart koşar. Aynı zamanda enerji kimlik belgesi (EKB) alınması, ısı yalıtımı yapılması, otomasyon sistemlerinin kurulması ve enerji performansının izlenmesi gibi uygulamaları zorunlu hale getirir.

Kamu kurumları, enerji verimliliğinde örnek teşkil etmeleri amacıyla ayrıca yükümlülük altındadır. Bu kurumların her yıl enerji tüketimlerini izlemeleri, enerji etütleri gerçekleştirmeleri ve yıllık enerji tasarruf hedefleri belirlemeleri gerekmektedir. Uygulama ve denetim yetkisi, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı Enerji ve Verimlilik Dairesi Başkanlığı ile Türkiye genelindeki yetkilendirilmiş enerji verimliliği danışmanlık şirketleri (EVD) aracılığıyla yürütülmektedir. Yönetmelikte belirlenen yükümlülükleri yerine getirmeyen kişi ve kuruluşlara idari yaptırımlar uygulanabilmektedir. Sonuç olarak, bu yönetmelik Türkiye'nin enerji verimliliği politikasının temel taşlarından biridir. Enerji tüketiminin azaltılması, enerji maliyetlerinin düşürülmesi, dışa bağımlılığın azaltılması ve sera gazı emisyonlarının kontrol altına alınması gibi birçok amaca hizmet eder. Hem özel sektörün hem de kamunun bu yönetmelik çerçevesinde üzerine düşen sorumlulukları yerine getirmesi, ülke genelinde enerji verimliliği kültürünün yaygınlaşmasını sağlayacaktır.

2.3.6. Merkezi Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmelik

Enerji verimliliği ve adil maliyet paylaşımı açısından büyük öneme sahip olan “Merkezi Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmelik”, 2008 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik, 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu kapsamında çıkarılmış olup, merkezi sistemle ısıtılan binalarda enerji giderlerinin kullanıcılar arasında adil, şeffaf ve ölçüme dayalı biçimde paylaşılmasını hedefler.

Yönetmelik, merkezi ısıtma sistemine sahip konutlar, iş yerleri ve kamu binalarında, ısınma ve sıcak su tüketimi giderlerinin nasıl hesaplanacağı ve paylaşılacağına dair usul ve esasları düzenler. Bu düzenlemeler sayesinde hem kullanıcıların enerji

tüketimi konusunda bilinçlenmesi sağlanır hem de sistemin verimli çalışması teşvik edilir.

Yönetmelik kapsamında, ısınma ve sıcak su giderlerinin ölçümüne dayalı olarak paylaştırılması esastır. Bunun için binalarda ısı sayaçları (kalorimetre) veya ısı pay ölçer cihazları kullanılır. Eğer her dairede bağımsız bir ısı sayacı varsa, tüketilen enerji miktarı doğrudan bu cihazlardan okunarak paylaştırılır. Isı pay ölçer kullanılıyorsa, cihazların tespit ettiği değerler ile sabit giderler dikkate alınarak bir hesaplama yapılır.

Paylaştırma sistemi şu şekilde işler:

Toplam giderler, yakıt giderleri, bakım-onarım giderleri ve işletme giderleri olarak üç ana kaleme toplanır. Bu giderlerin %30'u sabit gider, %70'i ise tüketim bazlı değişken gider olarak paylaştırılır. Sabit giderler, dairelerin bağımsız bölümlerinin yüzölçümüne göre bölüştürülür. Değişken giderler, her dairenin tüketimine göre (ısı sayacı veya pay ölçerden alınan verilerle) belirlenir.

Ayrıca, ısıtma sistemini kapatan veya minimuma indiren daireler bile sabit giderlerden ve belirli bir oranda değişken giderlerden sorumludur. Bu, sistemin dengesini korumak ve ortak alanların da ısınmasını sağlamak için gereklidir.

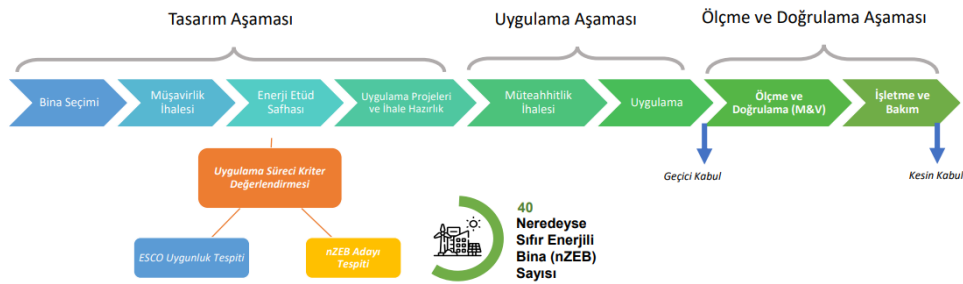
Yönetmelik, aynı zamanda ısı ölçüm sistemlerinin kurulumu ve bakımıyla ilgili sorumlulukları da tanımlar. Sistemin kurulumu, bina yönetimi tarafından yapılır ve masraflar ortak gider kapsamında değerlendirilir. Ölçüm cihazlarının periyodik kontrolü ve kalibrasyonu ise yetkili servisler tarafından gerçekleştirilmelidir.

Uygulamanın şeffaflığını sağlamak amacıyla, bina yönetimi her ay veya belirli dönemlerde kullanıcılarla gider paylaşım tablolarını paylaşmakla yükümlüdür. Kullanıcılar bu tablolar üzerinden kendi tüketim miktarlarını ve gider kalemlerini inceleyebilir.

Sonuç olarak, bu yönetmelik, hem enerji tasarrufunu hem de bireysel tüketim bilincini artırmayı hedefleyen önemli bir yasal düzenlemedir. Adil maliyet paylaşımı, enerji kaynaklarının etkin kullanımı ve merkezi sistemlerin sürdürülebilir işletilmesi açısından yönetmeliğin doğru uygulanması büyük önem taşımaktadır.

2.3.7. Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Projesi (KABEV)

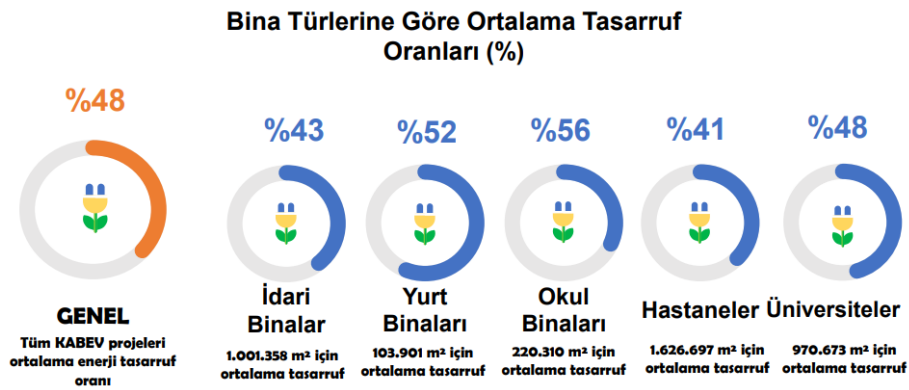
Çevre, şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığı tarafından başlatılan KABEV projesi kamu yapılarında yapılan iyileştirme çalışmaları ile enerji tüketiminde tasarruf sağlamayı amaçlamaktadır. Kamu sektörüne öncü olarak enerji tüketimi ve kamu kaynaklı cari açığın azaltılmasını sağlamak, enerji verimliliği çalışmaları içinde sektöre öncü olmak amaçlanmıştır. Kabev projesi ile ÇŞB, merkezi hükümet ve merkezi hükümete bağlı binaların (okullar, üniversiteler, adliye binaları, idari binalar ve hastaneler gibi) iyileştirme çalışmalarını desteklemektedir. Yapılacak olan bina iyileştirmeler kabuğunun iyileştirilmesi, binalara fotovoltaiik panellerin kurulması, ısıtma sistemlerinin rehabilitasyonu, bina otomasyon ve enerji izleme sistemlerinin kurulması, sirkülasyon pompalarının sürücü ile kontrol edilmesi ve verimli motorlar ile değiştirilmesi, aydınlatma sisteminin gibi iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır. Yapılan bu iyileştirme çalışmaları ile binalardaki konfor düzeyini arttırmak, minimum %20 enerji tasarrufu sağlamak, ve CO2 emisyonlarında azalma sağlanmak amaçlanmıştır. Yapının mevcut durumda ısıtma ve soğutma için toplam enerji tüketim değerlerini azaltma yönünde iyileştirme çalışmaları yapılacaktır. Kamu binalarında enerji verimliliği performansını iyileştirmek ve gerekli yerlerinde yenilenebilir enerji kullanımını artırmak hedeflenmiştir. Kamu binalarında hedef %30 enerji tasarrufu sağlamaya çalışmaktır. Kabev projesi kapsamında seçilecek binalar için uygunluk kriterleri aranmaktadır. Bina uygunluk kriterlerine uyan kamu binalarının proje kapsamına alınması için seçim kriterleri: bina tipolojisi/fonksiyonu, binanın büyüklüğü, binanın spesifik enerji tüketimi, binanın iklim bölgesi, binanın cephe tipi, yenilenebilir enerji imkanları. Proje süreci bina seçimi ile başlayarak işletme ve bakım maliyetlerinin hesaplanması ile son bulan bir süreci kapsamaktadır. Aşağıdaki görselde proje süreci anlatılmaktadır.



Şekil 2.2: Kamu binalarında enerji verimliliği projesi (KABEV) proje süreci [KABEV,2024].

Proje kapsamında bina kabuğunda yapılacak olan iyileştirmeler 5 ana başlık altında sıralanmaktadır. Bina Kabuğunda yapılacak iyileştirmeler, Isıtma ve soğutma sistemleri, sıcak su sistemleri, Aydınlatma, Güç sistemleri ve enerji kullanan sistemler, Yenilenebilir Enerji Sistemleri ana başlıklardır. Bina Kabuğunda yapılacak iyileştirmeler; Duvar, çatı ve zemin yalıtımları, Pencere ve kapı değişimleri, Pencere ve güneş kırıcı optimizasyonu: doğal gün ışığından daha çok yararlanılması amaçlanmıştır. Isıtma ve soğutma sistemleri, sıcak su sistemleri kazan iyileştirmesi /yenilemesi, yakıt değişimi (katı yakıt – doğalgaz), kontrol sistemleri; tesisat boru ve ekipman yalıtımı, chiller/ac replacement, ısı pompaları, ko-jenerasyon/tri – jenerasyon, bina otomasyonu, ısı geri kazanım sistemlerinin yeniden düzenlenmesidir. Aydınlatma da yapılacak iyileştirmeler; led lamba değişimi, elektronik balastlar, hareket duyarlı sensörler, kompakt florasant lambalar, yüksek basınçlı sodyum buharı (sokak aydınlatması/çevre aydınlatması). Güç sistemleri ve enerji kullanan sistemler; pompalar ve fanlarda yapılan iyileştirmeler. Yenilenebilir Enerji Sistemleri; Çatı tipi PV uygulamaları, Güneş enerjisi ile sıcak su elde edilmesi, Jeotermal ısı pompaları gibi iyileştirme seçenekleri uygulanabilir.

Kabev kapsamında iyileştirme yapılan örnek çalışmalardan elde edilen verilere göre bina türlerine göre ortalama tasarruf oranları aşağıdaki tabloda yer almaktadır **Şekil 2.3.**



Şekil 2.3: KABEV enerji verimliliği oranları bina türlerine göre ortalama tasarruf oranları (%) [KABEV,2024].

Kabev projesi enerji tüketiminin azaltılması ile kamu bütçesinde tasarruf sağlamanın yanında çevresel ve sosyal alanda toplumu bilinçlendirerek ve geliştirerek katkı sağlamaktadır.

2.3.7. İklim Kanunu

Türkiye’de 2025 yılında yürürlüğe giren İklim Kanunu’nun amacı, yeşil büyüme vizyonu ve net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda iklim değişikliğiyle mücadele etmektir **[Resmî Gazete, 2025, Madde 1/1]**. Kanun, iklim değişikliği ile mücadelede esas olan sera gazı emisyonlarının azaltılması ve iklim değişikliğine uyum faaliyetleri ile bu faaliyetlerin planlanması ve uygulanması için gerekli araçları, gelirleri, izin ve denetim mekanizmalarını ve bunlara ilişkin yasal ve kurumsal çerçeveyi düzenlemektedir **[Resmî Gazete, 2025, Madde 1/2]**.

Bu kapsamda İklim Kanunu, hem sektörel hem de ulusal ölçekte iklim politikalarının uygulanmasını sağlayacak bir hukuki altyapı sunmakta ve kamu kurumlarının iklim değişikliği ile mücadelede sorumluluklarını net bir şekilde belirlemektedir. Kanun, enerji, sanayi, ulaşım ve tarım gibi yüksek sera gazı emisyonuna sahip sektörlerde, temiz üretim, enerji verimliliği ve sürdürülebilir uygulamaların teşvik edilmesini hedeflemektedir **[Resmî Gazete, 2025]**.

Enerji verimliliği, 2025 İklim Kanunu’nun merkezinde yer alan öncelikli alanlardan biridir. Kanun, kamu ve özel sektör kurumlarını, enerji tüketiminde tasarruf sağlayacak önlemleri uygulamaya ve sürdürülebilir enerji yönetimi sistemlerini devreye almaya yönlendirmektedir. Bu bağlamda, yüksek enerji tüketimine sahip binalarda enerji performans standartlarının yükseltilmesi, verimli ısıtma ve soğutma sistemlerinin kullanılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu teşvik edilmektedir. Kanun ile birlikte enerji verimliliği uygulamalarının izlenmesi, raporlanması ve uyum yükümlülüklerinin yerine getirilmemesi durumunda uygulanacak yaptırımlar da belirlenmiştir. Bu düzenlemeler, enerji tasarrufunun artırılmasına ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına doğrudan katkı sağlamaktadır. Türkiye’nin iklim değişikliğiyle mücadelede yasal ve kurumsal altyapısını güçlendiren temel bir düzenleme olarak öne çıkmaktadır. Enerji verimliliği, bu çerçevenin temel unsurlarından biri olarak, hem toplam enerji tüketiminin azaltılmasına hem de sürdürülebilir ve konforlu yapıların teşvik edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yönüyle kanun, enerji yönetimi ve sürdürülebilir yapı tasarımı stratejik bir yol gösterici işlevi görmektedir.

3. ENERJİ ETKİN YAPILAR

Enerji etkin yapılar, fosil yakıt tüketimini azaltarak enerji tasarrufu sağlayan ve çevre dostu teknolojileri barındıran yapılardır. Bu yapılar, pasif tasarım stratejileri, yüksek yalıtımlı malzemeler, güneş enerjisi ve akıllı enerji yönetim sistemleri ile donatılmaktadır. Yapıların enerji verimliliğini artırmak, aynı zamanda kullanıcı konforunu da birçok açıdan iyileştirme imkânı sunar. Bu sayede, performansı yüksek binalar inşa etmek mümkün hâle gelir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2016 yılında yayımlanan Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri el kitabında da vurgulandığı üzere; sürdürülebilirlik, erişilebilirlik, güvenlik, işlevsellik, verimlilik, estetik değerler, tarihi dokunun korunması ve maliyet etkinliği gibi kriterleri karşılayan yapılar, yüksek performanslı binalar olarak tanımlanmaktadır

Şekil 3.1.



Şekil 3.1: Yüksek performans ölçütlü yapı kriterleri [Çevre ve Şehircilik Bakanlığı,2016].

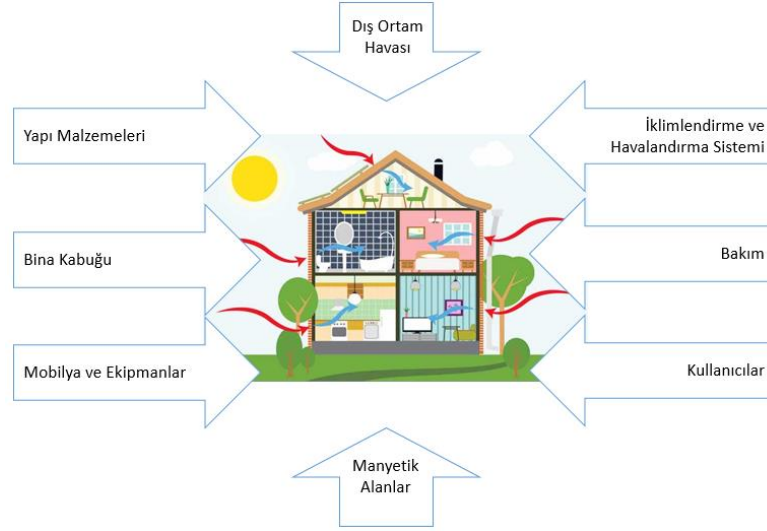
Enerji etkinliğinde asıl amaç ihtiyaçlardan ödün vermeden enerjinin korunmasına katkı sağlamaktadır. Enerji kaynakları yüksek performansta kullanılarak, enerjiden kayıpları minimum standartlara indirgeyecek performans ölçütleri oluşturmaktır. Ülkemizde enerji tasarrufunda yapı sektörü %30, %20 üretim sanayisinde, %15 lik kısmı ise ulaşım alanında olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Enerji etkin tasarım stratejileri, kullanıcı konforunu artırmanın yanı sıra yapının yaşam döngüsü maliyetlerini optimize ederek önemli bir katma değer oluşturmaktadır. Enerji

verimliliği esasına göre tasarlanan yapılar, daha düşük enerji tüketimi sayesinde işletme süresince ekonomik tasarruf sağlar; bu da başlangıçta yapılan yüksek yatırım maliyetlerinin uzun vadede geri kazanılmasını mümkün kılar. Ayrıca, yapıların kullanım ömrü boyunca daha az CO₂ salımı gerçekleştirmesi, çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamakta ve toplum genelinde olumlu etkiler yaratmaktadır.

3.1. Enerji Etkin Yapılarda Etkili Olan Kriterler

Enerji etkin yapılarda yapının tasarım ve yapım aşamasından kullanım ömrünü tamamlayıp yıkım ve geri dönüşüm sürecine kadar olan tüm süreçte kaynakların korunumunun değerlendirilmesidir. Yapının kullanım ömrü boyunca da minimum enerji tüketimi sağlayarak verimli konfor koşulları oluşturulması istenmektedir. Enerji etkin yapı tasarım sürecinde; ısı yalıtımı ve malzeme seçimi: Düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip malzemeler kullanılarak enerji kayıpları azaltılmalıdır **[Santamouris, 2016]**. Yenilenebilir enerji kullanımı: Güneş panelleri, rüzgâr türbinleri ve jeotermal sistemler ile bina enerji ihtiyacı karşılanmalıdır **[Foster et al., 2017]**. Akıllı bina sistemleri: Otomasyon sistemleri sayesinde enerji tüketimi optimize edilmelidir **[Yeang, 2008]**. Doğal aydınlatma ve havalandırma: Güneş ışığından maksimum düzeyde faydalanarak yapay aydınlatma ihtiyacı azaltılmalıdır **[Givoni, 1998]**. etkili olan sistemler yer almaktadır. Bu koşulların sağlanabilmesi için belirli kriterler esas alınmaktadır. Başlıca bu kriterler kullanıcıya ilişkin kriterler, yapı niteliğine ilişkin kriterler, çevreye ilişkin kriterler, yapının biçimi konumu ve yönlendirilmesi, yapının mekân yerleşimi, yapının termofiziksel kriterler, yapı kabuğu ve güneş kırıcı sistemleri gibi başlıklardır. Mevcut yapılarda bina kabuğunda yapılacak iyileştirmeler yapının enerji tüketim değerlerini azaltmadan en etkili bir yöntemdir **Şekil 3.2.**



Şekil 3.2: İç ortam hava kalitesini etkileyen temel faktörler [Web-1,2019].

Binanın dış kabuğuna uygulanan aktif veya pasif güneş enerjisi sistemleri sayesinde, yapının enerji ihtiyacının bir kısmı karşılanabilmekte ve bu durum, enerji etkin tasarım anlayışının bir göstergesi olarak öne çıkmaktadır.

3.1.1. Kullanıcıya İlişkin Kriterler

Tarih boyunca insanlar çevresel koşullara uyum sağlayacak şekilde önlemler almışlardır. Bu önlemler alınırken kullanıcının konfor koşulları göz önüne alınmıştır. Kullanıcı var olduğu bölgede, bölgenin ona sunduğu olanakları en verimli hale dönüştürmeyi amaçlayarak, zorlu koşullara karşı önlemler yaratmışlardır. Enerji etkinliği bağlamında bir yapının kullanıcıya ilişkin kriterleri, hem yapının işlevselliğini hem de kullanıcı konforunu doğrudan etkileyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Kullanıcıların yaşam alışkanlıkları, kullanım süreleri, iç mekân ihtiyaçları ve davranış biçimleri, yapı tasarımında göz önünde bulundurulması gereken önemli parametrelerdir. Enerji tüketiminin optimize edilmesi, yalnızca yapının teknik donanımı ve fiziksel özellikleriyle değil, aynı zamanda kullanıcıların bu yapıyı nasıl kullandıklarıyla da yakından ilişkilidir. Örneğin, bir ofis binasında çalışanların çalışma saatleri ve mekân içerisindeki hareketlilik yoğunluğu, aydınlatma ve iklimlendirme sistemlerinin enerji ihtiyacını doğrudan şekillendirir. Benzer şekilde, konutlarda kullanıcıların evde kalma süreleri, evin ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını değiştirir. Bu

nedenle, tasarım sürecinde kullanıcı davranış modellerinin analiz edilmesi, enerji verimliliği hedeflerine ulaşılmasını kolaylaştırır.

Kullanıcı konforunun sağlanması, enerji verimliliği ile çelişmeden dengelenmelidir. Termal konfor, görsel konfor ve akustik konfor gibi çeşitli boyutları bulunan kullanıcı memnuniyeti, yapının enerji performansını etkileyen önemli unsurlardandır. Termal konforun sağlanması için iç mekân sıcaklıklarının uygun aralıklarda tutulması gerekmektedir. Ancak aşırı ısıtma ya da soğutma, enerji israfına yol açar. Bu nedenle, bina otomasyon sistemleri ve sensör teknolojileri kullanılarak, gerçek zamanlı kullanıcı ihtiyaçlarına göre enerji kullanımı optimize edilebilir. Örneğin, hareket sensörleri sayesinde kullanılmayan odaların aydınlatma ve iklimlendirmesi kısılabilir veya kapatılabilir. Böylelikle hem enerji tasarrufu sağlanır hem de kullanıcı memnuniyeti artırılır.

Ayrıca, yapının işlevselliği ve esnekliği, farklı kullanıcı ihtiyaçlarına uyum sağlayabilmesi açısından önemlidir. Özellikle karma kullanımlı binalarda, farklı kullanıcı gruplarının enerji ihtiyaçları birbirinden farklı olabilmektedir. Bu durum, bölgesel iklimlendirme ve aydınlatma çözümlerinin kullanıcı bazında özelleştirilmesini gerektirir. Kullanıcıların enerji tüketim alışkanlıklarının bilinmesi ve bu alışkanlıkların yapının tasarımına yansıtılması, sürdürülebilir enerji kullanımını destekler. Bununla birlikte, kullanıcı eğitimi ve bilinçlendirme programları da enerji etkinliğinin artırılmasında kritik bir role sahiptir. Yapı içerisindeki kullanıcıların enerji tasarrufu davranışları teşvik edildiğinde, toplam enerji tüketiminde anlamlı azalmalar sağlanabilir.

Enerji etkinliği kapsamında, kullanıcıların sağlıklı ve konforlu bir iç ortamda bulunmalarının garanti altına alınması gerekir. İç hava kalitesi, nem oranı, doğal ışık kullanımı ve yapay aydınlatmanın dengeli biçimde sağlanması, kullanıcı sağlığı ve performansı üzerinde doğrudan etkilidir. Örneğin, yeterli doğal aydınlatma hem kullanıcıların psikolojik durumunu olumlu etkiler hem de yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyacı azaltarak enerji tüketimini düşürür. Bu nedenle, tasarımda gün ışığından maksimum fayda sağlanması için pencere yerleşimi, cephe yönü ve saydamlık oranı gibi parametreler kullanıcı ihtiyaçları gözetilerek optimize edilmelidir.

Sonuç olarak, enerji etkin bir yapı tasarımında kullanıcı kriterleri, teknik ve mimari unsurlar kadar önemlidir. Kullanıcıların ihtiyaçları, alışkanlıkları ve konfor

beklentileri dikkate alınarak yapılan tasarımlar, hem enerji tüketimini minimize eder hem de yaşam kalitesini yükseltir. Bu bağlamda, enerji etkinliği sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu, kullanıcı odaklı bütünsel bir yaklaşım gerektirir.

3.1.2. Yapı Biçimi ve Yapı Niteliğine İlişkin Kriterler

İklim koşullarına uygun yapı formu seçimi, enerji etkin tasarımın temel adımlarındandır. Soğuk iklim bölgelerinde, ısı kayıplarını azaltmak amacıyla dış yüzey alanı en aza indirilen, kompakt ve kareye yakın planlı bina formları tercih edilmelidir. Ilıman ve nemli iklimlerde, yaz aylarında serinleme ve doğal havalandırma ihtiyacını karşılamak için rüzgâra açık, geniş cepheli, dikdörtgen biçimli ve serbest planlı yapılar daha uygundur. Ilıman ancak kuru iklimlerde, özellikle kış aylarında ısıtma ihtiyacının ön planda olduğu dönemlerde ise rüzgârın etkisini azaltan, yine kompakt ve kareye yakın plan tipleri önerilmektedir. Sıcak ve kuru iklim bölgelerinde, iç avluya sahip plan düzenleri hem gölgeleme hem de mikroklima etkisi yaratarak iç mekân konforunu artırır. Sıcak ve nemli iklimlerde ise, yapıların uzun ve dar, rüzgâra açık planlara sahip olması, doğal havalandırmayı destekleyerek iç ortam sıcaklığının düşürülmesine katkı sağlar.

3.1.3. Çevreye İlişkin Kriterler

İklim koşulları ve coğrafya yer seçimi ve yapım teknikleri konusunda kullanıcıyı en çok etkileyen kriter konumundadır. İklimsel koşullar yapının coğrafya içerisinde yönleneceği koşulları ve konumları yönlendirmektedir. Topoğrafya verileriyle beraber değerlendirilen iklim koşulları yapıların yerleşim bölgeleri birlikte oluşturmaktadır. İklim koşullarının sağladığı şartlara göre güneşe yönelmek ya da göneşten sakınmak gibi stratejiler belirlenmektedir. Çevresel şartlar tasarım tercihlerini yaratmakta ve yönlendirmektedir. İklimsel verilere duyarlı planlama kararları, yapıların ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma ihtiyaçlarını minimize ederek, pasif enerji kazanımlarını maksimize etmeye olanak tanır. Türkiye gibi farklı iklim kuşaklarına sahip ülkelerde, yapıların tasarım sürecinde bölgesel iklim sınıflandırması dikkate alınmalıdır. Örneğin, Karasal iklimin hâkim olduğu İç Anadolu Bölgesi'nde gündüz sıcaklık farkı fazla olduğundan, ısı yalıtımı yüksek ve termal kütlesi güçlü yapı malzemelerinin kullanılması enerji verimliliği açısından kritiktir. Akdeniz ikliminin

egemen olduğu bölgelerde ise, güneş kontrol elemanları ve doğal havalandırma stratejileri ön plana çıkar. Bu nedenle, yer seçiminde hâkim rüzgâr yönü, yıllık güneşlenme süresi, sıcaklık ortalamaları ve nem değerleri ayrıntılı biçimde analiz edilmelidir. Topoğrafik yapı da enerji etkin yerleşim kararlarını doğrudan etkileyen başka bir unsurdur. Örneğin, eğimli arazilerde yapılacak yerleşimlerde güneş ışığından maksimum düzeyde yararlanmak için binaların yönlenmesi dikkatle planlanmalıdır. Güney yamaçlara yerleştirilen yapılar, ısı kazançlar açısından avantaj sağlayabilirken, kuzeye bakan eğimli arazilerde ise ısı kayıpları artış gösterebilir. Ayrıca topoğrafya, doğal hava akımlarının yönünü ve hızını da etkilediğinden, yerleşim planlamasında mikroklimatik koşullar dikkate alınmalıdır. Enerji etkinlik hedefleri doğrultusunda yer seçimi, yalnızca arsa teminiyle sınırlı kalmayıp, iklimsel ve topoğrafik verilerin bütüncül olarak analiz edildiği, çevreye duyarlı bir tasarım süreci gerektirmektedir. Bu bağlamda, uygun yer seçimi ile hem enerji tüketimi azaltılabilir hem de kullanıcı konforu ve çevresel sürdürülebilirlik desteklenebilir.

3.1.4. Yapının Konumu, Yönlendirilmesi ve Mekân Yerleşimi

Yapıyı bir arazi üzerinde yerleştirdiğimizde yapının biçimi, konumu ve yönlendirilmesini etrafındaki yapılar, rüzgâr yönleri, güneşlenme süresi, yapı gölgeleme konumları ve birbirine mesafeleri tasarım aşaması için önemli verilerdir. Bir yapının yönlendirilmesinde dikkate alınması gereken başlıca etkenler arasında, güneş ışıınımı değerleri ön planda olmak üzere; manzara olanakları, arazinin topoğrafik yapısı, biyoklimatik koşullar, çevredeki ulaşım yolları, gürültü ve hava kirliliği kaynaklarının konumu gibi çevresel faktörler yer alır. Rüzgâr yönü ve güneşlenme süresi yapının yönlenmesinden etkili olan en önemli kriterlerdendir. Yapı enerji etkin bir strateji sağlayabilmesi için yıl içerisinde güneş ışıınımında maksimum verimi sağlayacak şekilde yönlenim sağlanmalıdır. Ayrıca rüzgârların doğal serinletme ve soğutma stratejisi yapının enerji yükünün azaltılması açısından önemli bir katma değeri vardır. Yapının cephe yönelimleri güneş ışıınımı maksimum yarar sağlayacak şekilde yönlendirilmiş hali olmalıdır. Binalar, birbirlerine olan mesafeleri, yükseklik farkları ve yerleşim düzenlerine göre, çevredeki diğer yapılar için güneş ışığını kesen ya da rüzgâr akışını engelleyen unsurlar haline gelebilir. Güneşin gün içerisindeki hareketine bağlı olarak cepheler üzerindeki geliş açısı değiştiği için, yapıların yönlendirilmesine göre ideal bina aralıklarının da farklılık göstereceği açıktır. Bu

nedenle, bina yerleşim planlamasında hem yön hem de aralık faktörleri birlikte değerlendirilmelidir. Yapının ideal biçimde yönlendirilmesini sağlayan temel ilke ise, mevsimsel enerji ihtiyaçlarına uygun şekilde güneş enerjisinden kışın maksimum fayda sağlanması, yazın ise aşırı ısı kazançlarının önüne geçilerek koruma sağlanmasıdır. Yapının yönlendirilmesine ilişkin kararlar, mümkün olduğunca doğal serinletme ve havalandırma olanaklarını maksimize edecek şekilde planlanmalıdır. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde, bu tür pasif stratejiler oldukça önemlidir; zira serinletme ve havalandırma amacıyla kullanılan mekanik sistemlerin elektrik tüketimi, toplam enerji sarfiyatının büyük bir bölümünü ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, yapının yönelimi, hâkim rüzgâr yönlerinden etkin yararlanmayı ve iç mekânların doğal hava akışıyla serinletilmesini sağlayacak biçimde tasarlanmalıdır.

3.1.5. Yapının Termofiziksel Kriterler

Enerji etkin bir yapının performansı, büyük ölçüde yapı kabuğunun termofiziksel özelliklerine bağlıdır. Bu bağlamda, bir binanın ısı iletim katsayısı (U-değeri), ısı iletkenlik (λ), ısı kapasitesi (C), ısı kütlesi ve buhar geçirgenliği gibi kriterler, iç mekân konforunu sağlarken enerji tüketimini minimize eden temel parametreler arasında yer alır. Yapının termofiziksel kriterleri yalnızca malzeme seçimiyle değil, aynı zamanda bu malzemelerin hangi kombinasyonla ve hangi iklim koşullarında kullanıldığıyla da doğrudan ilişkilidir. Özellikle ısı yalıtım performansı, yapı kabuğu elemanlarının mevsimsel sıcaklık değişimlerine verdiği tepkiyi belirlemede kritik öneme sahiptir. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardına göre, farklı iklim bölgelerinde yapı elemanlarının U-değerleri sınırlanmakta, bu sayede gereksiz enerji kayıplarının önüne geçilmektedir [Türk Standartları Enstitüsü, 2023].

Yapı elemanlarının düşük U - değerlerine sahip olması, ısı kayıplarını azaltmakla birlikte, yaz aylarında aşırı ısınmayı da engelleyerek iç mekân konforunu artırır. Özellikle yüksek ısı kapasitesine sahip malzemelerin tercih edilmesi, termal gecikme etkisi oluşturarak gündüz saatlerinde dış ortamdan gelen ısı yüklerini dengelemekte ve gece saatlerinde doğal soğutmaya olanak sağlamaktadır [Feist and Schnieders, 2009]. Örneğin, beton gibi yüksek ısı kütlesine sahip malzemeler, ani sıcaklık değişimlerine karşı tampon görevi görerek iç mekân sıcaklığını daha stabil bir düzeyde tutar. Ancak sadece yüksek ısı kütlesine sahip olmak yeterli değildir; bu malzemelerin binanın

güneşlenme yönlerine ve gün içindeki ısıtım etkilerine göre doğru konumlandırılması gerekir.

Buhar geçirgenliği ve yoğunlaşma riski de termofiziksel performansı etkileyen önemli unsurlardandır. Duvar katmanlarında buhar difüzyon direncinin doğru kurgulanmaması durumunda, yapı içinde yoğunlaşma oluşabilir; bu da hem yapı sağlığı hem de iç hava kalitesi açısından olumsuz sonuçlar doğurur. Bu noktada, nefes alabilen ama hava sızdırmazlığı sağlayan kompozit malzeme kullanımı öne çıkmaktadır. Ayrıca, cephe sistemlerinde kullanılan cam yüzeylerin seçimi de ısı geçişini doğrudan etkiler. Düşük emisyonlu (low-e) camlar, güneş ışığını geçirirken kızılötesi radyasyonu geri yansıtarak iç mekânın ısıl konforunu artırmakta, aynı zamanda enerji tüketimini düşürmektedir [Kendrick, 2010].

Termofiziksel kriterlerin sadece yeni yapılar için değil, mevcut yapıların enerji etkin şekilde iyileştirilmesi için de ele alınması gerekir. Özellikle mevcut yapılarda, mevcut malzemelerin performans analizleri yapılarak hangi bileşenlerin iyileştirilmesi gerektiği belirlenmeli, böylece enerji rehabilitasyonuna yönelik kararlar bilimsel temellere dayandırılmalıdır. Bu iyileştirme sürecinde ısı yalıtımı dışında pencere değişimi, dış cephe kaplamalarının yenilenmesi ve çatı izolasyonu gibi müdahalelerle enerji performansında kayda değer artışlar sağlanabilir. Yapı kabuğuna yapılacak bu tür müdahaleler yalnızca enerji tüketimini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda karbon salımını da düşürerek sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlar [Sadineni et al., 2011].

Sonuç olarak, bir yapının termofiziksel kriterleri enerji etkinliği bağlamında yalnızca birer mühendislik parametresi değil, aynı zamanda çevresel, ekonomik ve konfor odaklı kararların belirleyici unsurlarıdır. Malzeme seçimi, katman dizilimi, yapı yönelmesi ve iklimsel koşullar dikkate alınarak yapılan bütüncül bir değerlendirme, enerji tasarrufu sağlayan, sağlıklı ve sürdürülebilir yapılar üretmenin temelini oluşturur.

3.1.6. Yapı Kabuğu ve Güneş Kırıcı Sistemleri

Yapı kabuğuna entegre edilen aktif veya pasif güneş enerjisi sistemleri ile binanın ihtiyaç duyduğu enerjinin bir kısmını karşılamaya çalışmak enerji etkin bir yaklaşım olarak ortaya çıkabilmektedir. Utkutuğ [2000], enerji etkin bir bina cephesi tasarlanırken dikkate alınması gereken kriterler şu şekilde sıralanabilir: ısı, hava ve

nem köprülerini azaltarak yalıtımı bilinçli bir şekilde tasarlayarak korumayı artırmak, akıllı cam malzemeler kullanarak optik kırılmanın değiştirilebildiği malzemeleri tercih etmek, çok katmanlı cam kullanarak cam katmanları arasında sıcak veya soğuk hava dolaştırarak ısı geçişini engellemek, ısı yansıtan cam türleri ve şeffaf ısı yalıtım malzemeleri kullanmak, "low-e" cam türlerine kıyasla daha yüksek performansa sahip seçici yüzeyleri tercih etmek, ısı, ışık ve güneş kontrolü sağlayan çift cam kabuklar veya dış yüzeyde hareketli güneş kırıcılar, pencere elemanının iç yüzeyinde perde sistemleri kullanmak, iç ve dış mekân arasında tampon bölge oluşturmada yeşil alanlar ve dikey bahçelerin kullanımını desteklemek gibi kriterler yapı kabuğunu hem enerji etkin tasarlarken hemde iyileştirme çalışmaları yaparken kullanılabilecek bir yöntemdir.

Opak yapı elemanlarının yutuculuk katsayısı, özellikle soğutma enerjisi ihtiyacı açısından değerlendirildiğinde; cephe malzemesinin türü, yüzeyin rengi ve dokusu gibi faktörlerden etkilenir. Bununla birlikte, cephe yüzeyindeki saydam alan oranı da doğrudan güneş ışınlamının iç mekâna girişini, buna bağlı ısı kazanımını ve dolayısıyla soğutma ihtiyacını belirler. Saydamlık oranı, pencere yüzeyinin cephe yüzeyine oranlanmasıyla hesaplanır. Isı geçiş katsayısı olan U değeri, hem saydam hem opak yüzeyler için geçerli bir termofiziksel özelliktir ve yapı elemanlarından geçen veya kaybedilen ısı miktarını etkiler. Bu değer, birim sıcaklık farkı (1 °C) olduğunda, bir saatte birim alandan geçen ısı miktarını tanımlar. Dolayısıyla, U değeri hem ısıtma hem de soğutma yükleri üzerinde belirleyici bir rol oynar. Ek olarak, yapı elemanlarının ısı performansını etkileyen diğer fiziksel özellikler arasında ısı iletim süresini geciktirme kapasitesi (zaman gecikmesi) ve ısı dalgalarının iç mekâna ulaşma şiddetini azaltan genlik küçültme oranı da yer almaktadır.

Bina kabuğunun yönü, yapıya ulaşan doğrudan güneş ışınlamı miktarını belirleyerek ısı kazançları ve kayıpları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Güneşin konumu, binanın coğrafi yeri ve kabuğun yönlendirilmesi dikkate alınarak, belirli bir zamanda ya da yıllık bazda bina yüzeylerine ulaşan güneş ışınlamı hesaplanabilir [**Çalışkan, 2015**]. Binanın farklı cephelerinin güneş ışınlamını alma miktarı, cephelerin yönü ve eğimine bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden, bina dış kabuğunun toplam güneş yükü yönlendirme parametresine bağlı olarak farklılık arz eder [**Kırbaş, 2017**].

Bina dış kabuğunun formu; toplam dış yüzey alanı, cephe ve çatı yüzeylerinin alanları ile bu yüzeyler arasındaki oranları belirler. Bu unsurlar, güneş ışınlamı yüklerinin

değişkenliğinde etkili olur. Özellikle güney cephelerinde, kış aylarında güneş ışığından maksimum yararlanmak, yaz aylarında ise güneş ışınlamını kontrol altında tutmak mümkündür [ASHRAE, 2017]. Bu nedenle, sık kullanılan yaşam alanlarının güney cepheye yerleştirilmesi, pasif güneş kazanımını artırarak enerji etkinliği sağlar [Yılmaz ve ark., 2018].

Kabuğun konumu, pasif güneş kazanımı ve doğal havalandırmanın sağlanması açısından kritik bir tasarım kararını ifade eder. Geniş ve kompakt güney cepheler, ısı kayıplarını azaltırken, kuzey cepheler rüzgâr ve hava hareketlerine karşı korunaklı olmalıdır. Ayrıca, rüzgârın soğutma etkisinden faydalanmak için bina konumu optimize edilirken, ısıtma yükünün artmaması da gözetilmelidir [Özdemir, 2016].

Bina form faktörü, bina taban alanı sabit olsa dahi, bina genişliği ile derinliği arasındaki oran olarak tanımlanır ve kabuk yüzey alanının değişimini etkiler. Kabuk yüzey alanının değişmesi, iç yüzey sıcaklıklarını ve dolayısıyla binanın ısı transferini etkileyerek iç mekân termal konforunu değiştirir [Santamouris, 2013]. Bu bağlamda, bina boyutları ve form faktörü, iklimsel konforu etkileyen temel yapma çevre değişkenleri arasında yer almaktadır.

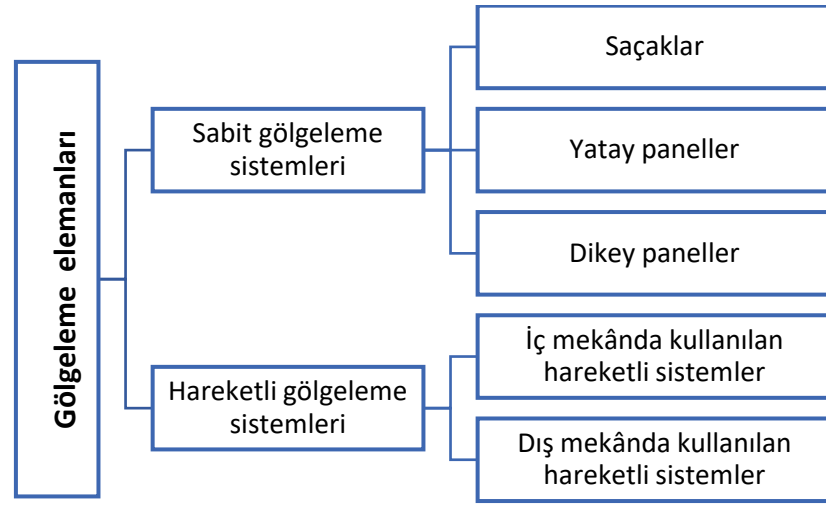
Özetle, bina kabuğunun yönlendirilmesi ve formu, güneş ışınlamı kazanımları, ısı kayıpları, doğal havalandırma ve genel olarak enerji performansı üzerinde belirleyici parametrelerdir. Tasarım aşamasında bu faktörlerin dengeli biçimde ele alınması, enerji etkin ve konforlu yapılar elde etmek için gereklidir [Günay ve Özel, 2019].

3.2. Sürdürülebilir Mimarlık ve Kinetik Mimarlık İlişkileri

Tarih boyunca insanlar çevresel koşullara uyum sağlayabilmek amacıyla uyarlanabilir ve dönüşebilir yapı sistemleri geliştirmek zorunda kalmışlardır. Tarih boyunca ilk olarak kinetik mimarlık terimi 1970'li yılların başlarında William Zuk ve Roger Clark tarafından taşınabilen, yer değiştiren, genişleyip yer değiştirilen bir sistem olarak ortaya konulmuştur. Kullanıcının ihtiyacına adapte olabilen ve çevresel etkileri ihtiyaçlar karşısında yönlendirebilen kinetik yapılar son yıllarda yeni teknolojilerle beraber büyük önem arz etmektedir. Son yıllarda yapı teknolojisindeki gelişmeler mimarideki kinetik adaptasyonun sağlanabilirliğini arttırmıştır. Mimarî tasarım ve hesaplamalı tasarım uygulamaları ve sensörler, kontrol işlemcileri ve aktüatörler gibi sistemlerle birlikte hareket ederek çalışma alanı oluşturmalarının sağlanması kinetik

mimarinin gelişime etki oluşturmuştur. Kinetik gölgeleme sistemleri üzerine yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunun tasarlanan yapı cephelerinin enerji performanslarını deney ve simülasyon gibi benzetim yöntemleri kullanılarak analiz etmek amaçlanmıştır. Yapıda cephe önüne yerleştirilen gölgeleme sistemleri, yaz mevsiminde güneş ışıının radyasyonunun yapının cephesinden içeriye doğru girişini engellerken, kış mevsiminde yapının ihtiyacı olan güneş ışınlarının doğru şekilde yönlendirilmesiyle ısı kazanımları hedefleyerek yapının total enerji tasarrufunu sağlamaya ve kullanıcıya verimli bir termel konfor alanı oluşturmaya sebep olur. Gölgeleme sistemleri, sabit ve hareketli olmak üzere iki ana başlık altında listelebilir

Şekil 3.3.



Şekil 3.3: Gölgeleme elemanlarını sınıflandırılması.

3.2.1. Bina Kabuğunun Değişimin Gereksinimleri ve Hareketli Bileşenler

Sabit güneş kontrol sistemleri binaların cephe kısımlarının iç veya dışına montaj edilebilirler. Bu sistemler güneş radyonunu kontrol etmeye yardımcı olurlar. Pencere ya cam cephe önünde kullanılan saçaklar bu elemanlara örnek olarak gösterilebilirler. Bu saçak sistemlerin yapının cephe yönelimine göre değişiklik göstermektedir. Genellikle güney cephelerde yatay elemanlar kullanılırken, doğu ve batı cephelerinde dikey elemanlar daha verimli bir sonuç ortaya çıkarmaktadır. Bazı durumlarda bu iki sistemin bir arada olduğu tasarımlar orratay çıkabilir bu durumda tüm yönlerden gelen güneş ışıının engellendiği için yüksek gölgeleme sağlar ve gün ışığı kullanımını da minimum düzeye çekmesi nedeniyle kullanıcı konforunu azaltır ve kışın güneş kazancını da etkiler. Yapay aydınlatma ve ısıtma enerjisinde artışa neden olabilir.

Hareketli gölgeleme sistemleri kış güneşini içeri alacak ve yaz güneşini engelleyecek şekilde kontrol edilebilirliğinin olması nedeniyle, sabit gölgeleme elemanlarına göre kullanıcı konforu ve enerji tasarrufu sağlama açısından çok daha verimli bir tasarım yaklaşımıdır. Hareketli olan bu sistemler çevresel koşullara örneğin güneş ışığı, ısı, rüzgâra göre pozisyonlarını veya biçimlerini değiştirebilen teknolojik çözümler ortaya çıkarmaktadır. Temel amaçlar arasında enerji verimliliği, iç mekânda termal ve görsel konfor sağlamak, ve yapıya cephede estetik katkıda bulunmak olarak açıklanmaktadır. Bu hareketler kullanıcı kontrolü ya da mekanik bir sistem tarafından gerçekleştirilebilir.

Hareketli sistemler hareket özelliklerine göre kullanıcı kontrolü, zaman röleleri, yapının otomasyon sistemleri, eşzamanlı kontrol mekanizmaları, pasif bina stratejileri gibi kontrol sistemleri kullanılarak kontrol edilebilmektedir.

Kabuk sistemlerinin genellikle sistem türleri veya kullanılan malzemelere göre incelenmiştir. Kullanılan elemanların türleri, hareket biçimleri ve kontrol sistemlerinin hareketli sistemlerde kontrol edilebilir ve tasarlanabilir kısımlarıdır. Bu sistemler sistem türleri, hareket biçimleri, işlevler, kontrol sistemleri, tepki süresi ve görünürlük gibi kriterlere göre sınıflandırma ve analiz etmek doğru olacaktır **Şekil 3.4**.

Kinetik Cephelerin Sınıflandırılması															
Cephe hareketi						Cephe kontrol türü				Cephe Fonksiyonu					
Doğrusal		dönme	ölçekleme	malzeme deformasyonu	hibrit	kullanıcı kontrolü	ışık kontrolü	enerji kontrol	rüzgar tepkili	Çevresel Kontrol					enerji üretimi
kayma	katlanma									güneş ışığı	güneş termal	gavalandırma	gürültü	nem	

Şekil 3.4: Kinetik cephelerin sınıflandırılması.

3.2.2. Sürdürülebilir Mimarlık ve Enerji Etkinliğinde Bina Kabuğunun Önemi

Son yıllarda ortaya çıkan çevre sorunları ve enerjiye olan bağımlılık, enerji kullanımı açısından daha çevre dostu ve daha etkili bir koruma sağlamayı amaçlamaktadır. Günümüz mimarlık anlayışında sürdürülebilirlik, enerji etkin tasarım ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı büyük önem kazanmış durumdadır. Binaların enerji tasarrufunu sağlayan en önemli unsurlardan birinin yapının dış ortamla iletişimini sağlayan yapı kabuğudur. Yapı kabuğu pencere, doğrama, kapı ve gölgeleyici

elemanları içerisinde barındırır. Bu kabuk, hem iç mekânın iklimsel konforunu sağlamak hem de enerji tüketimini en aza indirmek açısından stratejik bir konumdur. Yapı kabuğu, ısı yalıtımı, güneş kontrolü, havalandırma, aydınlatma ve akustik düzenleme gibi birçok işlevi yöneten bir konumdur. İyileştirilmiş bir kabuk sistemi, binanın dış ortam koşullarına karşı etkin koruma sağlamasına yardımcı olur. Enerji tüketim maliyetlerini düşürür aynı zamanda yapının karbon salımını azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe yardımcı olur. Yapı kabuğu yerel iklim özelliklerine göre tasarlandığında uygun koşullar meydana getirir. Güneşli bölgelerde, güneş ışığını filtreleyen hareketli gölgelikler, çift kabuklu cephe sistemleri veya yeşil cepheler gibi uygulamalar doğal havalandırmayı destekler hem de binanın pasif enerji performansını artırır. Soğuk iklimlerde ise, ısı kayıplarını önleyen yalıtımlı duvar sistemleri, düşük emisyonlu camlar ve ısı geri kazanım sistemleri gibi uygulamalar kullanılabilir. Sürdürülebilir malzeme seçimi de yapı kabuğu açısından önemli bir konuma sahiptir. Geri dönüştürülebilir, düşük karbon ayak izine sahip, yerel kaynaklı ve uzun ömürlü malzemeler tercih edilmelidir. Ayrıca, bakım gereksinimi düşük ve doğal yaşlanmaya dayanıklı malzemeler uzun vadede ekonomik ve çevresel avantajlar sunar. Bu durum enerji etkin cephe sistemlerinin tasarımında yardımcı bir sistem olan gölgeleme elemanlarının geliştirilmesine sebep olmuştur.

3.2.3. Hareketli Güneş Kontrol Elemanları

Güneş ışığının kontrolü, doğal havalandırma ve yapı cephesinin tasarımı ile beraber geleneksel ve yeni teknolojiler ile binalarda enerji verimliliği artırılabilir. Güneş kırıcı elemanlar enerji etkin cephe tasarımında kullanılabilecek bir cephe elemanıdır. Bu sistemler iç mekânlarda gerekli gölgelemenin sağlanmasından da sorumludur. Enerji kullanımını yapı ölçeğinde toplam tüketim olarak alındığında, enerji tüketimini önemli ölçüde azaltarak ve tasarrufu artırmak sağlanabilir. Güneş ışığını kontrol altına alan sistemlerin bina kabuğuna entegre edilmesi işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilir. Bu durum, binaların yüksek enerji tüketimi ve fosil yakıt kaynaklı enerjilerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri ortaya konduğunda önem sırası artmaktadır. Bu nedenle, hem yeni bina inşaatlarında hem de mevcut binaların yeniden işlevlendirilmesinde güneş kırıcı sistemlerin eklenmesi özel bir önem taşımaktadır. Güneş kırıcı sistemler hareketli ve sabit olarak iki başlık altında incelenebilir. Hareketli paneller farklı yönlerde çalışabilir, cepheye uyum sağlar ve etkin koruma

sunar. Sabit sistemlere göre daha verimli çalışırlar. Kullanıcıyla etkileşimli oldukları için istenildiğinde açılıp kapanabilir. Bu sistemler döner paneller ve otomatik akıllı gölgeleme teknolojileriyle birlikte çalışabilir. Akıllı sensörlerle, güneşin konumuna göre hareket eden güneş kırıcılar mümkündür.

3.3. Yapılarda Güneş Kontrol Elemanlarının Kullanımı

Güneş kontrol elemanlarının kullanımı, yapıların enerji verimliliğini artırmak ve iç mekân konforunu sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu elemanlar, güneş ışığının yönünü, miktarını ve yayılımını kontrol ederek özellikle yaz aylarında iç mekânların aşırı ısınmasını engellerken, kış aylarında ise doğal ısı kazancına olanak tanır. Cephe tasarımında kullanılan güneş kırıcılar, hareketli panjurlar, perdeler ve özel cam sistemleri gibi çözümler, hem gün ışığından etkin yararlanmayı sağlar hem de yapay aydınlatma ve soğutma ihtiyacını azaltarak enerji tüketimini düşürür. Ayrıca, güneş kontrol elemanları estetik bir unsur olarak mimari tasarımı da zenginleştirir. Bu yönüyle, sürdürülebilir mimarlık anlayışının önemli bir parçası olarak değerlendirilir.

Güneş kontrol elemanları, yapıların pasif iklimlendirme stratejileri kapsamında değerlendirilen, enerji verimliliğini artırmaya ve kullanıcı konforunu iyileştirmeye yönelik temel tasarım bileşenlerindendir. Bu elemanlar, güneş radyasyonunun iç mekânlara girişini denetleyerek hem termal kazançların kontrolünü sağlar hem de doğal aydınlatma olanaklarını optimize eder [Givoni, 1998]. Özellikle dış cephede konumlandırılan yatay veya düşey güneş kırıcılar, fotokromik ve elektro-kromik camlar gibi dinamik sistemler, farklı mevsim koşullarına ve günün saatlerine göre değişken performans sergileyerek ısıtma, soğutma ve aydınlatma gereksinimlerini azaltır [Olgyay, 2015]. Bu sayede, binalarda enerji tüketimi azaltılmakta ve sürdürülebilir tasarım ilkeleri doğrultusunda çevresel etkisi düşük yapılar elde edilmektedir [Hegger et al., 2008]. Ayrıca, güneş kontrol elemanlarının mimari tasarıma entegre edilmesi, yalnızca işlevsel değil, estetik açıdan da yapının kimliğini ve cephe kompozisyonunu güçlendiren önemli bir faktör olarak değerlendirilir [Lechner, 2014].

3.3.1. Güneş Işınımları ve Güneş Kontrol Elemanları

Güneş ışınımları, yapıya ulaşan kısa dalga boylu enerjinin temel kaynağını oluşturur ve mimari tasarımda dikkate alınması gereken en önemli çevresel faktörlerden biridir. Güneşten gelen radyasyon; doğrudan ışınlım, yansıyan ışınlım ve difüz (dağılmış) ışınlım olmak üzere üç ana bileşenden oluşur. Bu ışınlımlar, yapı kabuğuna çarparak iç mekân sıcaklığını ve aydınlık düzeyini doğrudan etkiler. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde, kontrolsüz güneş kazançları iç ortamda konforsuzluk yaratmakta ve soğutma yükünü artırmaktadır. Bu nedenle, güneş ışınlımlarının yönü, yoğunluğu ve geliş açısı dikkate alınarak uygun güneş kontrol elemanlarının seçilmesi büyük önem taşır. Sabit ya da hareketli olarak tasarlanan bu elemanlar; cephede konumlanan güneş kırıcılar, panjurlar, stor perdeler ya da yüksek performanslı cam sistemleri gibi farklı formlarda uygulanabilir. Bu sistemler, istenmeyen ısı kazançlarını azaltırken aynı zamanda gün ışığından yeterli düzeyde yararlanılmasına da olanak tanır. Dolayısıyla güneş kontrol elemanları, enerji verimliliği, kullanıcı konforu ve görsel kalite açısından bütüncül bir tasarım yaklaşımının vazgeçilmez bir parçasıdır.

Bu ışınlımların yönü, süresi ve şiddeti dikkate alınarak planlama yapılması, hem iç mekân konforunun sağlanması hem de enerji tasarrufunun artırılması açısından büyük önem taşır. Güneşin farklı saatlerde ve mevsimlerde gösterdiği konum değişimleri, yapı cephesine ulaşan ışınlım miktarında önemli dalgalanmalara yol açar. Bu değişkenliği yönetmek amacıyla geliştirilen güneş kontrol elemanları; yapı kabuğunda fiziksel bir bariyer görevi görerek fazla ısı kazanımını önlerken, gün ışığının iç mekânlara dengeli biçimde dağılmasına da yardımcı olur.

Yaz aylarında, yüksek güneş kazançları nedeniyle artan iç sıcaklık, soğutma yükünü önemli ölçüde artırırken; uygun yerleştirilmiş gölgeleme sistemleri, bu yükü azaltarak enerji tüketiminde tasarruf sağlar. **Lechner [2014]** göre, "güneş kontrolü, mekanik soğutma ihtiyacını %20 ila %70 oranında azaltabilecek kadar güçlü bir stratejidir." Öte yandan, kış aylarında güneş ışığının içeriye alınmasını sağlayan esnek sistemler, pasif ısıtma yoluyla ısıtma sistemlerinin yükünü hafifletir. Bu bağlamda, dinamik güneş kontrol teknolojileri yıl boyunca değişen iklim koşullarına uyum sağlayarak, hem soğutma hem de ısıtma sistemlerinin daha verimli çalışmasına olanak tanır **[Baetens et al., 2010]**.

3.3.2. Güneşin İç Mekân Koşullarına Etkisi

Güneş ışığının iç mekânlara etkisi, hem fiziksel hem de psikolojik açıdan önemli sonuçlar doğurur. Güneş ışığı, doğal aydınlatma sağlar ve yapının ısısına doğrudan etki eder. Yapı tasarımında, güneş ışığının içeri girmesi, iç mekân sıcaklığını artırabilir. Özellikle yaz aylarında, fazla güneş ışıınımı iç mekânda aşırı ısınmaya neden olabilir, bu da soğutma ihtiyacını artırır. Ancak kışın, güneş ışığını içeri alarak doğal ısınma sağlamak, ısıtma sistemlerinin yükünü hafifletebilir ve enerji tüketiminde tasarruf sağlayabilir.

Işık ve Aydınlatma: Güneş ışığı, iç mekânın doğal aydınlatmasını artırarak yapay aydınlatma ihtiyacını azaltır. Bu, enerji tasarrufu sağlar ve gün ışığının biyolojik etkisi sayesinde insanların ruh halini iyileştirir. Doğal ışık, insanların daha verimli çalışmasına ve daha rahat hissetmesine yardımcı olabilir.

Isı Kazancı ve Konfor: Doğrudan güneş ışığı, iç mekânlarda sıcaklık artışına neden olur. Yazın bu durum, iç mekânın aşırı ısınmasına yol açarak, soğutma ihtiyacını artırır. Ancak, güneş ışığının ısınısını kışın içeri alarak, doğal ısınma sağlayabilir ve ısıtma ihtiyacını düşürür. Bu denge, enerji verimliliği açısından önemlidir.

Görsel ve Estetik Etkiler: Güneş ışığı, iç mekânın görsel atmosferini de zenginleştirir. Işık ve gölge oyunları yaratır, mekânı daha dinamik ve estetik hale getirir. Aynı zamanda, güneş ışığının mekâna girmesi, insanlar üzerinde sakinleştirici ve rahatlatıcı bir etki yaratabilir.

UV Işınları ve Malzeme Aşınması: Güneş ışığı, UV ışınları içerdiği için iç mekândaki malzemelere zarar verebilir. Mobilyalar, halılar veya kumaşlar zamanla solabilir ve aşınabilir. Bu nedenle, güneş ışığının doğrudan içeri girmesini engelleyen sistemler kullanmak, malzemelerin ömrünü uzatabilir.

Hava Kalitesi: Güneş ışığı, iç mekânlardaki hava kalitesini olumlu yönde etkileyebilir. Güneş ışığının etkisiyle, odadaki nem seviyesi denetlenebilir ve havadaki bazı zararlı maddeler azalabilir. Ancak aşırı güneş ışığı, havanın kurumasına neden olabilir, bu yüzden dengeyi sağlamak önemlidir.

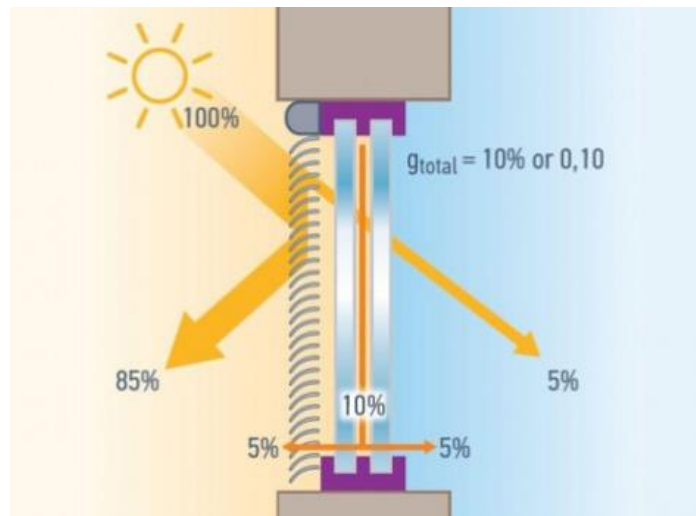
Saydamlık oranı: Bina cephesindeki saydam yüzeylerin, toplam cephe alanına oranı, "saydamlık oranı" olarak tanımlanır. Güneye bakan geniş saydam yüzeyler, güneş ışıınımı kazancını artırarak iç mekânda ısınmaya katkı sağlar. Kuzey cephelerinde ise

saydamlık oranının fazla olması, iç mekâna doğrudan güneş ışığını daha az ileterek ısınma üzerinde daha düşük bir etki yaratır. Doğu ve batı cephelerinde ise saydamlık oranı, günün farklı saatlerinde alınan güneş ışıını miktarını belirler; doğu cephesi sabah saatlerinde, batı cephesi ise öğleden sonra güneş ışıını kazancını etkiler [Cirit, 2012].

Pencere düzeni: Bir yapının iç mekânını doğrudan etkileyen en önemli tasarım elemanlarından biridir. Pencere büyüklüğü, yerleşimi ve yönelimi, içeriye girecek güneş ışığını doğrudan etkiler. Örneğin, güney yönüne açılan pencereler, kışın gün ışığını alırken yazın fazla ısınma riski yaratabilir. Doğu ve batıya bakan pencereler, sabah ve akşam güneşi nedeniyle iç mekânda ısı kazancına yol açabilir. Bu nedenle, pencere düzeni tasarlanırken güneş ışığını en verimli şekilde içeri alacak ancak aşırı ısınmayı engelleyecek çözümler tercih edilmelidir. Bu bağlamda, özellikle güneş kırıcılar, perde sistemleri ve gölgeleme elemanları ile pencere düzeni bir arada düşünülerek, enerji verimliliği sağlanabilir.

3.3.3. Güneş Kontrol Elemanı Çeşitleri

Güneş kontrol elemanları, binalarda yerleşim yerlerine göre, hareket özelliklerine göre, yapı malzemesine göre, konumlandırmaya göre 4 başlık altında sınıflandırılabilir. Bazı güneş kontrol elemanları iki farklı yönlü olarak da çalışma sağlama eğilimleri bulunmaktadır. Yapının tipolojisine, kullanım amacına ve cephe yönelim yönlerine göre seçilen kontrol elemanı çeşidi sağlanan enerji tasarrufunu etkileyerek olumlu yönde ilerletebilmektedir **Şekil 3.5.**



Şekil 3.5: Güneş kontrol elemanların yerleşimi [Lopez,2017].

Güneş kontrol elemanın boyutlandırılması, yapının bulunduğu coğrafi konum, iklim koşulları, cephe yönelimi ve pencere alanları gibi faktörlere dayanarak yapılmalıdır. Örneğin, güney cephelerinde daha büyük yatay güneş kırıcılar kullanılırken, doğu ve batı cephelerinde dikey gölgeleme elemanları tercih edilebilir. Ayrıca, elemanların hareketli olup olmaması da boyutlandırmayı etkileyen bir diğer önemli parametredir. Boyutlandırma, yalnızca güneş ışığını kesmekle kalmaz, aynı zamanda iç mekânda gerekli doğal ışık seviyesini sağlayacak şekilde dengelenmelidir.

Güneş kontrol elemanın yapımında tercih edilen malzeme seçimi ve rengi elemanın sağladığı verimliliği etkilemektedir. Kullanılan malzemenin özellikleri geliştirilerek total enerji yükünü azaltacak etkiler oluşturulabilir.

Farklı mevsim şartları için güneş kırıcı elemanlarının özellikleri farklılık oluşturmaktadır. Güneş ışınlamalarının kontrol şartları yaz mevsimi ve kış mevsiminde, gündüz veya gece farklı kullanım şekillerine bağlı olarak enerji etkin çözüm oluştururlar. Yazın gündüz, istenmeyen güneş ışığını engellemek amacıyla genellikle sabit ya da hareketli güneş kırıcılar kullanılır. Bu elemanlar, iç mekânda gereksiz ısı kazançlarını engelleyerek, soğutma ihtiyacını azaltır. Gece ise serin havadan yararlanabilmek için doğal havalandırma ile iç mekân esintisi sağlanabilmektedir.

Kışın gündüz, güneş ışığından maksimum şekilde yararlanmak için özellikle güney cephede geniş pencereler ve yansıtıcı camlar tercih edilir. Bu sayede, içeriye giren güneş ışığı, doğal ısınmayı artırarak ısıtma ihtiyacını en aza indirir. Kışın ise güneş kontrol elemanı ısı geçişine izin vermeyecek şekilde yalıtımlı olarak uygulanmalıdır.

Güneş ışığının iç mekâna olan etkilerini kontrol etmek için kullanılan güneş kontrol elemanları, hem enerji verimliliğini artırır hem de konfor seviyesini iyileştirir. Bu sistemler, iç mekânda gereksiz ısı kazancını engellerken, doğal aydınlatma ve ısıнын verimli kullanımına olanak tanır.

Güneş kontrol sistemleri, binanın cephesinde hem iç hem de dış yüzeyde konumlandırılabilir. Güneş kırıcılar, yeni yapıların tasarım aşamasında entegre edilebildiği gibi, mevcut binalarda güneş ışınlamalarının etkilerini azaltmak amacıyla sonradan da eklenebilir [Erhorn-Kluttig, 2010]. Daha önce yapılan araştırmalarda, güneş kontrol sistemleri tasarım özelliklerine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmıştır. bu sistemleri doğal güneş kontrol sistemleri ve yapay güneş kontrol sistemleri olmak üzere iki başlık altında sınıflandırmıştır [Zeren L.,1959]. Yapay güneş kontrol

sistemlerini sabit ve hareketli olmak üzere iki temel kategoriye ayırmıştır **[Santamouris and Asimakopoulos, 1996]**.

Doğal güneş kontrol elemanları, yapı çevresinde halihazırda bulunan ve yeni yapı ile etkileşime geçerek gölge oluşturan çevresel unsurlardır. Yeni bir bina tasarlanırken, bu doğal unsurlar örneğin mevcut ağaçlar, bitki örtüsü ya da komşu yapılar– tasarım sürecinde dikkate alınmalıdır. Bu tür elemanların gölge etkisi, yıl boyunca değişen güneş açıları ve mevsimsel farklılıklarla değişiklik sağlamış olur.

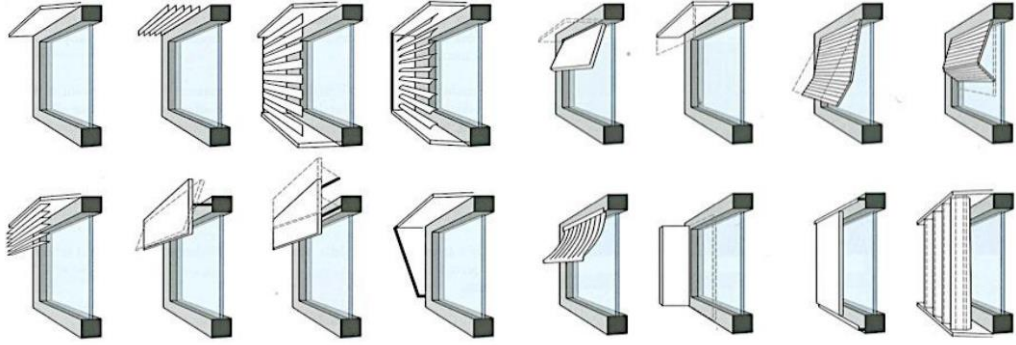
Bazen çevredeki yapılar, yeni binada istenmeyen gölge oluşturarak özellikle kışın iç mekânlara ulaşması gereken güneş ışığını engelleyebilir. Bu durum, projede termal konforu etkileyerek bazı tasarım kısıtlarına yol açabilir **[Koç, 2000, s. 32-33]**.

Ağaçlar ise yaprak dökme özellikleri sayesinde hem doğal hem de mevsimsel olarak değişebilen gölgelendirme elemanları arasında yer alır. Yazın yoğun yaprakları ile gölgeleme sağlarken, kışın yapraksız halleriyle güneş ışığının binaya ulaşmasına katkı sunarlar **[Koç, 2000, s. 33]**. **Lechner [2009]** da bu esnek gölgeleme etkilerine dikkat çekmiştir.

Yapay güneş kırıcı sistemler, cephedeki saydam yüzeylerin doğrudan güneş ışığına maruz kalan kısmını azaltarak daha konforlu gölgeli alanlar oluşturur. Yapay gölgeleme elemanları ise, yapının tasarım sürecinde planlanarak ya da sonradan cepheye entegre edilerek kullanılan; iç mekânda, dış cephede ya da cam panellerin arasında yer alabilen sistemlerdir. **[Santamouris and Asimakopoulos, 1996]**, bu tür yapay sistemleri iki ana başlık altında sınıflandırmıştır: sabit güneş kontrol elemanları ve hareketli (geri çekilebilir) güneş kırıcılar.

Hareket etmeyen ve cepheye sabitlenen güneş kontrol elemanları, sabit sistemler olarak adlandırılır. Bu sistemlerin etkili olabilmesi için cephe üzerindeki konumları, yönlenmeleri, eğimleri ve geometrik formları dikkatle değerlendirilmelidir. **Koç [2000]** göre, bu unsurların yanı sıra yıl boyunca ve gün içinde güneşin hareketi göz önünde bulundurularak, iç mekânda ihtiyaç duyulan gölgeleme en verimli şekilde sağlanabilir. **Stack ve arkadaşları [2000]** ise sabit elemanların, özellikle doğu ve batı cephelerinde sabah ve akşam saatlerinde yeterli gölgeleme sunmadığını ifade etmiştir. Bu cephelerde dikey elemanlar önerilmekle birlikte, bu tür elemanların doğal ışığın iç mekâna girişini de sınırladığı görülmüştür. Sabit güneş kırıcı sistemler, geleneksel ve yaygın bir cephe gölgeleme çözümüdür. Yeni projelerde tasarıma

entegre edilebildiği gibi, mevcut binaların şeffaf yüzeylerine de sonradan uygulanabilir. Bu sistemler genel olarak dört ana grupta sınıflandırılır: dikey elemanlar, yatay elemanlar, kafes (egg-crate) sistemleri ve bunların kombinasyonları şeklindedir **Şekil 3.6**.



Şekil 3.6: Hareketli güneş kontrol elemanları[Stack ve ark.,2013].

Dikey güneş kırıcılar, özellikle doğu ve batı cephelerde etkili bir gölgeleme sağlayarak, düşük açılarla gelen güneş ışınlarını engellemede oldukça işlevseldir. Bu sistemler, genellikle düşük enlemlerde yer alan projelerde tercih edilir ve Akdeniz iklimi gibi sıcak, ılıman bölgelerde yaygın olarak kullanılır. Soğutma ihtiyacının yüksek olduğu bu tür iklimlerde, dikey paneller güneş kazancını azaltarak iç mekân sıcaklığını dengelemede önemli rol oynar. Bununla birlikte, dikey paneller rüzgârın cepheye doğrudan çarpmasını da engelleyerek pencere yüzeylerinin ısı yalıtımına dolaylı olarak katkı sunar. Panelin cepheye yerleştirilme açısı, performansını etkileyen önemli bir parametredir ve bu paneller, güneşin konumuna bağlı olarak hareket edebilir şekilde de tasarlanabilir. Cepheye tam dik yerleştirilen paneller maksimum gölgeleme sağlarken, hareketli olanlar sayesinde istenildiğinde gün ışığından faydalanmak ya da ışık girişini tamamen kesmek mümkün olur **[Kırımtat, 2016]**.

Yatay güneş kırıcılar, kuzey yarımkürede genellikle güneş ışınlarının yoğun olarak geldiği cephelerde, özellikle güney yönünde tercih edilen sistemlerdir. Bu tür elemanlar, yapı tasarımı aşamasında saçak şeklinde planlanabileceği gibi, sonradan yatay paneller olarak cepheye eklenebilir. Temel işlevleri; yaz ve ilkbahar aylarında doğrudan gelen güneş ışınlarını keserek iç mekânları aşırı ısınmadan korumak, buna karşılık kış ve sonbahar dönemlerinde güneş ışığının içeri girmesine olanak tanıyarak

pasif ısı kazancı sağlamaktır [Özyer, 2017]. Ancak yatay sistemler, doğu ve batı cephelerinde sabah ve akşam saatlerinde gelen düşük açılı güneş ışınlarına karşı yeterli korumayı sunmakta yetersiz kalabilir. Bu nedenle, bu yönlerde etkili bir gölgeleme sağlamak adına farklı sistemlerle desteklenmeleri gerekebilir. Öte yandan balkonlar, çıkmalar ve saçak gibi yapının mimari öğeleri de doğal olarak yatay gölgelendirme işlevi görerek benzer bir etki yaratabilir.

Dikey ve yatay elemanların birlikte kullanılmasıyla oluşturulan kafes sistemler, güneş ışınlarının farklı açılardan gelişine karşı kapsamlı bir koruma sunar. Bu sistemlerde yatay paneller, yalnızca yukarıdan gelen ışığı değil, aynı zamanda zeminden yansıyan ışınları da engelleme konusunda etkilidir. Dikey elemanların eğim açıları ise gölgelendirme performansını artırmak için ayarlanabilir niteliktedir. Şahinoğlu [2012] göre, bu sistemler elemanlar arasındaki boşluklara göre ikiye ayrılır: Geniş aralıklı olanlar “kafes tipi”, dar aralıklı olanlar ise “kaset tipi” olarak tanımlanır. Kafes sistemleri, sabit yapıda olduklarından ötürü kış aylarında içeri alınmak istenen faydalı güneş ışınlarını da engelleyebilir; bu nedenle özellikle sıcak iklim bölgelerinde daha avantajlıdır. Ancak büyük hacimli ve hareketsiz yapıları, zaman zaman hem görsel hem de termal konfor açısından sorun yaratabilir [Kırımtat, 2016].

Ayarlanabilir ve hareketli güneş kontrol sistemleri, cepheye farklı yönlerde entegre edilerek güneş ışınlarına karşı etkili bir koruma sağlar. Sabit sistemlere kıyasla daha esnek ve verimli çalışan bu paneller, kullanıcı kontrolüyle açılıp kapanabilir veya otomasyonla kendiliğinden hareket edebilir. Bu sistemler, özellikle güneşin yönüne ve ışık şiddetine bağlı olarak pozisyon değiştiren akıllı gölgelendirme teknolojileriyle birlikte kullanılabilir.

Dönen güneş kırıcı sistemler(louvers) bu panel sistemleri hem yatay hem de dikey doğrultuda yerleştirilebilir ve manuel olarak yönlendirilebilir. Genellikle cephedeki saydam yüzeylerin önüne konumlandırılırlar. Yatay paneller iç veya dış cephede stor perde, jaluzi ya da panjur biçiminde kullanılabilir. Ancak bu tür elemanlar dış manzarayı kısmen engelleyebilir. İç mekânda kullanılan kumaş temelli perdeler ise, malzeme özelliklerine bağlı olarak farklı oranlarda ışık geçirgenliği ve gölgelendirme sağlar.

Katlanabilir güneş kırıcı sistemler bina cephesinin dışına yerleştirilen bu sistemler, katlanarak istenilen oranda güneş ışığını içeri almayı mümkün kılar. Genellikle ahşap

ya da metal malzemelerle üretilir ve modüler şekilde tasarlanabilirler. Kullanıcının tercihinine göre açılıp kapanarak görsel estetikle birlikte işlevsel bir çözüm sunar.

Sürgülü güneş kontrol sistemleri belirli bir ray sistemi üzerinde yatay ekseninde hareket eden bu paneller, genellikle dikdörtgen formda olup şeffaf cephe yüzeylerinin önünde sağa-sola kaydırılarak gölgeleme sağlar. Farklı geometrik biçimlerde de üretilen bu sistemler, kullanım esnekliği sunar.

Otomatik güneş kontrol sistemleri enerji verimliliği odaklı güncel bina tasarımlarında, adaptif gölgelendirme sistemleri önemli rol oynamaktadır. Gelişmiş sensörler ve mekanik donanımlarla entegre çalışan bu sistemler, güneş ışınlarının açısına ve şiddetine bağlı olarak otomatik şekilde hareket edebilir. Ticari binalarda yaygınlaşan cam cephe kullanımı nedeniyle oluşan ısı ve ışık sorunlarına karşı, dış cepheye entegre edilen otomatik sistemler etkili çözümler sunmaktadır [Hraska, 2018]. Adaptif sistemler, cephenin şekil, konum, tür veya malzeme özelliklerini değiştirerek iç mekân konforuna dinamik olarak uyum sağlar. Bu değişimler makro (örneğin dönme, yer değiştirme, geometrik deformasyon) veya mikro ölçekte (örneğin elektrikle şeffaf camın matlaşması) olabilir.

3.3.4. Güneş Kontrol Elemanlarının Enerji Performansı ve İç Mekân Konforu Üzerindeki Etkisi

Güneş kontrol elemanları, binalarda hem enerji performansını artırmak hem de iç mekân konforunu iyileştirmek amacıyla kullanılan pasif tasarım stratejilerindendir. Bu elemanlar, güneş ışımasını yönlendirerek soğutma yüklerini azaltmakta ve yapay aydınlatma ihtiyacını minimize ederek enerji tüketimini düşürmektedir. Aynı zamanda, iç mekâna giren güneş ışığını kontrol altında tutarak parlamayı önlemekte, kamaşmayı engellemekte ve termal konfor koşullarının sürekliliğini sağlamaktadır. Güneş kontrol elemanlarının etkin tasarımı, mekânın yönelimi, bölgesel iklim koşulları ve kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda optimize edilmelidir. Bu bağlamda, uygun şekilde konumlandırılmış gölgeleme sistemleri, hem enerji verimliliğini artırmakta hem de kullanıcıların görsel ve termal konfor düzeylerini yükseltmektedir. Ofis koşullarında çalışma ortamı koşullarını optimize ederek daha verimliliği ve iş sağlığını destekleyen bir çalışma ortamı sunulmasına yardımcı olur.

3.2.5. Güneş Kontrol Elemanlarının Isıtma ve Soğutma Yüklerine Etkisi

Isıtma yükü, bir binanın iç mekânını konforlu bir sıcaklıkta tutabilmek için dış ortam koşullarına karşı kaybettiği ısıyı telafi etme amacıyla ihtiyaç duyulan toplam ısı miktarını ifade eder. Soğutma yükü ise, iç mekândaki fazla ısının (güneş ışıınımı, kullanıcı yoğunluğu, cihazlar vb. kaynaklardan gelen) uzaklaştırılması için gerekli olan soğutma enerjisini belirtir. Bu yük, iç ortamın aşırı ısınmasını önlemek ve istenilen termal konforu sağlamak için hesaplanır. Her iki yük de, binanın yönelimi, cephe tasarımı, yalıtım durumu, pencere yüzeyi ve güneş kontrol sistemleri gibi birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik gösterir [Akkurt, 2011]. Bu özelliklerin büyük bir kısmı yapının dış kabuğu ve güneş ışınlarının iletimine yardımcı olan saydam kısımların bulunduğu yapı kabuğudur. Bu nedenle kabuk üzerinde yapılacak olan düzenlemeler ısıtma ve soğutma yükleri yani yapının harcadığı toplam enerji tüketimini etkilemektedir.

4. MEVCUT KAMU YAPISININ YAPI KABUĞUNUN ENERJİ ETKİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Mevcut kamu yapılarının enerji performansı, büyük ölçüde yapı kabuğunun fiziksel özellikleri ve tasarım kararları ile şekillenmektedir. Yapı kabuğu; duvarlar, çatı, döşeme, pencere ve kapı gibi bileşenlerden oluşan, dış çevre ile iç mekân arasında ısı, ışık, nem ve hava geçişini düzenleyen kritik bir ara yüzdür. Bu bileşenlerin tasarımı ve teknik özellikleri, binanın enerji tüketiminde doğrudan belirleyici bir rol üstlenirken, aynı zamanda kullanıcı konforunun sağlanmasında da önemli bir etkindir. Özellikle kamu yapıları, yoğun kullanıcı sirkülasyonu ve uzun süreli kullanım süreleri nedeniyle yüksek enerji tüketimi potansiyeline sahiptir. Bu nedenle mevcut kamu yapılarının enerji verimliliğini artırmak, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak ve işletme maliyetlerini düşürmek açısından büyük önem taşımaktadır.

Enerji etkin iyileştirme stratejileri kapsamında yapı kabuğu elemanlarının performansının artırılması, enerji tasarrufu sağlamanın yanı sıra iç mekân termal konforunun iyileştirilmesine de katkı sunmaktadır. Cephe tasarımında kullanılan gölgeleme elemanları, cam yüzey oranları, malzeme seçimleri ve yalıtım çözümleri, binanın iklim koşullarına uyum sağlayarak enerji talebini azaltmaktadır. Bu bağlamda, mevcut kamu yapılarının cephe performansının enerji etkinlik odaklı olarak yeniden değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi, sürdürülebilir yapılaşma politikalarının önemli bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir.

4.1. Yöntem ve Uygulama

Bu araştırmada ılıman iklim bölgesinde hizmet binası olarak kullanılan kamu yapısı üzerinden çalışma yapılmıştır. Yapının mevcut kullanımında yer alan kullanıcı profiline ısı ve görsel konfor koşulları ile alakalı bir anket çalışması yapılması. Anket verileri sonucunda eldi edilen geri dönüşler göz önüne alınarak var olan problem belirlenmiştir. EnergyPlus altyapısını kullanan, binaların enerji tüketimi, karbon salımı, aydınlatma ve konfor düzeylerini değerlendirmeye ve yönetmeye yönelik geliştirilmiş DesignBuilder yazılımı kullanarak yapı analiz edilmesi. Yapıya ait çevresel ve yapısal veriler programana tanıtılması. Yapının mevcut durumu modellenmesi ve DesignBuilder simülasyon aracı kullanarak ısıtma ve soğutma enerjisi tüketim verileri

ortaya çıkarılması. Yapının toplam enerji ihtiyacı hesaplanarak yapının enerji kimlik sınıfı belirlenmesi. Önerilen enerji etkin iyileştirme senaryoları ile yapının modellenmesi ve yeni enerji tüketim verilerinin hesaplanması. Yapının mevcut durumu ve önerilen senaryoların karşılaştırmalı analiz sonuçlarının değerlendirilmesi. Designbuilder benzetim programı ile yapılan karşılaştırmalı performans analizlerinin yapılması ve değerlendirilmesi hedeflenmiştir **Şekil 4.1**.

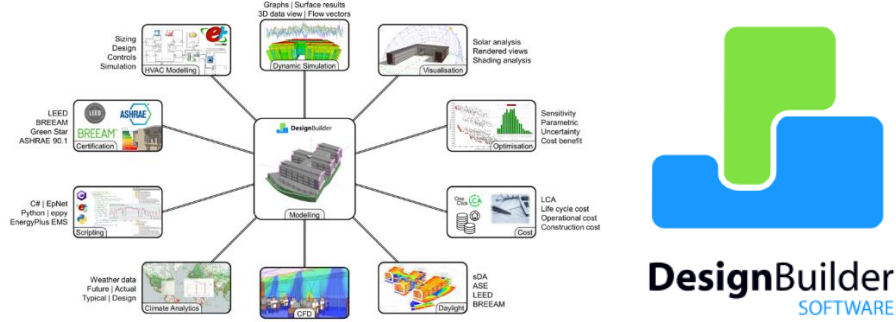


Şekil 4.1: Yapı kabuğunun enerji etkin iyileştirilme yöntem ilerleyişi.

4.1.1. Enerji Simülasyon Aracı (Designbuilder)

EnergyPlus temelli bir yazılım olan DesignBuilder, bina tasarımlarının enerji kullanımı, karbon salımı, aydınlatma ve konfor performansını ölçüp yönetmek amacıyla geliştirilmiştir **Şekil 4.2**. DesignBuilder; mimarlar, mühendisler, enerji danışmanları ve sürdürülebilirlik uzmanları tarafından bina tasarımının enerji verimliliği ve bina performansı analizi için kullanılan bir bina enerji modelleme ve simülasyon yazılımıdır. Yapıların enerji etkinliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Bu yazılım, çeşitli bina türleri için enerji tüketimi hesapları yapmak, tasarım değişikliklerinin enerji etkinliği üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve sürdürülebilirlik hedeflerini karşılamak amacıyla kullanılır. DesignBuilder, binaların 3D modellerini oluşturmamıza olanak tanır. Bu modeller, bina geometrisini, yapı elemanlarını, pencereleri, kapıları, yalıtım malzemelerini ve HVAC (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) sistemlerini içerir. Binaların daha verimli ve çevre dostu hale

getirilmesine yardımcı olur ve enerji tasarrufu potansiyelini maksimize etme konusunda kritik bir rol oynamaktadır. DesignBuilder binanın enerji performansını hesaplamak için EnergyPlus simülasyon motorunu kullanmaktadır.



Şekil 4.2: DesignBuilder programı [DesignBuilder, 2025].

4.1.2. Kullanıcı Konfor Analizi Anket Çalışması

Kullanıcıların gün içerisinde uzun süre vakit geçirdiği ofis ortamları kişilerin üretken ve verimli olabilmeleri için kullanıcıya konforlu bir mekân sunmalıdır. Kullanıcı çalışma koşullarında ısı ve görsel konfor beklemektedir. Isıtma soğutma sistemleri, yapıya dahil edilen temiz hava sistemleri ve aydınlatma koşulları konfor alanı için kritik parametrelerdir. Konfor koşullarının kullanıcı profili açısından algısı ve memnuniyet durumu önemli rol oluşturmaktadır. Çalışma alanı koşulları insan psikolojisi ve fizyolojik yapısını etkileyen bir sistemdir. Çalışmaya uygun bir ortam oluşturulduğunda kullanıcı daha verimli performans ortaya koyabilmektedir. Gün içerisinde uzun süreler geçirilen çalışma ortamlarında kullanıcı performansını olumlu etkileyecek düzenlemelerin yapılması zorunludur.

Bu tez kapsamında yürütülen anket çalışması, kullanıcıların bulundukları binadaki konfor düzeyine ilişkin algılarını, mevcut yapı ve yapı kabuğu özelliklerinin ısı ve görsel konfor üzerindeki etkilerini ve olası iyileştirme beklentilerini değerlendirmek amacıyla tasarlanmıştır. Elde edilen bulgular, kullanıcı deneyimini merkeze alan enerji etkin tasarım stratejilerine ışık tutarak, sürdürülebilir yapıların hem teknik hem insani yönlerini bir arada ele alma gerekliliğine katkı sunacaktır.

Anket çalışması Başiskele Belediye Hizmet binasında çalışan 100 katılımcıya uygulanmıştır. Anket soru içerikleri 3 başlık altında incelenmiştir. Kişisel ve genel

sorular cinsiyet, yaş, oda konumu ve eğitim düzeyidir. İkinci başlık olarak memnuniyet soruları sorulmuştur. Isıl memnuniyet, aydınlatma seviyesi ve iç hava kalitesi alt başlıklarını içermektedir **Şekil 4.3**. Farklı mevsimlerdeki konfor düzeylerini ortaya çıkarabilmek adına sorular farklı koşullar da hazırlanmıştır. Kullanıcı tercihleri kısmında ısıtma ve havalandırma sistemlerine kullanıcının müdahale durumu ve kıyafet durumu hakkında sorular yöneltilmiştir.



Şekil 4.3: Kullanıcı konfor değerlendirmeleri.

Anket çalışması kapsamında Başiskele Belediyesi Hizmet Binasında yer alan 100 adet kullanıcıya 35 adet anket sorusu sorulmuştur. Anket soruları içeriğinde kullanıcı profilinin iç mekândaki koşullara etki edip edemediği, koşulların çalışma şartlarına etkisini ortaya çıkacak sorular hazırlanmıştır. Anket için hazırlanan sorular eklerde yer almaktadır (**Ek-A**).

4.1.2.1 Kullanıcı Anket Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan anket çalışması elde edilen anket sonuç bilgileri doğrultusunda değerlendirilmiştir. Anket sorularında cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi, yapıda çalışma süreleri, çalışma alanının bulunduğu kat ve çalışma alanındaki mahalde çalışılan kişi sayısı ile ilgili sorular sorulmuştur. Anket sırasında anket uygulanan her kişinin yapının hangi cephe yönünde konumlandığı analiz edilmiştir. Bu anket sonuçlarından kullanıcıların cinsiyet, yaş ve eğitim durumu dağılımının yer aldığı yer almaktadır veriler **Tablo 4.1**.

Tablo 4.1: Kullanıcı özellik diyagramı.

Kullanıcı Özellikleri		Dağılımı*
Cinsiyet	Kadın	55
	Erkek	45
Yaş Dağılımı	18-28	28
	29-39	32
	40-50	24
	51-65	16
Eğitim Durumu	Ortaokul	7
	Lise	13
	Ön Lisans	25
	Lisans	50
	Y.Lisans	5

* Dağılım değeri yüzde olarak verilmiştir.

Yapılan anket çalışmasına katılan katılımcıların % 55'i kadın, %45' i erkek kullanıcılardan oluşmaktadır. Bu katılımcıların % 28'i 18-28 yaş arasında, %32'si 29-29 yaş arasında, % 24'i 40-50 yaş arasında, % 16'i 51-65 yaş arasında yer almaktadır. Kullanıcıların %50'lik kısmı lisans mezunu, %7'lik kısmı ortaokul, %13'lük kısmı lise, %25'lik kısmı önlisans, %5'lik kısmı yüksek lisans mezunu olduğu görülmektedir.

Anket çalışması sonucunda çıkan verileri kullanıcıların bulundukları mahallerin yer aldıkları cephe konumlarına göre 3 başlık altında değerlendirilmiştir. Kuzey cephesi, doğu-batı cephesi ve güney cephesi olmak üzere üç başlık altında değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme koşulları memnuniyet, kararsızlık ve rahatsızlık olarak 3 değerlendirme kriterine dönüştürülmüştür. 35 adet sorulardan elde edilen anket sonuçları 8 ana başlık altında değerlendirme yapılmıştır. Kullanıcılara yöneltilen sorular ile mevsimsel koşullara göre ısı memnuniyet koşulları araştırılmıştır. Yaz sezonunda çalışma alanının sıcaklığının uygunluğu, kış sezonunda çalışma alanının sıcaklığının uygunluğu, çalışma alanının hava kalitesi durumu, çalışma alanının doğal havalandırma uygunluğu, çalışma alanındaki doğal ışık yeterliliği, çalışma alanının yapay ışık ile aydınlatılması, doğal aydınlatmanın çalışma alanına olumsuz etkisinin durumu (ekran yansımaları, kamaşma, kullanılan cihazların ısınması gibi.), doğal aydınlatmanın çalışma alanında kontrol edilebilirliği gibi ana değerlendirme kriterleri oluşturulmuştur. Bu kriterler kullanıcının anket cevapları doğrultusunda meydana getirmiştir ve memnuniyet ve rahatsızlık koşulları yüzdesel oran olarak çıkarılmıştır.

Yaz sezonunda çalışma alanının sıcaklığının uygunluğu; kuzey cephede %66,6 memnuniyet, %11,3 kararsız, %22,1 rahatsızlıktır. Güney cephede %30,2 memnuniyet, %7,5 kararsız, %62,3 rahatsızlıktır. Doğu ve batı cepherinde %25,8 memnuniyet, %15,5 kararsız, %58,7 rahatsızlıktır. Yaz sezonunda çalışma alanının sıcaklığının uygunluğu; kuzey cephede %18 memnuniyet, %14,2 kararsız, %67,8 rahatsızlıktır. Güney cephede %49,7 memnuniyet, %12,2 kararsız, %38,1 rahatsızlıktır. Doğu ve batı cepherinde %41,9 memnuniyet, %10 kararsız, %48,1 rahatsızlıktır. Çalışma alanının doğal havalandırma uygunluğunun analiz sonuçlarında; kuzey cephesinde %52,5 memnuniyet, %8,9 kararsız, %38,6 rahatsızlıktır. Güney cephesinde %25,5 memnuniyet, %15,8 kararsız, %58,7 rahatsızlıktır. Doğu ve batı cepherinde %22,7 memnuniyet, %17,6 kararsız, %59,7 rahatsızlıktır. Verilen tabloda tüm analiz sonuçlarının yüzdesel oranları yer almaktadır

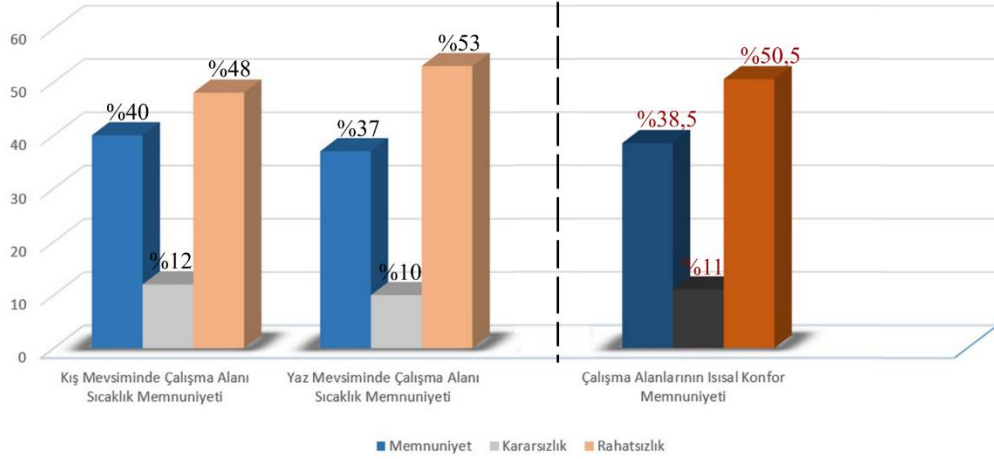
Tablo 4.2.

Tablo 4.2: Kullanıcı konfor koşullarının memnuniyet değerlendirmesi.

Değerlendirme Anketindeki Sorular	KULLANICI KONFOR KOŞULLARININ MEMNUNİYET DEĞERLENDİRMESİ								
	Kuzey cephede konumlanan mahaldeki kullanıcıların memnuniyet durumu			Güney cephede konumlanan mahaldeki kullanıcıların memnuniyet durumu			Doğu ve Batı cephelerinde konumlanan mahaldeki kullanıcıların memnuniyet durumu		
	M	K	R	M	K	R	M	K	R
Yaz sezonunda çalışma alanının sıcaklığının uygunluğu	66,6	11,3	22,1	30,2	7,5	62,3	25,8	15,5	58,7
Kış sezonunda çalışma alanının sıcaklığının uygunluğu	18,0	14,2	67,8	49,7	12,2	38,1	41,9	10,0	48,1
Çalışma alanının hava kalitesi durumu	45,7	9,5	44,8	45,7	9,5	44,8	40,2	10,0	49,8
Çalışma alanının doğal havalandırma uygunluğu	52,5	8,9	38,6	25,5	15,8	58,7	22,7	17,6	59,7
Çalışma alanındaki doğal ışık yeterliliği	75,4	8,1	16,5	61,3	7,1	31,6	47,0	5,0	48,0
Çalışma alanının yapay ışık ile aydınlatılması	66,5	7,3	26,2	47,2	6,8	46,0	42,5	7,5	50,0
Doğal aydınlatmanın çalışma alanına olumsuz etkisinin durumu (ekran yansımaları, kamaşma, kullanılan cihazların ısınması gibi.)	81,8	5,2	13,0	20,4	5,5	74,1	33,6	13,2	53,2
Doğal aydınlatmanın çalışma alanında kontrol edilebilirliği	66,2	13,3	20,5	45,1	11,6	43,3	24,2	8,4	67,4
M: MEMNUNİYET K: KARARSIZ R: RAHATSIZLIK									
*Değerler yüzde olarak verilmiştir.									

Anket çalışması sonucunda kış mevsiminde çalışma alanı koşullarında ısı memnuniyet durumu %40, kararsızlık % 12 ve rahatsızlık durumu %48'dir. Yaz mevsiminde çalışma alanı koşullarında sıcaklık memnuniyet durumunu incelediğimizde %37 memnuniyet, %10 kararsızlık ve %53 rahatsızlık'dır. Genel bir değerlendirme analizi yaptığımızda çalışma alanı olan Başiskele Belediyesi Hizmet Binasında çalışma alanlarının ısısal konfor memnuniyeti %38,5 memnuniyet, %11

kararsızlık ve %50,5 rahatsızlık oranları ortaya çıkmıştır. Bu oranların grafik halleri yer almaktadır **Şekil 4.4**. Elde edilen bu bulgular ışığında kullanıcı yoğunluğunun çalışma alanının ısı konfor koşullarından memnun olmadığı ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 4.4: Anket değerlendirme grafiği.

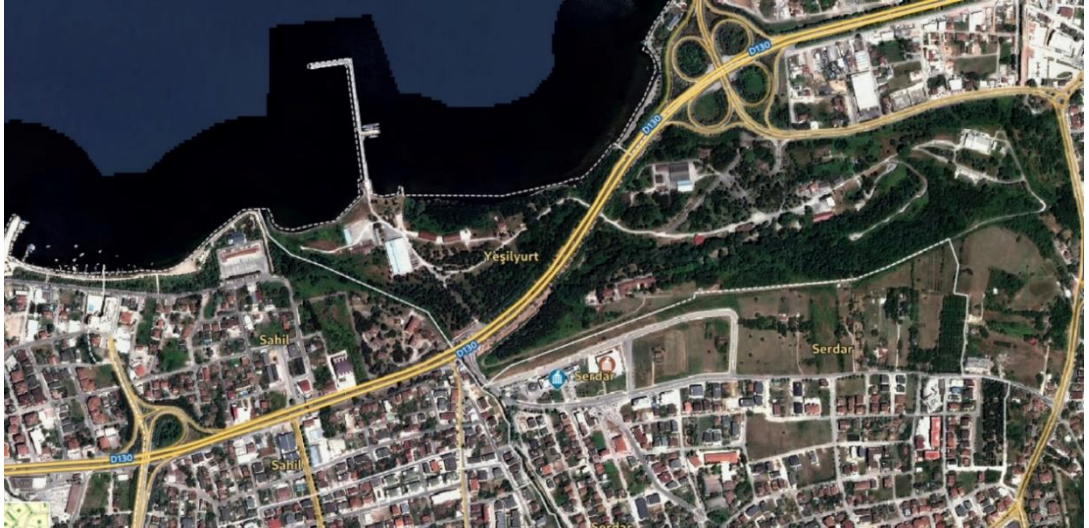
4.1.3. Yapıya Uygun Verilerin Elde Edilmesi

Bu çalışmada mevcut kamu hizmet binasının mevcut konumu, bulunduğu bölge ve il, binanın yönlenme şekli, güneş ışınlarını alışı açıları, yapının iç ve dış yapı elemanlarında kullanılan malzemeler, yapı kabuğu ve kabukta yer alan opak ve saydam malzemeler tanımlanmıştır. Yapının kullanım şekli, kullanıcı profili, kullanım zamanları ve kullanılan yardımcı ekipman verileri girilmiştir. İç mekânda aktif ısıtma, soğutma, iklimlendirme ve havalandırma verileri tanımlanmıştır. Kamu yapıları için kabul gören ısıtma ve soğutma sınır değerleri sabit olarak kabul edilmiştir. Kabul edilen bu veriler Designbuilder adlı simülasyon aracında tanımlanmıştır.

4.1.3.1. Coğrafi Veriler

Bu çalışma kapsamında ılıman nemli iklim kuşağında yer alan bölgeler ele alınmış, pilot bölge olarak ise Kocaeli ili seçilmiştir. Kocaeli, Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara Bölgesi'nin doğusunda yer almakta olup, stratejik konumuyla İstanbulla yakında bir geçiş güzergahı oluşturmaktadır. İl; doğuda Sakarya, batıda İstanbul, kuzeyde Karadeniz, güneyde ise Bursa ve Marmara Denizi ile çevrilidir. Coğrafi

olarak 29° 22' doğu boylamı ile 40° 46' kuzey enlemleri arasında konumlanan Kocaeli, İzmit Körfezi çevresine yerleşmiş olup, toplam yüzölçümü 3.625 km²'dir. Merkez ilçe olan İzmit'in yüzölçümü ise yaklaşık 1.180 km²'dir. Yapının bulunduğu ilçe Başiskele'nin yüzölçümü yaklaşık 209 km²'dir. İzmit Körfezi'ne kıyısı bulunan ilçenin kuzey kesimleri deniz seviyesine yakın bir rakıma sahipken, topoğrafya güney yönünde belirgin biçimde yükselmekte ve Samanlı Dağları'na doğru ilerledikçe rakım 1.000 metreye kadar ulaşmaktadır. Bu yükselti farkı, ilçede eğimli arazi koşullarının belirleyici olduğu bir yerleşim deseni oluşturmaktadır. Kıyı kesimlerinde yoğunlaşan yerleşim alanları zamanla iç bölgelere ve daha yüksek kotlara doğru genişleme göstermekte, bu durum hem ulaşım altyapısında hem de yapılaşma biçimlerinde topografyayla bütünleşik çözümler geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Kocaeli ili, Karadeniz iklimi ile Akdeniz iklimi arasında geçiş özellikleri gösteren, yüksek nem oranına sahip ılıman iklim kuşağında yer almaktadır. Bu iklimsel yapı, ilin bitki örtüsünü de doğrudan etkilemekte olup, başta Samanlı Dağları çevresi olmak üzere ilin büyük bir bölümünde zengin doğal orman varlığı mevcuttur. Kent sınırları içerisinde doğal göl bulunmamakla birlikte, Yuvacık Barajı ve Sapanca Gölü gibi önemli yüzey suyu kaynaklarına yakınlığı sayesinde su potansiyeli bakımından avantajlı bir konumdadır **Şekil 4.5**. Ayrıca, şehir genelinde çok sayıda dere ve akarsu bulunmaktadır.



Şekil 4.5: Başiskele Serdar Mahallesi lokasyon görüntüsü [Web-2,2025].

Kocaeli, Türkiye genel nüfusunun yaklaşık %2'sine ev sahipliği yapmakta olup, büyükşehir statüsündeki iller arasında nüfus yoğunluğu bakımından üst sıralarda yer

almaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2016 yılı verilerine göre il nüfusu 1.830.772 olarak belirlenmiştir. Gelişmiş sanayi altyapısı ve ekonomik faaliyetlerin çeşitliliği nedeniyle Kocaeli, iç göç hareketlerinden önemli ölçüde etkilenmekte ve Türkiye ortalamasının üzerinde bir nüfus artış hızı göstermektedir. Bu durum, kentte hızlı bir kentsel gelişim ve mekânsal yayılım sürecini beraberinde getirmiştir.

4.1.3.2. İklim Verileri

Marmara Bölgesi'nin doğusunda yer alan Kocaeli, nemli ılıman iklim özellikleri göstermektedir. Karadeniz iklimi ile Akdeniz iklimi arasında bir geçiş kuşağında yer alması nedeniyle kentte dört mevsim belirgin olarak yaşanmakta, yazlar ılık ve nemli, kışlar ise soğuk ve yağışlı geçmektedir. Bu iklimsel yapı, bölgedeki mimari tasarım kararları açısından hem ısıtma hem de soğutma yüklerinin birlikte değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (MGM) verilerine göre Kocaeli iline ait uzun yıllar ortalamalarına dayanan aylık sıcaklık ve yağış miktarları sunulmaktadır [MGM, 2025]. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) 1929–2024 dönemi verilerine dayalı olarak Kocaeli ilinin aylık ortalama sıcaklık ve yağış miktarlarını içeren tablo sunulmuştur **Tablo 4.4**.

Tablo 4.4: Kocaeli ili aylık ortalama sıcaklık ve yağış miktarı (1929–2024) [Meteoroloji Genel Müdürlüğü,2024].

Ay	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama Yağış Miktarı (mm)
Ocak	6,2	93,0
Şubat	6,7	76,0
Mart	8,6	71,5
Nisan	13,0	51,3
Mayıs	17,6	48,4
Haziran	21,7	55,5
Temmuz	23,9	44,9
Ağustos	24,0	42,8
Eylül	20,5	58,6
Ekim	16,2	85,0
Kasım	12,2	79,1
Aralık	8,5	107,9

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre, Kocaeli ilinin yıllık ortalama güneş enerjisi potansiyeli 1300 kWh/m² ile 1400 kWh/m² arasında değişmektedir. Bu değerler, Türkiye ortalamasının altında yer almakla birlikte, özellikle pasif güneş tasarımının uygulanabilirliğini destekleyecek düzeydedir. GEPA verilerine göre Kocaeli’de yaz aylarına ait ortalama günlük güneşlenme süresi yaklaşık 9,6 saat, kış aylarına ait ortalama güneşlenme süresi ise 2,6 saat olarak ölçülmüştür [GEPA, 2025]. Bu durum, güneşlenme süresine dayalı enerji verimliliği çözümlerinde mevsimsel farklılıkların dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Kocaeli ve çevresindeki hakim rüzgâr yönü kuzeydoğudur. Özellikle ilkbahar ve kış aylarında Karadeniz üzerinden gelen nemli ve soğuk hava kütleleri bölgeyi etkilemektedir. Yaz aylarında ise batı ve güneybatı yönlerinden gelen rüzgârlar daha etkin hale gelmektedir. Bu değişken rüzgâr yönü, yapıların yönlendirilmesinde doğal havalandırma stratejilerinin mevsimsel olarak optimize edilmesini gerekli kılmaktadır. Şekil 4.3’te uzun yıllar verilerine göre Kocaeli için hakim rüzgâr yönü bilgileri grafiksel olarak sunulmuştur [Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2025] **Tablo 4.5.**

Tablo 4.5: Kocaeli 1960–2023 uzun yıllar rüzgâr yönü özeti) [Meteoroloji Genel Müdürlüğü,2024].

Ay	Hâkim Rüzgâr Yönü	Frekans (%)
Ocak	Kuzeydoğu (NE)	28
Şubat	Doğu (E)	25
Mart	Güneydoğu (SE)	22
Nisan	Güney (S)	20
Mayıs	Güneybatı (SW)	18
Haziran	Batı (W)	15
Temmuz	Kuzeybatı (NW)	30
Ağustos	Kuzey (N)	27
Eylül	Kuzeydoğu (NE)	24
Ekim	Doğu (E)	21
Kasım	Güneydoğu (SE)	19
Aralık	Güney (S)	17

Kocaeli ilinin yıllık ortalama güneş enerjisi potansiyeli 1300 kWh/m² ile 1400 kWh/m² arasında değişmektedir. Bu değerler, Türkiye ortalamasının altında yer almakla birlikte, özellikle pasif güneş tasarımının uygulanabilirliğini destekleyecek düzeydedir. GEPA verilerine göre Kocaeli’de yaz aylarına ait ortalama günlük

güneşlenme süresi yaklaşık 9,6 saat, kış aylarına ait ortalama güneşlenme süresi ise 2,6 saat olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.6: Kocaeli güneşlenme süresi)[Meteoroloji Genel Müdürlüğü,2024].

Ay	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat/gün)	Ortalama Güneş Işınımı (kWh/m ² /gün)
Ocak	2.5 – 3.0	1.4 – 2.0
Nisan	5.0 – 6.5	4.0 – 4.8
Temmuz	9.5 – 10.5	6.5 – 7.5
Ekim	4.5 – 5.5	3.5 – 4.2
Aralık	2.0 – 2.5	1.2 – 1.6

4.1.3.3. Yapısal Veriler

Kocaeli Çalışma kapsamında değerlendirilen kamu yapısı Kocaeli İlinin Başiskele ilçesinde 2015 yılında hizmete açılan Başiskele Belediyesi Hizmet Binasıdır **Şekil 4.6**. Yeni bir kamu yapısı olduğu için güncel yapım teknikleri ve yönetmelikler dikkate alınarak tasarlanmış bir yapıdır. Betonarme sistem olarak yapılan yapının cephe kısmında bölümünde giydirme cam cephe sistemleri bazı kısımlarında ise alüminyum doğrama camlar kullanılmıştır. Yapı cephesinde saydam yüzey oranları oldukça fazladır. Yapının enerji tüketim verilerini hesaplayabilmek adına yapının konumu, yönlendirilişi, formu, kullanım amacı ve yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri çıkarılarak analiz verisi olarak ortaya konmuştur.



Şekil 4.6: Başiskele Belediye Hizmet Binası.



Şekil 4.7: Başiskele Belediye hizmet binası.

4.1.3.4. Yapının Konumu ve Yönlendirilişi

Başiskele Belediyesi Hizmet Binası, Kocaeli ilinin hızla gelişen ve özellikle kamuya ait yapıların yoğunlukta olduğu Başiskele ilçesinde yer almaktadır. İlçenin merkezine yakın konumlanmış olan yapı, düz bir arazi üzerine inşa edilmiştir ve doğu-batı doğrultusunda uzanan tek bir blok şeklinde tasarlanmıştır. Çevresindeki yapılaşma incelendiğinde, Başiskele Belediyesi Hizmet Binası çevresinde yer alan diğer yapılar arasında çok katlı ofis binaları, ticaret merkezleri ve az katlı konutlar bulunmaktadır **Şekil 4.8.** Bununla birlikte, geniş parsel mesafeleri ve çevresindeki yapıların düzenli

yerleşimi nedeniyle bu yapılar, Belediye Hizmet Binası üzerinde herhangi bir gölgeleme etkisi yaratmamaktadır.

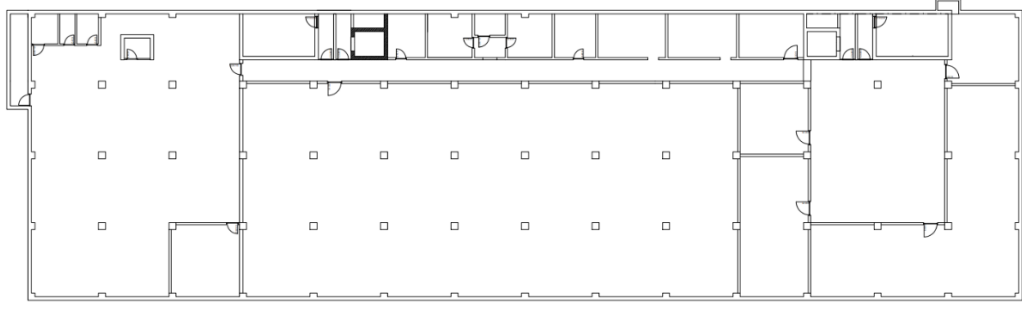


Şekil 4.8: Başiskele Belediye hizmet binası harita görüntüsü [Web-2,2025].

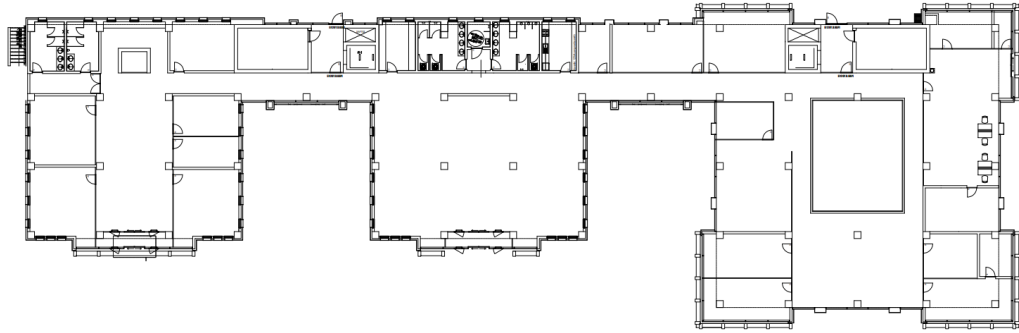
Başiskele Belediyesi Hizmet Binası, çevresindeki yollar ve ulaşım ağlarıyla kolayca erişilebilen bir konumda yer almaktadır. Yapının parsel içerisindeki konumu, yönlendirilmesi, çevre yolları ve hakim rüzgâr yönü gibi önemli veriler görsel olarak sunulmaktadır **Şekil 4.8**. Bu veriler, yapının çevresiyle olan ilişkisini, enerji verimliliği ve doğal havalandırma stratejileri açısından tasarımın doğruluğunu anlamak için kritik öneme sahiptir. Yapının yönlendirilişi, bölgedeki diğer yapılarla olan etkileşimini en optimize edecek şekilde oluşturulmuştur.

4.1.3.5. Yapının Formu ve Mekân Organizasyonu

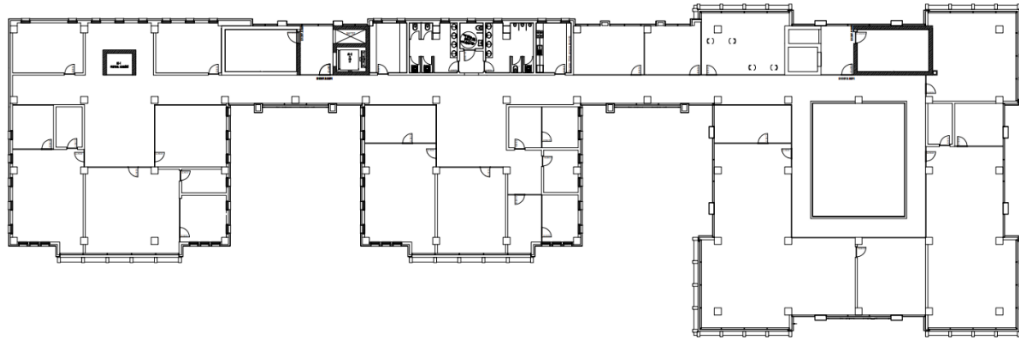
Başiskele Belediye Hizmet Binası bir adet bodrum kat, zemin kat ve 2 normal kat olmak üzere toplam 4 kattan oluşan bir yapıdır. Bodrum katı 2081 m², zemin kat 1848,05 m², 1. Kat 1440,75 m² ve 2. Kat 1440,75 m² inşaat alanına sahiptir. Toplam inşaat alanı 6810,50 m² 'dir. Yapının kat yüksekliği 4 m'dir **Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12**.



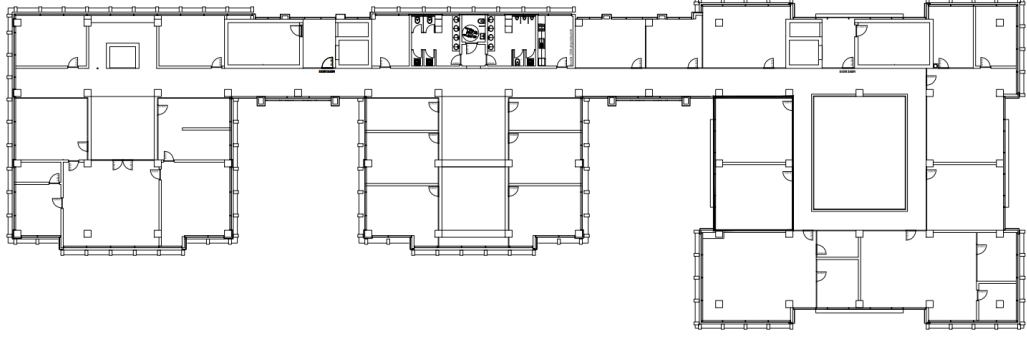
Şekil 4.9: Bodrum kat planı.



Şekil 4.10: Zemin kat planı.



Şekil 4.11: 1. kat planı.



Şekil 4.12: 2. kat planı.

4.1.3.6. Yapı Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özellikleri

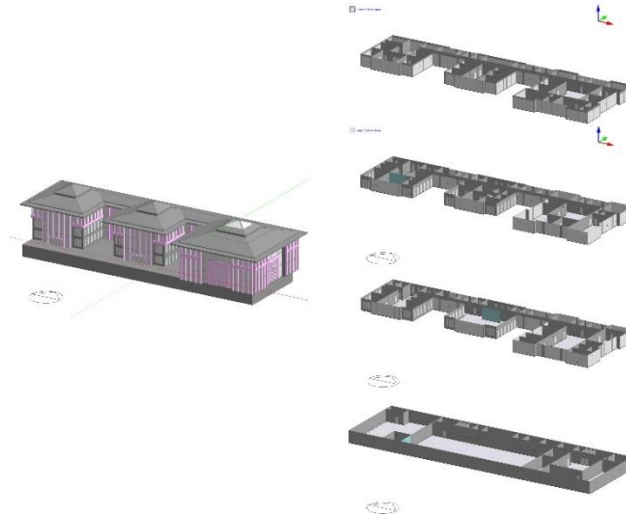
Başiskele belediye hizmet binası için mevcut proje ve uygulama verileri kullanılarak yapının yapısal elemanlarının özellikleri uygun detay katmanlarına göre tanımlanmıştır. Yapı kabuğu traverten kaplama opak yüzeyler, alüminyum cephe ve doğrama sistemlerinden oluşan saydam yüzeylerle kaplanmış durumdadır. Yapı kabuğu, çevresiyle sürekli etkileşime girer; bu kabuğu oluşturan opak ve saydam elemanların optik ile termofiziksel nitelikleri, binanın ısı davranışını belirler ve böylece iç mekânda konfor şartlarını oluşturur. Yapı genel olarak saydamlık oranı yüksek bir kabuk sisteme sahiptir. Kabuk üzerinde tasarlanmış ahşap kaplama elemanlar yer almaktadır. Ayrıca bazı cam cephelerin yüzeyleri alüminyum cnc kesimli elemanlar ile birlikte tasarlanmıştır.

4.2. Mevcut Kamu Yapısının Isıtma ve Soğutma Enerjilerinin Enerji Etkinlik Analizi

Mevcut bir kamu yapısı olan Başiskele Belediye hizmet binası için EnergyPlus temelli bir yazılım olan DesignBuilder programında bir simülasyon ortamı oluşturularak yapının toplam ısıtma ve soğutma enerji yükleri hesaplanmak istenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda yapı kabuğunu enerji etkin iyileştirme çalışmaları yapılarak mevcut ve iyileştirme önerileri arasında bir analiz oluşturarak karşılaştırma yapmak istenmiştir.

4.2.1. Kamu Yapısını Modellenmesi, Kullanım Bölgelerine Ayrılması ve Verilerin Programa Tanımlanması

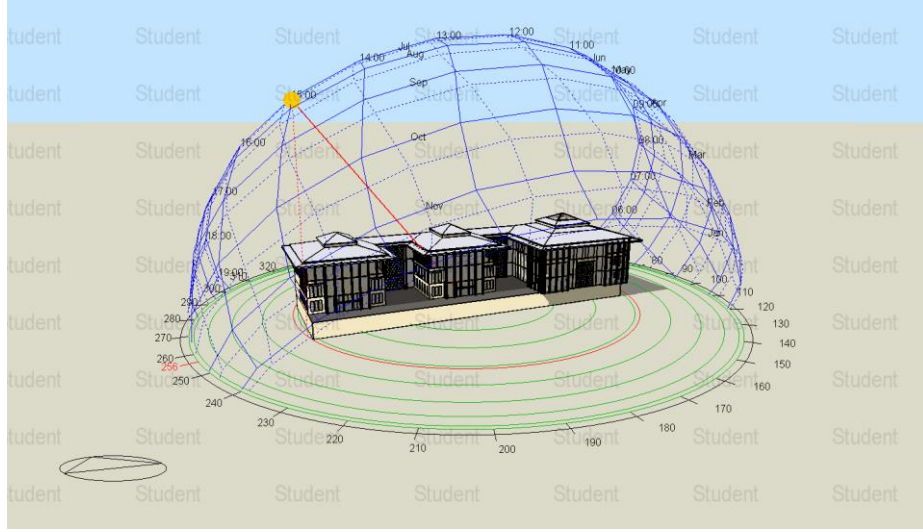
DesignBuilder yazılım aracında öncelikle yapının var olduğu konum ve il verileri girilmiştir. Bu veriler ışığında programdan uygun iklim verileri dosyası aktif edilmiştir. Programda var olan iklim verileri ASHRAE standartlarında kabul görmüş verilerdir. Analiz yapılırken güneş konumu, basınç ve sıcaklık değerleri bu verilerden kabul gören değerler olarak alınacaktır. Programda yapının kullanım şekli, amacı ve kullanım zamanları mevcut duruma uygun olarak seçilmiştir. Mevcut durumda yapının kullanım şekline göre standartlara uygun veriler programa girilmiştir. Analiz boyunca bu veriler sabit değer olarak kabul edilecektir. İç mekânda maksimum ve minimum sıcaklık değerleri, yapı kullanım zamanları ve yardımcı ekipman değerleri program verilerinde tanımlanmaktadır. Mevcut belediye hizmet binasının mevcut kat planları 3 boyutlu olarak DesignBuilder programında modellenmiştir.



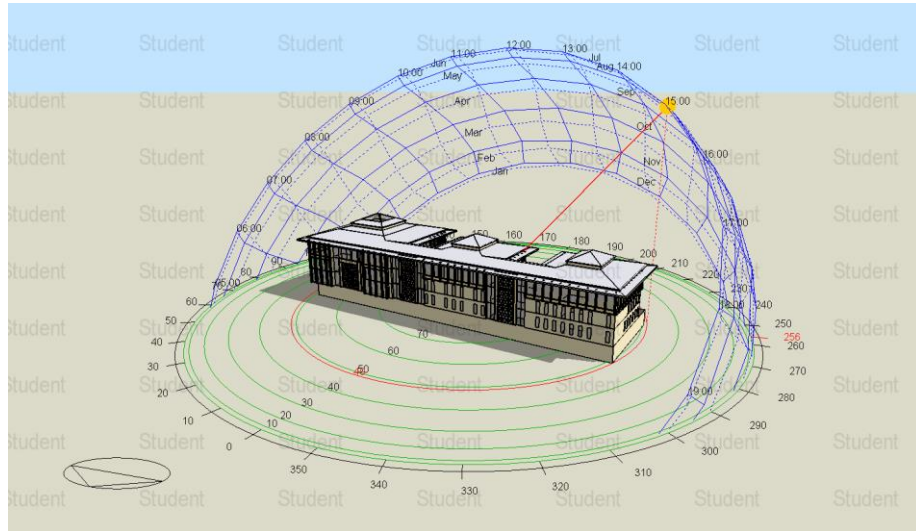
Şekil 4.13: DesignBuilder program modeli ve kat bölgeleri.

Yapıda kullanılan mahaller ayrılarak kullanım mahalleri DesignBuilder programında kat bölgeleri olarak tanımlanmıştır **Şekil 4.13**. Model üzerinde yapının çatı, duvar, pencere doğrama, cam, cephe kaplama vb. gibi yapı elemanlarının malzemeleri ve katman detay özellikleri girilmiştir. Ve bu katmanların ısı geçirgenlik katsayıları tanımlanmıştır. Yapı elemanları ve malzeme özellikleri tüm elemanlar üzerinden programa girildikten sonra yapının mekanik ısıtma ve soğutma sistem verileri de sisteme tanıtılmıştır **Şekil 4.14, Şekil 4.15**. Aydınlatma sistem özelliklerinin de verileri yazılım programına tanımlanmıştır. Sistemde tanımlanan özellikler ve veriler

doğrultusunda DesignBuilder yazılımında simülasyon yapılarak yapının mevcut durumda yapının toplam ısıtma ve soğutma enerji yükleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.14: Yapı güney cephe güneş analizleri.



Şekil 4.15: Yapı kuzey cephe güneş analizleri.

Çalışma kapsamında kamu hizmet binası yapısına ait kabul edilen veriler listelenmiştir.

DesignBuilder yazılımı, ASHRAE standartlarına uygun olarak dünya genelindeki iklim verilerini içermektedir [DesignBuilder, 2025]. Çalışma konusu olan referans kamu hizmet binası Kocaeli’de yer aldığından, bu şehre ilişkin coğrafi konum ve iklim verileri program tarafından otomatik olarak seçilmiştir.

Yapının genel kullanım şekli ofis olarak tanımlanmıştır. Ofis alanları içerisinde yardımcı ekipman ve bilgisayar verileri buna uygun olarak tanımlanmıştır. Kullanıcı yoğunluğu mevcut durumdaki mahallerde bulunan kullanıcı sayılarına göre 0.111 kişi/m² değeri olarak kabul edilmiştir. Kullanıcı aktivite şekli hafif ofis çalışması, oturma ve yürüme olarak tanımlanmıştır. Aktivite faktörü 0.9 olarak kabul edildi. Kışlık kıyafet değeri 1,00 clo ve yazlık kıyafet değeri 0,50 clo olarak referans değeri girildi.

Kullanıcının konforunu ve sağlığını korumak ya da belirli ekipmanların/verilerin güvenli çalışmasını sağlamak amacıyla ortam/iklimlendirme kontrolü parametrelerini ofis yapısı ASHRAE standartlarında iç ortam koşul değerleri için ısıtma değeri 22° ve ısıtma geri ayarı 12 ° olarak kabul edilmiştir. Soğutma değeri 24° ve soğutma geri ayarı 28° olarak kabul edilmiştir.

Yardımcı ofis ekipman değeri 11,72 W/m² ve bilgisayar çalışma ekipmanı kullanılmıştır.

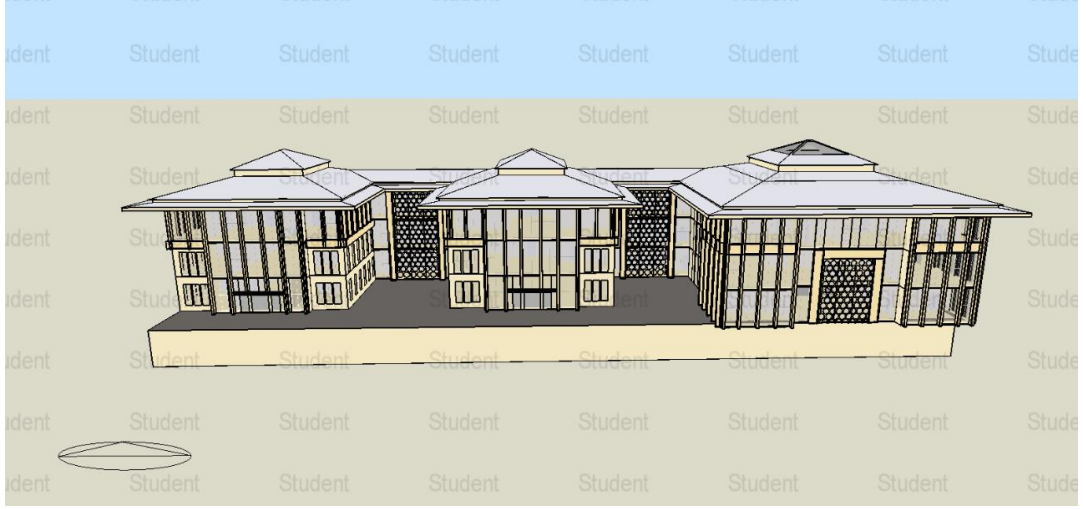
Aydınlatma sistemi olarak asma tavan sistemine uygun ledler kullanılmış ve aydınlatma değeri 500 lüks kabul edilmiştir.

Çalışma saatlerine göre kullanıcı yoğunluğu gün içerisinde farklılıklar oluşturmaktadır. Bu çalışma sistemine uygun program içerisindeki zaman çizelgesi seçilmiştir. Resmi tatil günleri Türkiye standart kabullerine göre uygulanmıştır. Çalışma saat çizelgesi aşağıda görülmektedir **Tablo 4.**

Tablo 4.7: Kamu Yapısı çalışma saatleri.

RESMÎ TATİLLER			
RESMÎ TATİLLER (2023 YILI RESMÎ TATİL TAKVİMİ DİKKATE ALINMIŞTIR.)		1 MAYIS İŞÇİ BAYRAMI	
		19 MAYIS GENÇLİK SPOR BAYRAMI	
		RAMAZAN BAYRAMI	
		30 AĞUSTOS ZAFER BAYRAMI	
		KURBAN BAYRAMI	
		15 TEMMUZ DEMOKRASİ ve MİLLÎ BİRLİK	
ÇALIŞMA SAATLERİ			
HAFTA İÇİ	00:00-07:00 ARASI %0.00	TATİLLER	00:00-07:00 ARASI %0.00
	07:00-08:00 ARASI %0.25		07:00-08:00 ARASI %0.20
	08:00-09:00 ARASI %0.50		08:00-09:00 ARASI %0.50
	09:00-12:00 ARASI %1.00		09:00-12:00 ARASI %0.65
	12:00-13:00 ARASI %0.75		12:00-13:00 ARASI %0.50
	13:00-17:00 ARASI %1.00		13:00-17:00 ARASI %0.65
	17:00-18:00 ARASI %0.50		17:00-18:00 ARASI %0.50
	18:00-19:00 ARASI %0.20		18:00-19:00 ARASI %0.20
	19:00-24:00 ARASI %0.00		19:00-24:00 ARASI %0.00
HAFTASONU	00:00-24:00 ARASI %0.00		

HVAC iklimlendirme sisteminde mevcut kamu hizmet binasında mekanik havalandırma sistemi bulunmadığı için DesignBuilder prgramında bu sistem devre dışı bırakılmıştır. Genel sistem VRF(air-colled), Heat Recovery, DOAS, DCV olarak seçilmiştir. Sistem ısıtma sistemi olarak doğalgaz seçilmiştir ve mevcut sistem özellikleri araştırılarak CoP değeri 1.8 olarak kabul edilmiştir. Soğutma sistemi olarak elektrikli VRF kullanılmış ve CoP değeri marka ve ürün özellikleri araştırılarak 2,5 olarak kabul edilmiştir. Su ısıtma sistemi de yine doğalgaz kullanılmıştır ve CoP değeri 1.8 olarak kabul edilmiştir. Yapıya ait yapısal eleman (duvar, çatı, bodrum döşeme ve vb.) özellikleri ve detay katmanları ve bu katmanlara ait ısı iletkenlik katsayıları aşağıdaki listede yer almaktadır **Tablo 4.8**.



Şekil 4.16: DesignBuilder model çalışması.

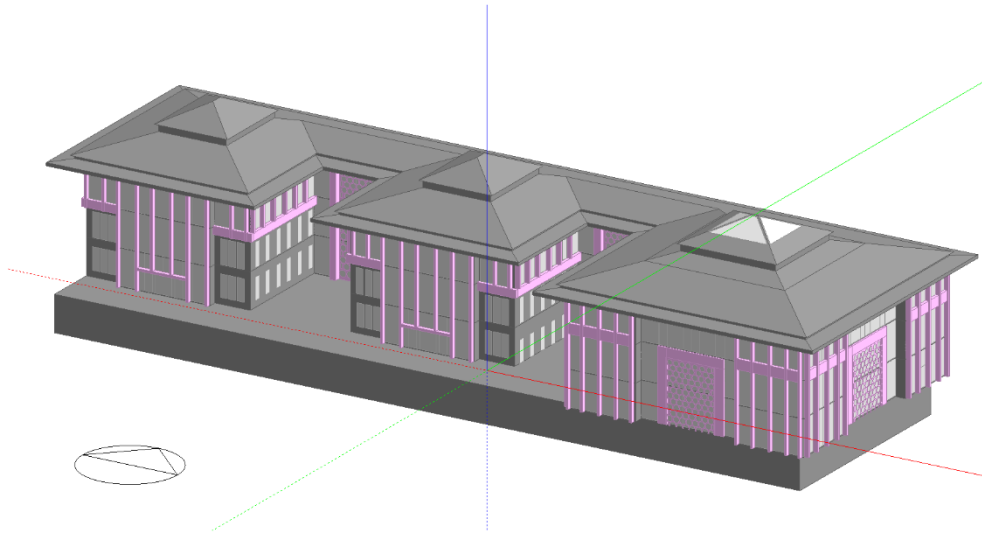
Tablo 4.8: Başiskele Belediye hizmet binası termofiziksel verileri.

BAŞISKELE BELEDİYE HİZMET BİNASI TERMOFİZİKSEL VERİLERİ			
Bileşenler	Yapı Elemanları	Kalınlık d(m)	Isı İletkenlik Katsayısı U(W/M²k)
DIŞ DUVAR			
Dış Duvar	Traverten Kaplama	0,02	0.81
	Hava Boşluğu	0,15	
	Gazbeton Duvar	0,20	
	Sıva	0,01	
	Su Bazlı Boya	0,01	
BODRUM DUVAR			
Bodrum Duvar	Koruyucu Tuğla	0,085	0.416
	XPS Isı Yalıtımı	0,05	
	Betonarme Perde Duvar	0,30	
	Perlitli Sıva	0,02	
	Su Bazlı Boya	0,01	
KAT DÖŞEMELERİ			
Kat Döşemeleri	Mermer Kaplama	0,03	1.459
	Yapıştırma Harcı	0,03	
	Tesviye Şapı	0,04	
	Betonarme Döşeme	0,20	
	Su Bazlı Boya	0,02	
TEMEL			
Temel	Sıkıştırılmış Toprak	0,30	0.333
	Mıcır Dolgu	0,10	
	Grobeton	0,10	
	Su Yalıtım Membranı	0,03	
	Koruma Betonu	0,05	
	Radye Temel	0,70	
	Yapıştırma Harcı	0,02	
	Mermer Kaplama	0,03	
ÇATI KAPLAMA			
Çatı Kaplama	Betonarme Döşeme	0,20	0.276
	Taşyünü	0,05	
	Çelik Konstrüksiyon	0,11	
	Trapez Sac	0,006	
	Taşyünü	0,05	
	Hava Boşluğu	0,05	
	OSB Levha	0,02	
	Kenet Kaplama	0,006	
CEPHE KAPLAMA			
Cephe Kaplama	Ahşap Lambri Kaplama	0,02	0.114

Cephe, cam ve doğrama özelliklerine ait ve detay katmanları ve bu katmanlara ait ısı iletkenlik katsayıları aşağıdaki listede yer almaktadır **Tablo 4.9**.

Tablo 4.9: Başiskele Belediye hizmet binası saydam yüzey termofiziksel verileri.

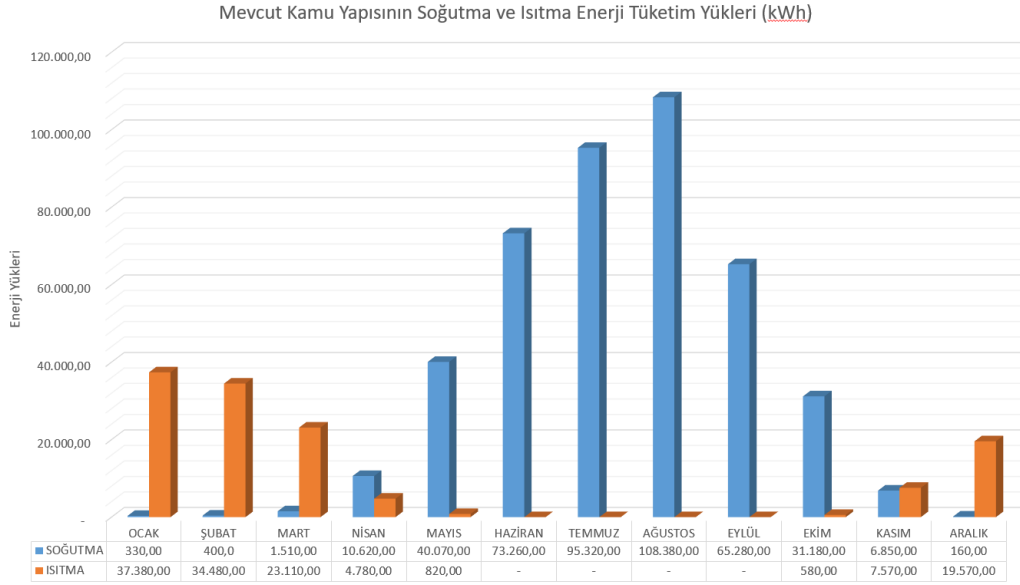
BAŞİSKELE BELEDİYE HİZMET BİNASI TERMOFİZİKSEL VERİLER				
Bileşenler	Yapı Elemanları	Kalınlık d(m)	Isı İletkenlik Katsayısı U(W/M²k)	Totol Solar Transmission(SHGC)
CAM KATMAN				
Cam	Generic Low-e 6mm Glass	0.006	1.776	0.571
	Hava Boşluğu	0.12		
	Generic Clear 6mm Glass	0.006		



Şekil 4.17:Başiskele Belediye hizmet binası designbuilder modeli.

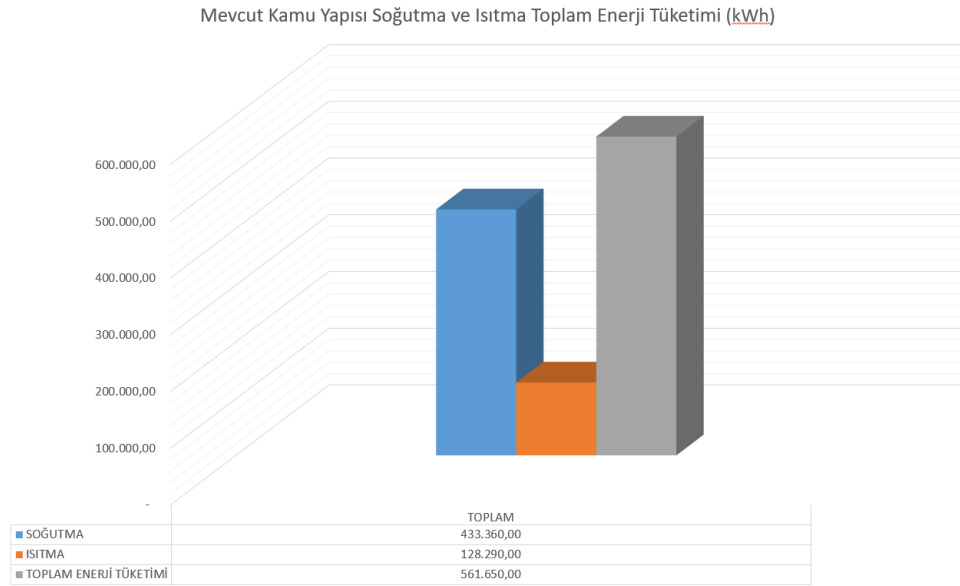
4.2.2. Kamu Yapısının Enerji Tüketim Simülasyonu ve Enerji Etkin İyileştirme Önerileri

Çalışmada özellikleri tanımlanan kamu yapısının mevcut durumu simüle edilerek analiz sonuçları çıkarılarak yapının mevcut durumunun enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. DesignBuilder analiz programı verilerine göre yapının yıllık ısıtma enerjisi için harcadığı toplam enerji 128.290,00 kWh'tir. Yapının yıllık soğutmak için harcadığı toplam enerji 433.360,00 kWh'tir.



Şekil 4.18: Mevcut kamu yapısının aylara göre ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

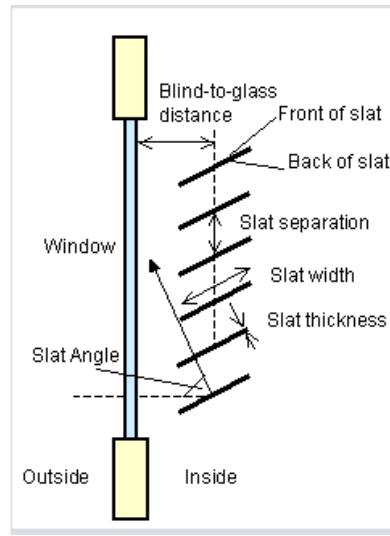
Yapının ısıtma ve soğutma sistemleri için harcadığı toplam enerji tüketimi miktarı 561.650,00 kWh'tir **Şekil 4.19**.



Şekil 4.19: Mevcut kamu yapısının toplam enerji yükleri(kWh).

Kamu yapısı yıl içerisinde en fazla enerji tüketimini soğutma enerjisine harcamaktadır. Yapının enerji tüketim değerlerini azaltarak iyileştirmek amacıyla çeşitli alternatif senaryolar üretilmiştir. Alternatif tüm senaryolarda aktivite türü, kullanıcı yoğunluğu, ısıtma ve soğutma sistemlerinin değerleri, aydınlatma değerleri gibi parametreler sabit

tutularak; yapının toplam ısıtma, soğutma yükleri üzerindeki etkileri karşılaştırılmış ve en uygun seçeneğin belirlenmesi hedeflenmiştir. Enerji etkin iyileştirme öneleri olarak güneş kırıcı elemanların cephe üzerindeki etkileri analiz edilmek istenmiştir. Simülasyonda tanımlanan gölgeleme elemanına ait birçok özellik değiştirilebilmektedir. Değiştirilebilen bu veriler sayesinde güneş kırıcı elemanların sağladığı fayda ve zararların analizi programda ortaya konabilmektedir. Ayrıca saydam yüzey olan camlar da güneş ışınlarının içeriye ulaştıran elemanlardır. Cam özelliklerini iyileştirerek güneş ışınlamalarını daha az oranda içeriye alan cam önerileride enerji etkin iyileştirme alternatifi olarak değerlendirilebilir.



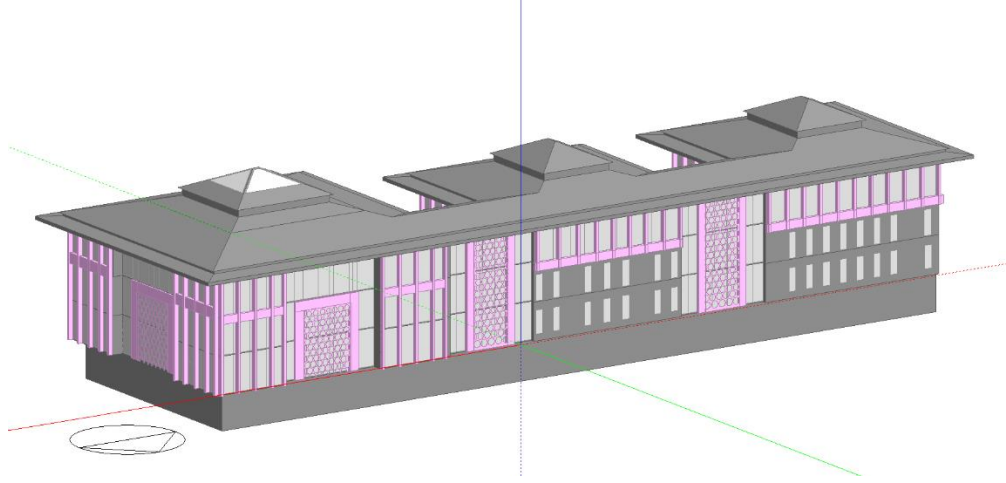
Şekil 4.20:Designbuilder programında güneş kırıcı eleman kesiti ve değişkenleri [DesignBuilder, 2025].



Şekil 4.21: Başiskele Belediye hizmet binası güney cephe designbuilder model görüntüsü.



Şekil 4.22: Başiskele Belediye hizmet binası güney cephe perspektif designbuilder model görüntüsü.



Şekil 4.23: Başiskele Belediye hizmet binası kuzey cephe perspektif designbuilder model görüntüsü.

Mevcut kamu yapısını enerji etkin iyileştirme yapmak ve enerji tüketim değerlerini iyileştirmek amacıyla önerilen alternatif 10 adet senaryo oluşturulmuştur. Senaryo içerikleri aşağıda açıklanmıştır.

Alternatif Senaryo 1 (AS1): Bu senaryo içeriğinde iyileştirme önerisi olarak sabit güneş kırıcı elemanlar kurgulanmıştır. Önerilen özelliklere sahip güneş kırıcılar 15° açı ile yerleştirilmiştir.

Alternatif Senaryo 2 (AS2): Bu senaryo içeriğinde iyileştirme önerisi olarak dinamik güneş kırıcı bir sistem kurgulanmıştır. Sistem iç mekân sıcaklığında belirlenen eşik değere bağlı olarak dinamizm sağlar. Güneş kırıcı sistem iç mekân sıcaklığı eşit değere

ulaştığında sistem harekete geçer. Gölgeleme elemanları aktif olur. Önerilen özelliklere sahip güneş kırıcılar 15° açı ile yerleştirilmiştir.

Alternatif Senaryo 3 (AS4): Bu senaryo içeriğinde iyileştirme önerisi olarak sabit güneş kırıcı elemanlar kurgulanmıştır. Önerilen özelliklere sahip güneş kırıcılar 30° açı ile yerleştirilmiştir.

Alternatif Senaryo 4 (AS4): Bu senaryo içeriğinde iyileştirme önerisi olarak dinamik güneş kırıcı bir sistem kurgulanmıştır. Sistem iç mekân sıcaklığında belirlenen eşik değere bağlı olarak dinamizm sağlar. Güneş kırıcı sistem iç mekân sıcaklığı eşit değere ulaştığında sistem harekete geçer. Gölgeleme elemanları aktif olur. Önerilen özelliklere sahip güneş kırıcılar 30° açı ile yerleştirilmiştir.

Alternatif Senaryo 5 (AS5): Bu senaryo içeriğinde iyileştirme önerisi olarak sabit güneş kırıcı elemanlar kurgulanmıştır. Önerilen özelliklere sahip güneş kırıcılar 45° açı ile yerleştirilmiştir.

Alternatif Senaryo 6 (AS6): Bu senaryo içeriğinde iyileştirme önerisi olarak dinamik güneş kırıcı bir sistem kurgulanmıştır. Sistem iç mekân sıcaklığında belirlenen eşik değere bağlı olarak dinamizm sağlar. Güneş kırıcı sistem iç mekân sıcaklığı eşit değere ulaştığında sistem harekete geçer. Gölgeleme elemanları aktif olur. Önerilen özelliklere sahip güneş kırıcılar 45° açı ile yerleştirilmiştir.

Alternatif Senaryo 5 (AS5): Bu senaryo içeriğinde iyileştirme önerisi olarak sabit güneş kırıcı elemanlar kurgulanmıştır. Önerilen özelliklere sahip güneş kırıcılar 60° açı ile yerleştirilmiştir.

Alternatif Senaryo 8 (AS8): Bu senaryo içeriğinde iyileştirme önerisi olarak sabit güneş kırıcı bir sistem kurgulanmış ve yapının kuzey cephesine hiçbir güneş kırıcı eleman uygulanmamıştır. Önerilen özelliklere sahip güneş kırıcılar 60° açı ile yerleştirilmiştir.

Alternatif Senaryo 9 (AS9): Bu senaryo içeriğinde iyileştirme önerisi olarak dinamik güneş kırıcı bir sistem kurgulanmıştır. Önerilen en uygun güneş kırıcı cephelerde bulunan tüm saydam yüzeylerde uygulanmıştır. Sisteme girilen eşik değer sayesinde güneş kırıcı sistem pencereye gelen güneş ışınımı bu değeri aştığında sistem harekete geçer. Gölgeleme elemanları aktif olur.

Alternatif Senaryo 10 (AS10): Bu senaryo içeriğinde saydam yapı elemanlarının iyileştirilmesi kurgulanmıştır. Güneş ışınlam enerjisini iç ortama daha az geçiren bir cam çeşidi kurgulanmıştır. Mevcut durum ile önerilen saydam elemanların enerji tüketim değerleri değerlendirilmiştir. Aşağıda görülmektedir **Şekil 4.24**.

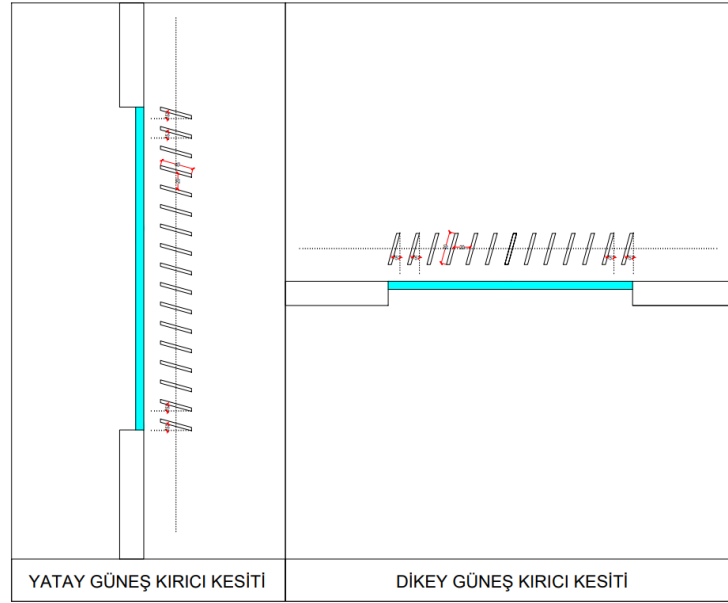
ALTERNATİF İYİLEŞTİRME SENARYOLARI							
Bileşenler	İyileştirme Önerisi	Güneş Kırıcı Açısı	İyileştirme Yönleri	Bileşenler	İyileştirme Önerisi	Güneş Kırıcı Açısı	İyileştirme Yönleri
AS1				AS6			
AS1	Sabit Güneş Kırıcı	15°	Güney Yatay G.K. Doğu- Batı Dikey G.K	AS6	Hareketli Güneş Kırıcı	45°	Güney Yatay G.K. Doğu- Batı Dikey G.K
AS2				AS7			
AS2	Hareketli Güneş Kırıcı	15°	Güney Yatay G.K. Doğu- Batı Dikey G.K	AS7	Sabit Güneş Kırıcı	60°	Kuzey-Güney Yatay G.K. Doğu- Batı Dikey G.K
AS3				AS8			
AS3	Sabit Güneş Kırıcı	30°	Güney Yatay G.K. Doğu- Batı Dikey G.K	AS8	Sabit Güneş Kırıcı	60°	Güney Yatay G.K. Doğu- Batı Dikey G.K
AS4				AS9			
AS4	Hareketli Güneş Kırıcı	30°	Güney Yatay G.K. Doğu- Batı Dikey G.K	AS9	Hareketli Güneş Kırıcı	60°	Güney Yatay G.K. Doğu- Batı Dikey G.K
AS5				AS10			
AS5	Sabit Güneş Kırıcı	45°	Güney Yatay G.K. Doğu- Batı Dikey G.K	AS10	Cam Özellikleri	-	Tüm Saydam Yüzeyler

Şekil 4.24: Alternatif iyileştirme senaryoları.

4.2.3. Öneri Alternatif Enerji Etkin İyileştirme Senaryoları ve Enerji Tüketim Simülasyonları

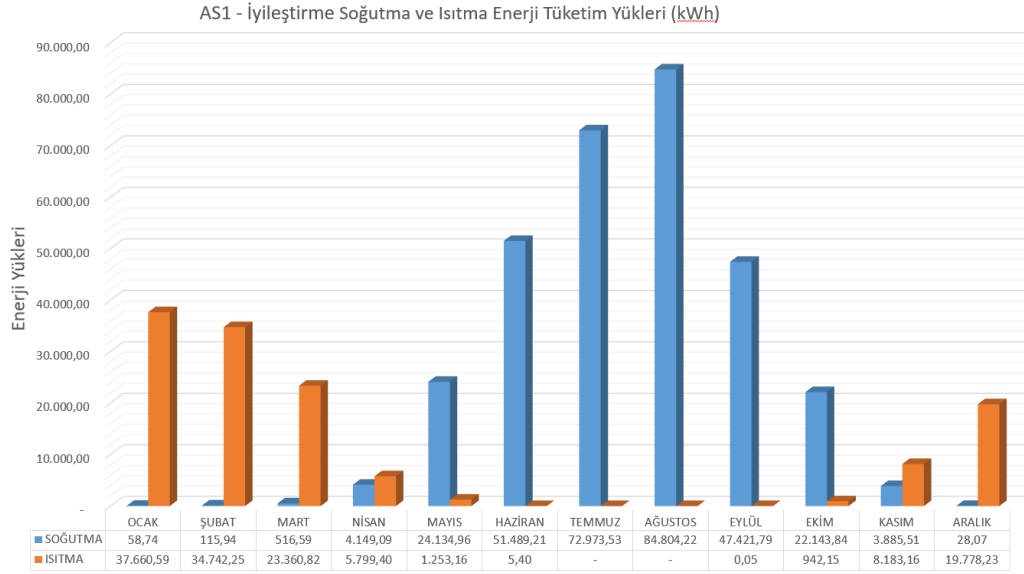
Çalışmanın bu bölümünde kurgulanan 10 adet alternatif enerji etkin iyileştirme senaryolarının senaryo içerikleri ve enerji tüketim değerleri detaylı olarak analiz edilerek listelenmiştir. AS1, AS2, AS3, AS4, AS5, AS6, AS7, AS8, AS9, AS10 olacak şekilde 10 adet alternatif senaryo oluşturulmuştur. Güneş kırıcı sistemleri hareketli ve sabit olarak farklı açı derecelerindeki enerji tüketim değerlerini karşılaştırılmıştır. Ayrıca saydam elemanlarında değiştirilmesinin enerji tüketimine katkısı analiz edilmiştir.

Alternatif Senaryo 1 (AS1): Bu senaryo içeriğinde iyileştirme önerisi olarak sabit güneş kırıcı elemanlar kurgulanmıştır. Yatay güneş kırıcılar güney cephesinde bulunan tüm saydam yüzeylerde uygulanmıştır. Doğu ve batı cephelerinde ise aynı özelliklerde dikey güneş kırıcılar yerleştirilmiştir. Güneş kırıcı kesiti yer almaktadır **Şekil 4.25**. Güneş kontrol elemanları cepheden 0,4 m önde olacak şekilde, 0,4 m genişliğinde ve güneş kırıcı aralıkları 0,2 m olacak şekilde 15 derecelik açı ile güneş kontrol elemanları yerleştirilmiştir.



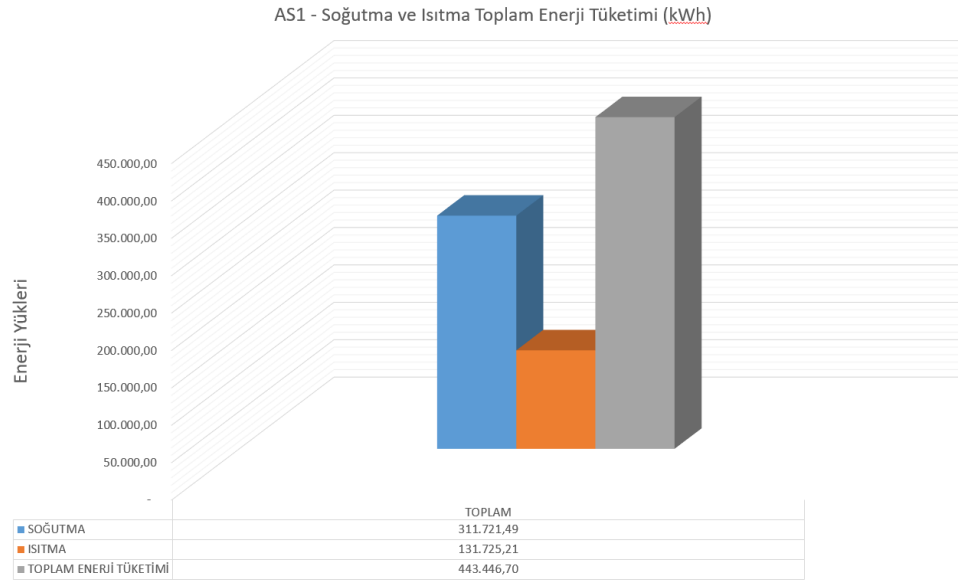
Şekil 4.25: Alternatif sabit güneş kırıcı kesiti.

Yapının yıllık soğutmak için harcadığı toplam enerji 311.721,49 kWh'tir. Isıtma sisteminin yıllık toplam harcadığı enerji miktarı 131.725,21 kWh'tir. Yapının ısıtma ve soğutma sistemleri için harcadığı toplam enerji miktarı 443.446,70 kWh'tir **Şekil 4.27**. Aylara göre yıllık ısıtma, soğutma yükü ve toplam enerji tüketim değerleri yer almaktadır **Şekil 4.26**.



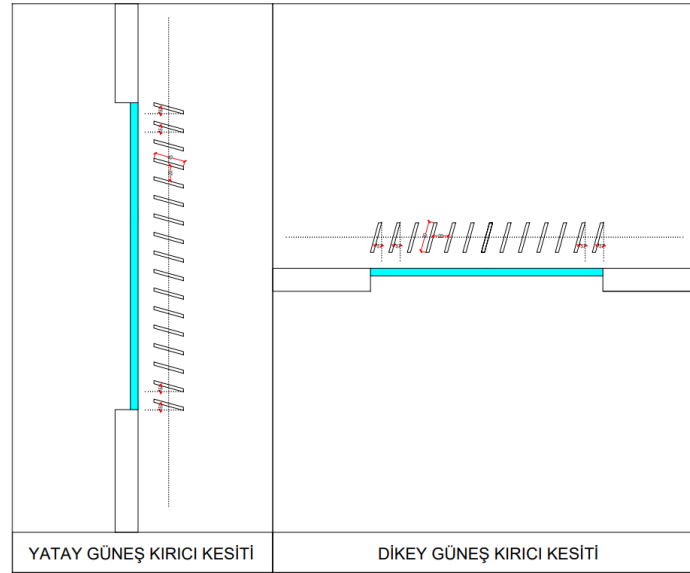
Şekil 4.26: AS1 - Sabit güneş kırıcı ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Mevcut durumla karşılaştırdığımızda ısıtma enerjisinde %2,68 artma, toplam tüketilen enerjide %21,04 azalma, soğutma enerjisinde ise %28,07 bir azalma sağlanmaktadır.



Şekil 4.27: AS1 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Alternatif Senaryo 2 (AS2): Bu senaryoda iyileştirme önerisi olarak dinamik güneş kırıcı elemanlar kurgulanmıştır. . Yatay güneş kırıcılar güney cephesinde bulunan tüm saydam yüzeylerde uygulanmıştır. Doğu ve batı cephelerinde ise aynı özelliklerde dikey güneş kırıcılar yerleştirilmiştir. Saydam yüzeylerden 0,4 m uzakta, 0,4 m genişliğinde ve 0,2 cm aralıklar ile 15 derece açı ile yerleştirilmiş yatay ve dikey güneş kırıcılar 0 derece ile 90 derece açı arasında hareket etmektedir. Güneş kırıcı kesiti yer almaktadır **Şekil 4.28**. Doğu ve batı cephelerinde aynı güneş kırıcı kesiti dikey yönlü olarak uygulanmıştır. Sisteme tanımlanan iç mekân sıcaklığının eşik değeri sayesinde güneş kırıcı sistem iç mekân sıcaklığında bu dereceye ulaştığında sistem harekete geçer. Eşit değer 25°C olarak tanımlanmıştır. Gölgeleme elemanları aktif olur ve güneş kırıcı açıları 0° ve 90° arasında açılıp kapanma hareketi gösterir. Amaç iç mekânın fazla ısı kazançlarını azaltmak, aşırı ısınmayı önlemek ve enerji tüketimini düşürmektir. Sistemde hareketli güneş panellerinde mevsim koşullarına uygun otomasyon sağlanarak kış aylarında (aralık, ocak, şubat ve mart) güneş ışığının yeterli olduğu zamanlarda paneller otomatik olarak güneş ışığını içeri alacak şekilde açık olarak konumlandırılır, böylece pasif ısı kazanımı artırılır ve ısıtma yükü azalır. Gereksiz gölgeleme önlenerek enerji tüketimi optimize edilir.

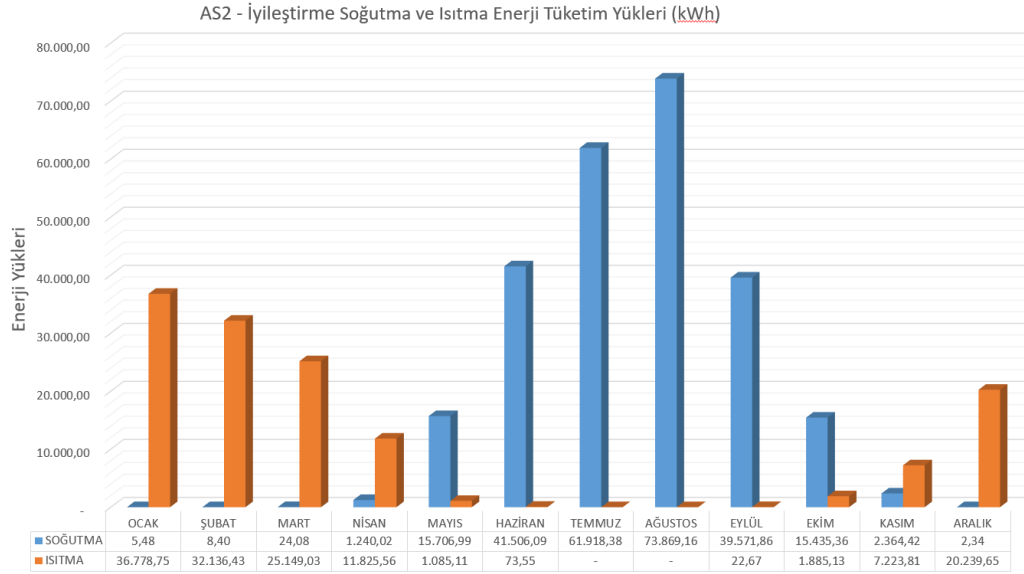


Şekil 4.28: Alternatif dinamik güneş kırıcı kesiti.

Yapının yıllık soğutmak için harcadığı toplam enerji 251.652,58 kWh'tir. Isıtma sisteminin yıllık toplam harcadığı ısıtma enerjisi miktarı 136.419,69 kWh'tir. Yapının

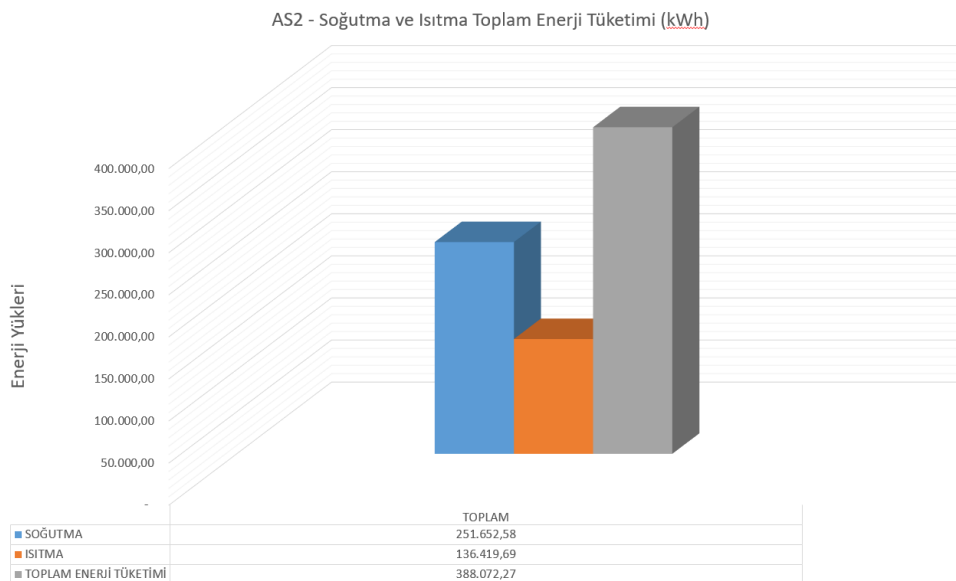
ısıtma ve soğutma sistemleri için harcadığı toplam enerji miktarı 388.072,27 kWh'tir

Şekil 4.30. Aylara göre yıllık ısıtma, soğutma yükü ve toplam enerji tüketim değerleri yer almaktadır **Şekil 4.29.**



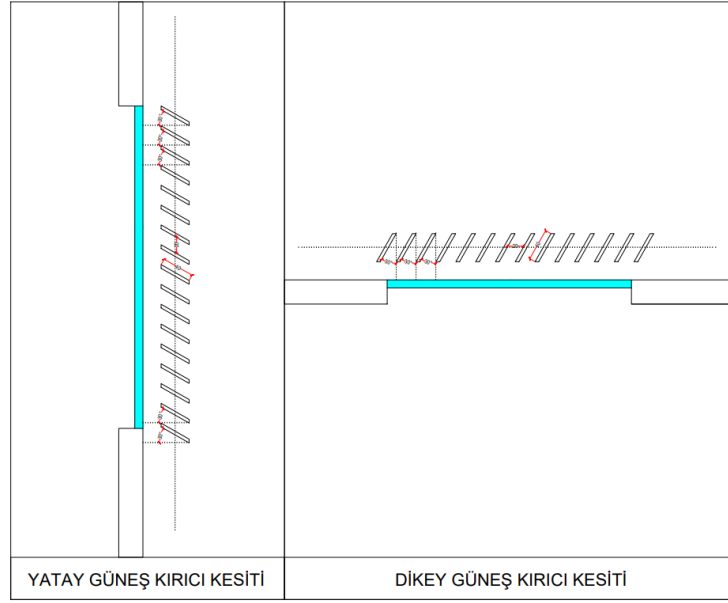
Şekil 4.29: AS2 - Dinamik güneş kırıcı ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Mevcut durumla karşılaştırdığımızda ısıtma enerjisinde %16,23 artma, toplam tüketilen enerjide enerjide %28,64 azalma, soğutma enerjisinde ise %41,93 bir azalma sağlanmaktadır.



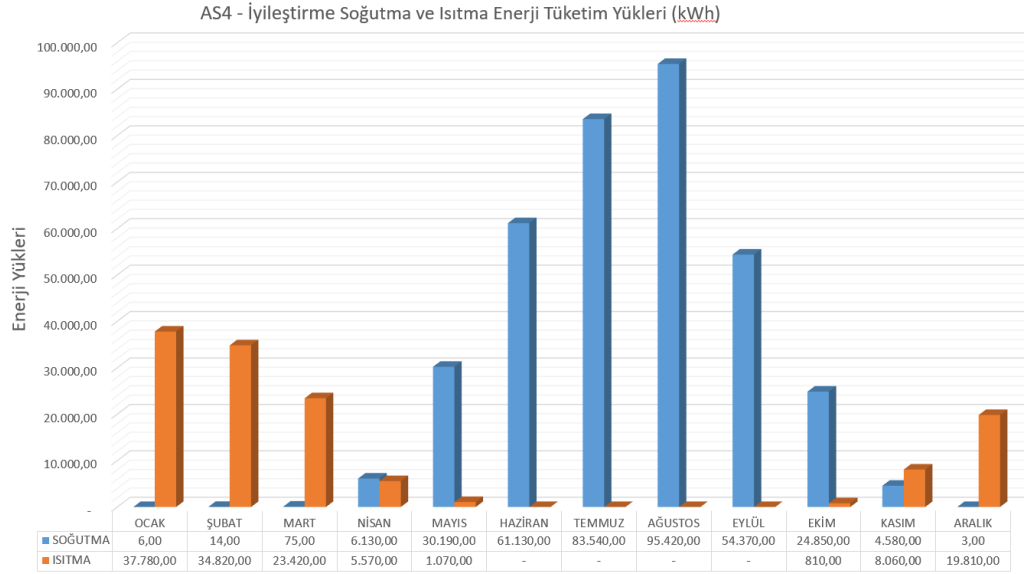
Şekil 4.30: AS2 - Dinamik güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Alternatif Senaryo 3 (AS3): Bu senaryo içeriğinde iyileştirme önerisi olarak sabit güneş kırıcı elemanlar kurgulanmıştır. Yatay güneş kırıcılar güney cephesinde bulunan tüm saydam yüzeylerde uygulanmıştır. Doğu ve batı cephelerinde ise aynı özelliklerde dikey güneş kırıcılar yerleştirilmiştir. Güneş kırıcı kesiti yer almaktadır **Şekil 4.31**. Yatay güneş kontrol elemanları cepheden 0,4 m önde olacak şekilde, 0,4 m genişliğinde ve güneş kırıcı aralıkları 0,2 m olacak şekilde 30 derecelik açı ile yatay güneş kontrol elemanları yerleştirilmiştir.



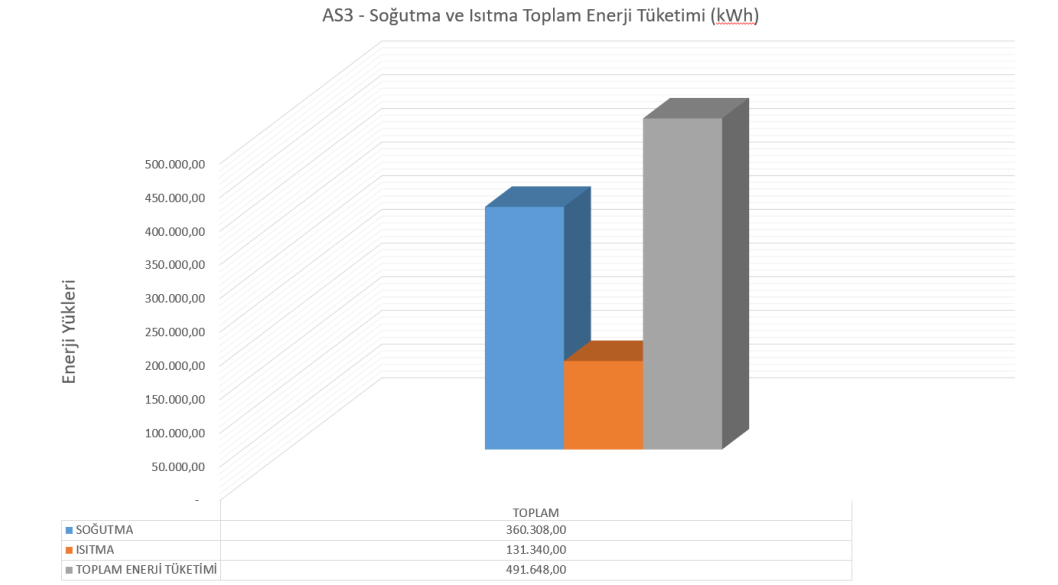
Şekil 4.31: Alternatif sabit güneş kırıcı kesiti.

Yapının yıllık soğutmak için harcadığı toplam enerji 360.308 kWh'tir. Isıtma sisteminin yıllık toplam harcadığı enerji miktarı 131.340 kWh'tir. Yapının ısıtma ve soğutma sistemleri için harcadığı toplam enerji miktarı 491.648 kWh'tir **Şekil 4.33**. Aylara göre yıllık ısıtma, soğutma yükü ve toplam enerji tüketim değerleri yer almaktadır **Şekil 4.32**.



Şekil 4.32: AS3 - Sabit güneş kırıcı ile iyileştirme ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Mevcut durumla karşılaştırdığımızda ısıtma enerjisinde %2,38 artma, toplam tüketilen enerjide enerjide %12,46 azalma, soğutma enerjisinde ise %16,86 bir azalma sağlanmaktadır.



Şekil 4.33: AS3 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

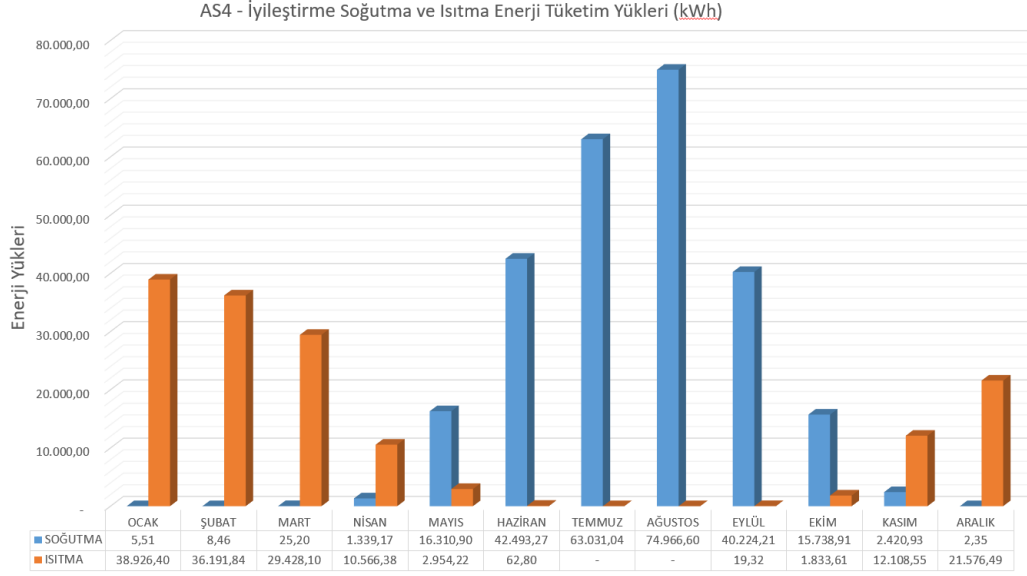
Alternatif Senaryo 4 (AS4): Bu senaryoda iyileştirme önerisi olarak dinamik güneş kırıcı elemanlar kurgulanmıştır. . Yatay güneş kırıcılar güney cephesinde bulunan tüm saydam yüzeylerde uygulanmıştır. Doğu ve batı cephelerinde ise aynı özelliklerde dikey güneş kırıcılar yerleştirilmiştir. Saydam yüzeylerden 0,4 m uzakta, 0,4 m genişliğinde ve 0,2 cm aralıklar ile 30 derece açı ile yerleştirilmiş yatay güneş kırıcılar 0 derece ile 90 derece açı arasında hareket etmektedir. Güneş kırıcı kesiti yer almaktadır **Şekil 4.34**. Doğu ve batı cephelerinde aynı güneş kırıcı kesiti dikey yönlü olarak uygulanmıştır. Sisteme tanımlanan iç mekân sıcaklığının eşik değeri sayesinde güneş kırıcı sistem iç mekân sıcaklığında bu dereceye ulaştığında sistem harekete geçer. Eşit değer 25°C olarak tanımlanmıştır. Gölgeleme elemanları aktif olur ve güneş kırıcı açıları 0° ve 90° arasında açılıp kapanma hareketi gösterir. Amaç iç mekânın fazla ısı kazançlarını azaltmak, aşırı ısınmayı önlemek ve enerji tüketimini düşürmektir. Sistemde hareketli güneş panellerinde mevsim koşullarına uygun otomasyon sağlanarak kış aylarında (aralık, ocak, şubat ve mart) güneş ışığının yeterli olduğu zamanlarda paneller otomatik olarak güneş ışığını içeri alacak şekilde açık olarak konumlandırılır, böylece pasif ısı kazanımı artırılır ve ısıtma yükü azalır. Gereksiz gölgeleme önlenerek enerji tüketimi optimize edilir.



Şekil 4.34: Alternatif dinamik güneş kırıcı kesiti.

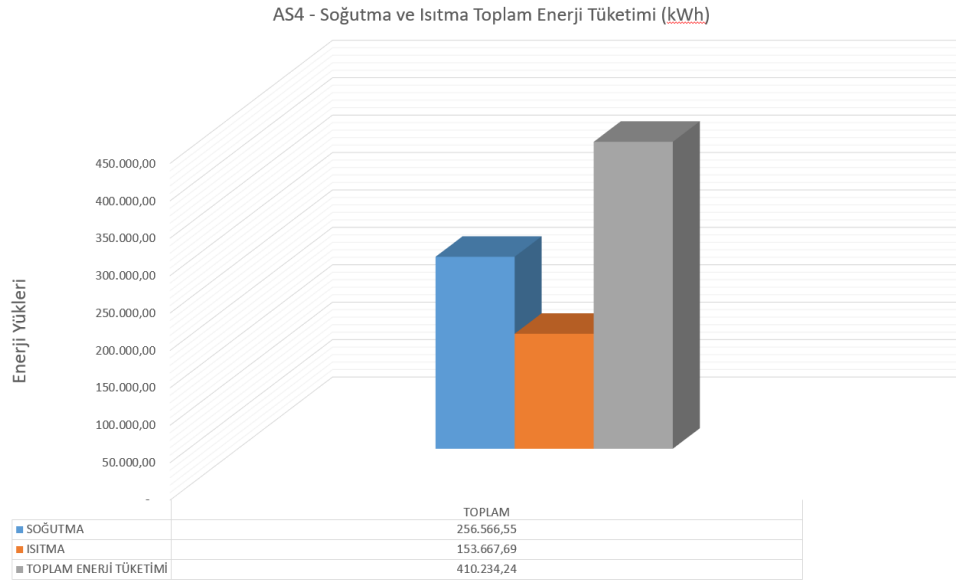
Yapının yıllık soğutmak için harcadığı toplam enerji 256.566,55 kWh'tir. Yapının ısıtma sisteminin yıllık harcadığı enerji tüketim miktarı 153.667,69 kWh'tir **Şekil**

4.36. Yapının ısıtma ve soğutma sistemleri için harcadığı toplam enerji miktarı ise 410.234,24 kWh'tir. Aylara göre yıllık ısıtma ve soğutma değerleri yer almaktadır
Şekil 4.35.



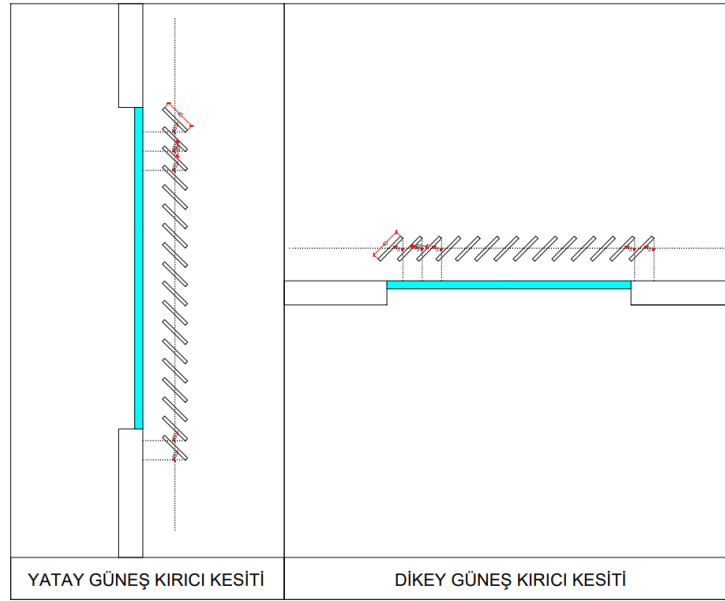
Şekil 4.35: AS4 - Sabit güneş kırıcı ile iyileştirme ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Mevcut durumla karşılaştırdığımızda ısıtma enerjisinde %37,13 artma, soğutma enerjisinde %40,80 bir azalma ve toplam enerji yükünde %23,00 bir iyileşme sağlanmaktadır.



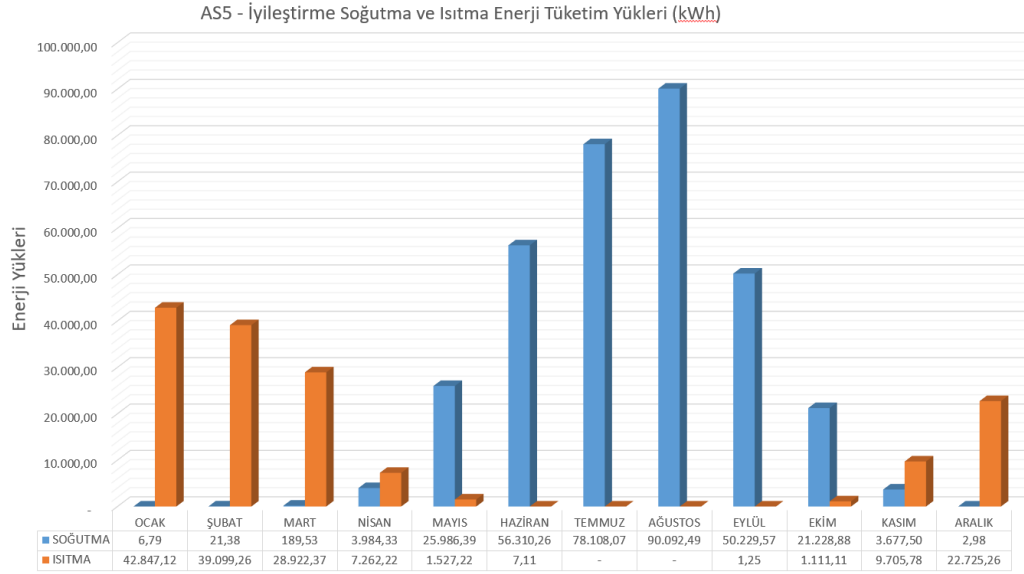
Şekil 4.36: AS4 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Alternatif Senaryo 5 (AS5): Bu senaryo içeriğinde iyileştirme önerisi olarak sabit güneş kırıcı elemanlar kurgulanmıştır. Yatay güneş kırıcılar güney cephesinde bulunan tüm saydam yüzeylerde uygulanmıştır. Doğu ve batı cephelerinde ise aynı özelliklerde dikey güneş kırıcılar yerleştirilmiştir. Güneş kırıcı kesiti yer almaktadır **Şekil 4.37**. Yatay güneş kontrol elemanları cepheden 0,4 m önde olacak şekilde, 0,4 m genişliğinde ve güneş kırıcı aralıkları 0,2 m olacak şekilde 45 derecelik açı ile yatay güneş kontrol elemanları yerleştirilmiştir.



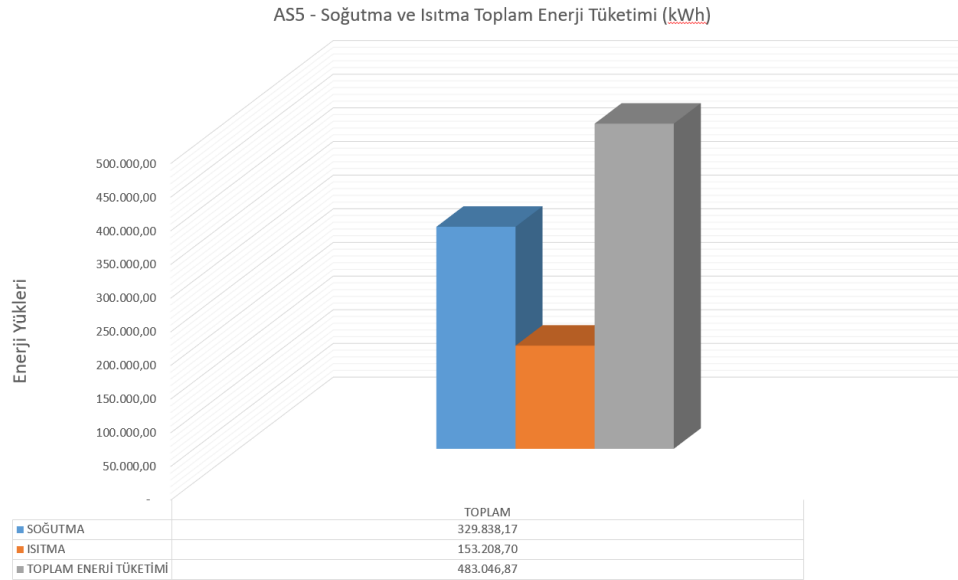
Şekil 4.37: Alternatif sabit güneş kırıcı kesiti.

Yapının yıllık soğutmak için harcadığı toplam enerji 329.838,17 kWh'tir. Isıtma sisteminin yıllık toplam harcadığı enerji miktarı 153.208,70 kWh'tir. Yapının ısıtma ve soğutma sistemleri için harcadığı toplam enerji miktarı 483.046,87 kWh'tir **Şekil 4.39**. Aylara göre yıllık ısıtma, soğutma yükü ve toplam enerji tüketim değerleri yer almaktadır **Şekil 4.38**.



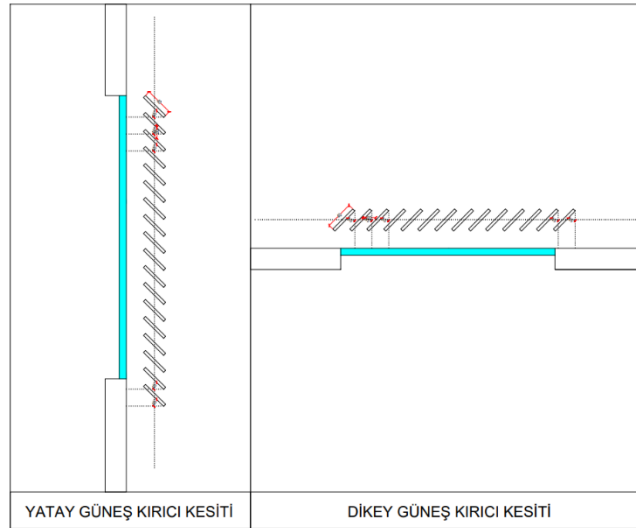
Şekil 4.38: AS5 - Sabit güneş kırıcı ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Mevcut durumla karşılaştırdığımızda ısıtma enerjisinde %19,42 artma, soğutma enerjisinde %23,89, toplam tüketilen enerjide %14 bir azalma sağlanmaktadır.



Şekil 4.39: AS5 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Alternatif Senaryo 6 (AS6): Bu senaryoda iyileştirme önerisi olarak dinamik güneş kırıcı elemanlar kurgulanmıştır. Yatay güneş kırıcılar güney cephesinde bulunan tüm saydam yüzeylerde uygulanmıştır. Doğu ve batı cephelerinde ise aynı özelliklerde dikey güneş kırıcılar yerleştirilmiştir. Saydam yüzeylerden 0,4 m uzakta, 0,4 m genişliğinde ve 0,2 cm aralıklar ile 45 derece açı ile yerleştirilmiş yatay ve dikey güneş kırıcılar 0 derece ile 90 derece açı arasında hareket etmektedir. Güneş kırıcı kesiti yer almaktadır **Şekil 4.40**. Sisteme tanımlanan iç mekân sıcaklığının eşik değeri sayesinde güneş kırıcı sistem iç mekân sıcaklığında bu dereceye ulaştığında sistem harekete geçer. Eşit değer 25°C olarak tanımlanmıştır. Gölgeleme elemanları aktif olur ve güneş kırıcı açıları 0° ve 90° arasında açılıp kapanma hareketi gösterir. Amaç iç mekânın fazla ısı kazançlarını azaltmak, aşırı ısınmayı önlemek ve enerji tüketimini düşürmektir. Sistemde hareketli güneş panellerinde mevsim koşullarına uygun otomasyon sağlanarak kış aylarında (aralık, ocak, şubat ve mart) güneş ışığının yeterli olduğu zamanlarda paneller otomatik olarak güneş ışığını içeri alacak şekilde açık olarak konumlandırılır, böylece pasif ısı kazanımı artırılır ve ısıtma yükü azalır. Gereksiz gölgeleme önlenerek enerji tüketimi optimize edilir.



Şekil 4.40: Alternatif dinamik güneş kırıcı kesiti.

Yapının yıllık soğutmak için harcadığı toplam enerji 252.190,09 kWh'tir. Yapının ısıtma sisteminin yıllık harcadığı enerji tüketim miktarı 154.769,48 kWh'tir Yapının ısıtma ve soğutma sistemleri için harcadığı toplam enerji miktarı ise 429.310,21 kWh'tir **Şekil 4.42**. Aylara göre yıllık ısıtma, soğutma yükü ve toplam enerji tüketim

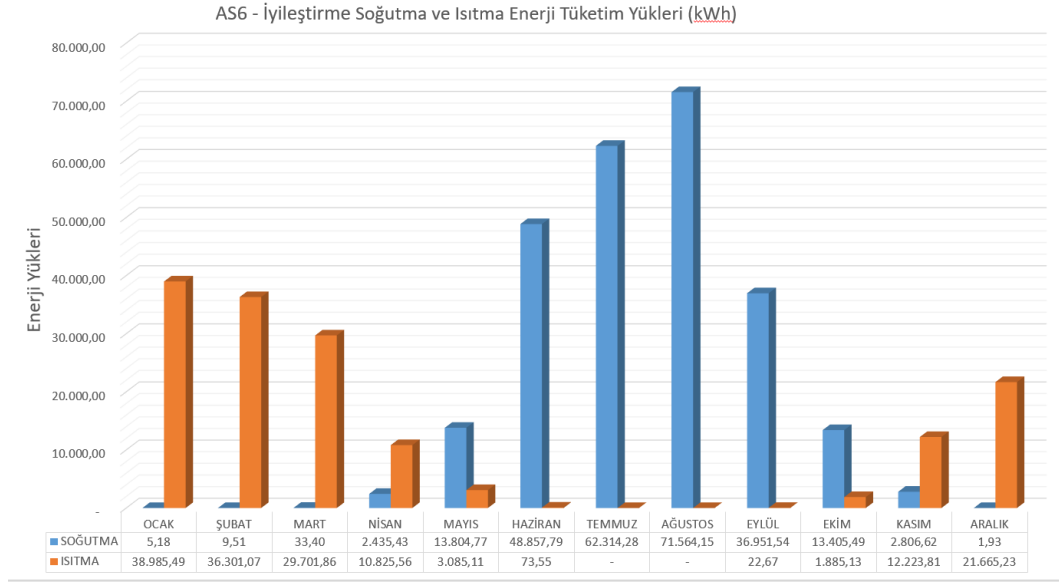
değerleri

yer

almaktadır

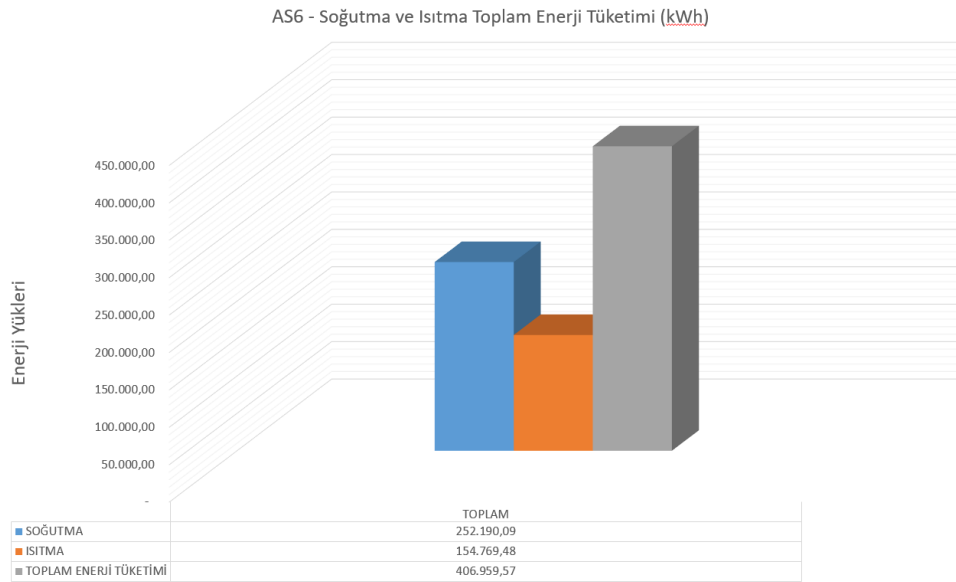
Şekil

4.41.



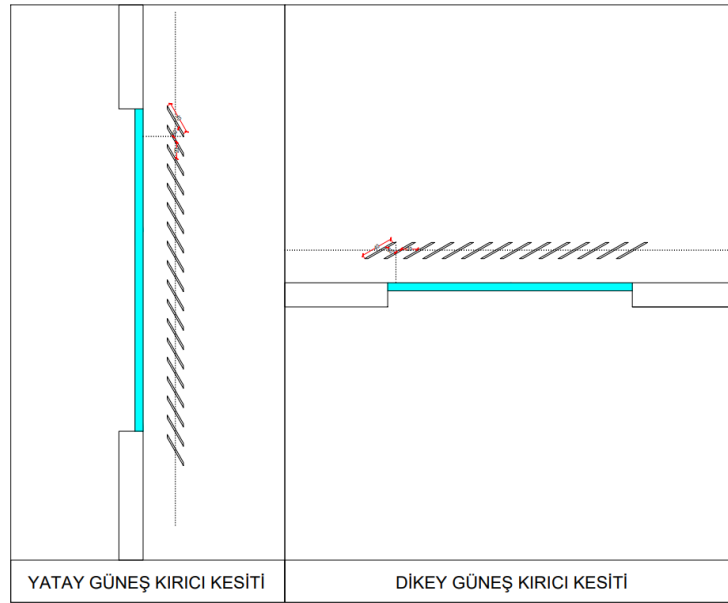
Şekil 4.41: AS6 - Sabit güneş kırıcı ile iyileştirme ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Mevcut durumla karşılaştırdığımızda ısıtma enerjisinde %38,06 artma, soğutma enerjisinde %41,81 bir azalma ve toplam enerji yükünde %23,56 bir iyileşme sağlanmaktadır.



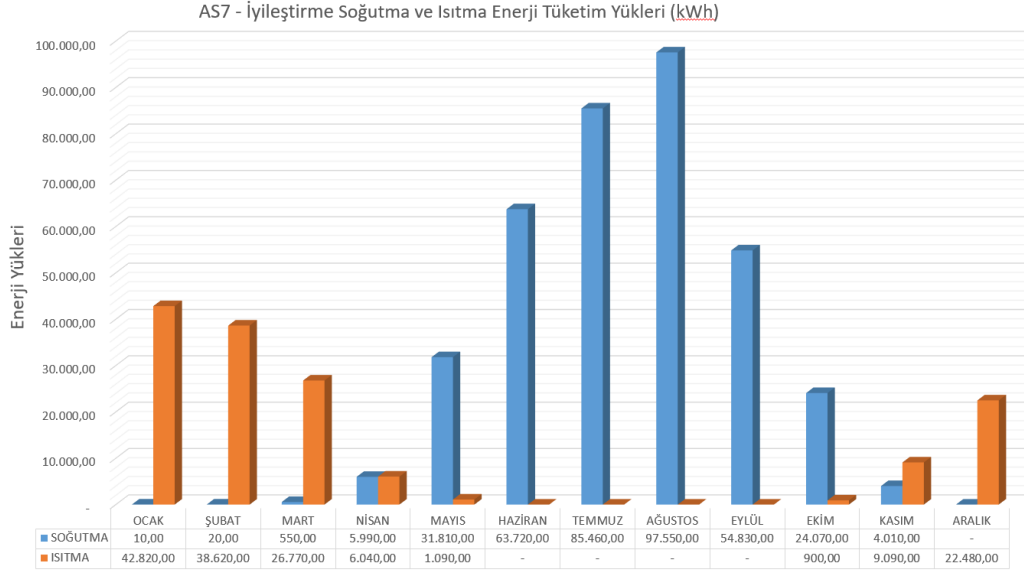
Şekil 4.42: AS6 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Alternatif Senaryo 7 (AS7): Bu senaryo içeriğinde iyileştirme önerisi olarak sabit güneş kırıcı elemanlar kurgulanmıştır. Güneş kırıcı kesiti yer almaktadır **Şekil 4.43**. Yatay güneş kırıcılar kuzey ve güney cephesinde bulunan tüm saydam yüzeylerde uygulanmıştır. Doğu ve batı cephelerinde ise aynı özelliklerde dikey güneş kırıcılar yerleştirilmiştir. Yatay ve dikey güneş kontrol elemanları cepheden 0,4 m önde olacak şekilde, 0,4 m genişliğinde ve güneş kırıcı aralıkları 0,2 m olacak şekilde 60 derecelik açı ile güneş kontrol elemanları yerleştirilmiştir. Doğu, batı, kuzey ve güney cephelerinde aynı özelliklerde güneş kırıcılar yerleştirilmiştir.



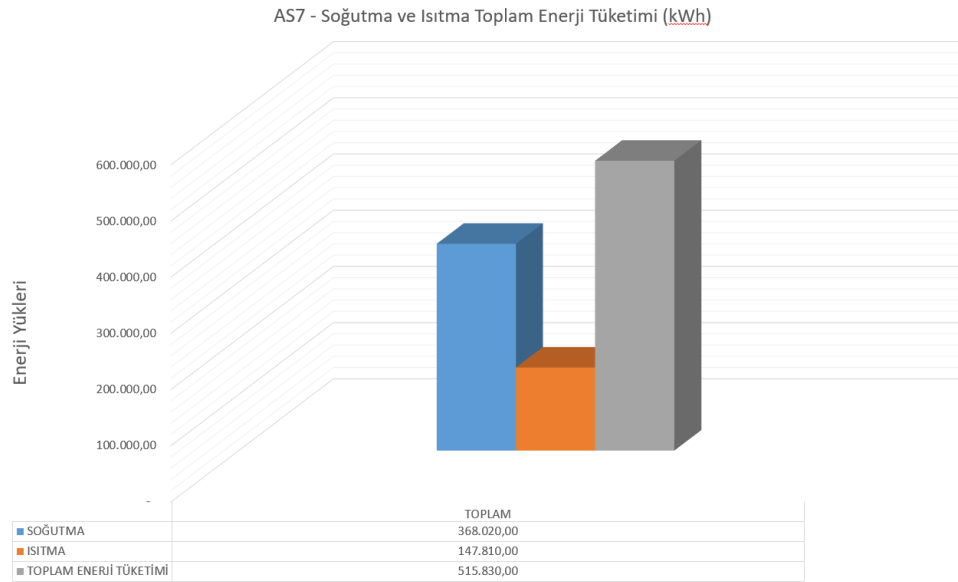
Şekil 4.43: Alternatif sabit güneş kırıcı kesiti.

Yapının yıllık soğutmak için harcadığı toplam enerji 368.020,00 kWh'tir. Isıtma sisteminin yıllık toplam harcadığı enerji miktarı 147.810,00 kWh'tir. Yapının ısıtma ve soğutma sistemleri için harcadığı toplam enerji miktarı 515.830,00 kWh'tir **Şekil 4.45**. Aylara göre yıllık ısıtma, soğutma yükü ve toplam enerji tüketim değerleri yer almaktadır **Şekil 4.44**.



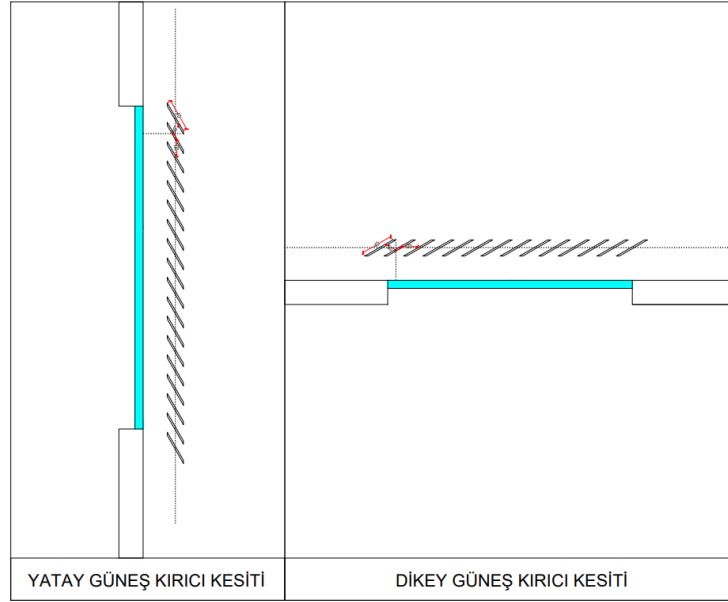
Şekil 4.44: AS7 - Sabit güneş kırıcı ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Mevcut durumla karşılaştırdığımızda ısıtma enerjisinde %15,22 artma, toplam tüketilen enerjide %8,16 azalma, soğutma enerjisinde ise %15,08 bir azalma sağlanmaktadır.



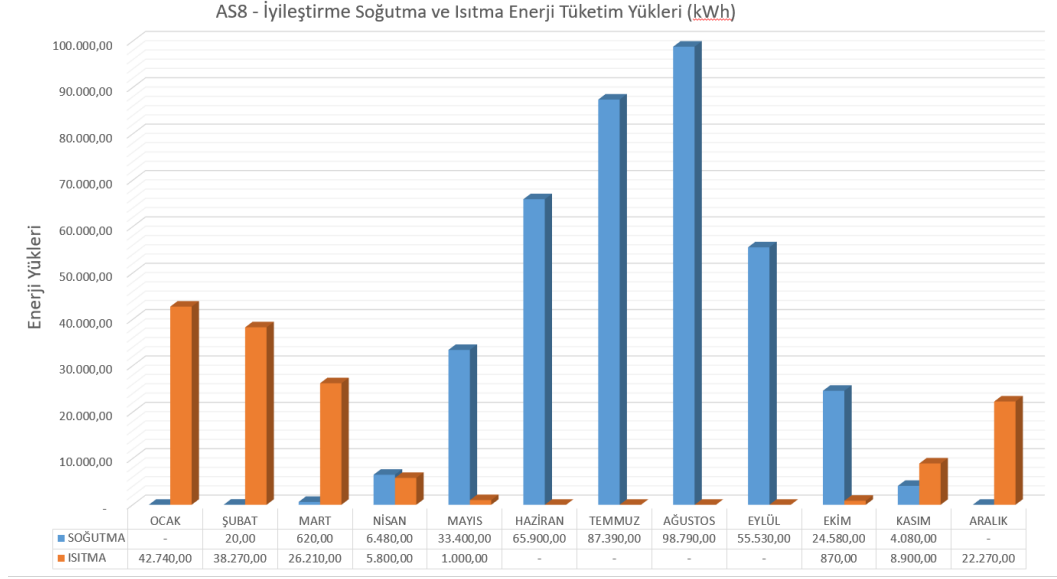
Şekil 4.45: AS7 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Alternatif Senaryo 8 (AS8): Bu senaryo içeriğinde iyileştirme önerisi olarak sabit güneş kırıcı elemanlar kurgulanmıştır. Güneş kırıcı kesiti yer almaktadır **Şekil 4.46**. Yatay güneş kırıcılar güney cephesinde bulunan tüm saydam yüzeylerde uygulanmıştır. Doğu ve batı cephelerinde ise aynı özelliklerde dikey güneş kırıcılar yerleştirilmiştir. Yatay güneş kontrol elemanları cepheden 0,4 m önde olacak şekilde, 0,4 m genişliğinde ve güneş kırıcı aralıkları 0,2 m olacak şekilde 60 derecelik açı ile güneş kontrol elemanları yerleştirilmiştir. Doğu, batı ve güney cephelerinde aynı özelliklerde güneş kırıcılar yerleştirilmiştir. Kuzey cephesi yansıyan güneş ışınlarını alan cephe olduğu için bu cephedeki saydam yüzeylere kırıcı uygulaması yapılmadığı durumu kurgulanmıştır.



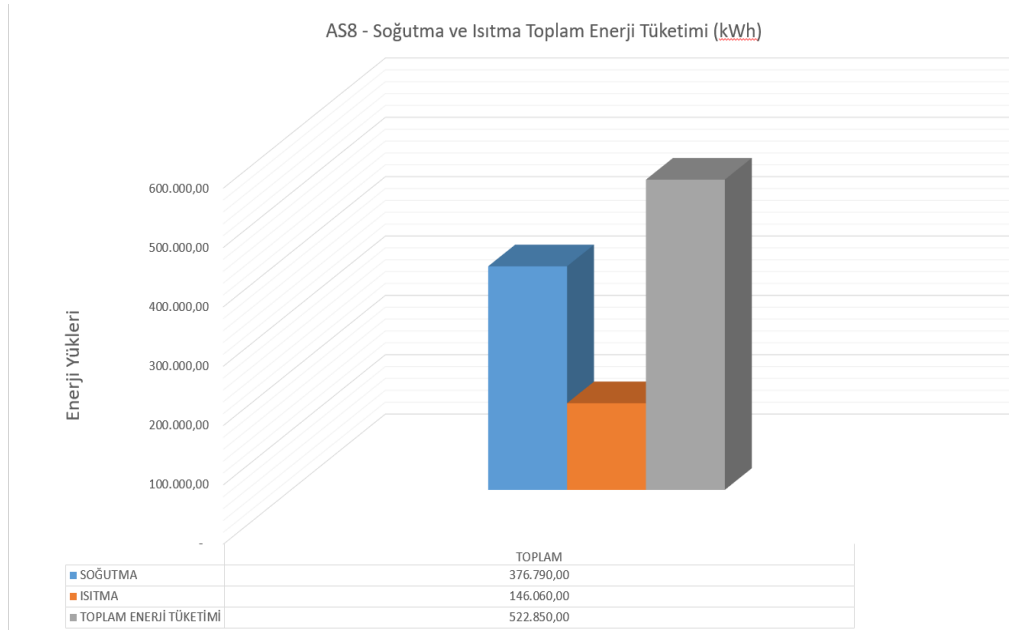
Şekil 4.46: Alternatif sabit güneş kırıcı kesiti.

Yapının yıllık soğutmak için harcadığı toplam enerji 376.790,00 kWh'tir. Isıtma sisteminin yıllık toplam harcadığı enerji miktarı 146.060,00 kWh'tir. Yapının ısıtma ve soğutma sistemleri için harcadığı toplam enerji miktarı 522.850,00 kWh'tir **Şekil 4.48**. Aylara göre yıllık ısıtma, soğutma yükü ve toplam enerji tüketim değerleri yer almaktadır **Şekil 4.47**.



Şekil 4.47: AS8 - Sabit güneş kırıcı ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

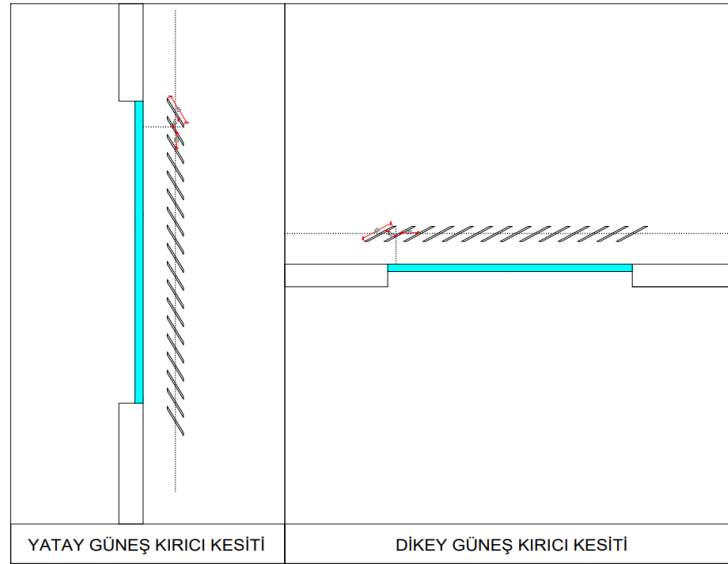
Mevcut durumla karşılaştırdığımızda ısıtma enerjisinde %13,85 artma, toplam tüketilen enerjide %6,91 azalma, soğutma enerjisinde ise %13,05 bir azalma sağlanmaktadır.



Şekil 4.48: AS8 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

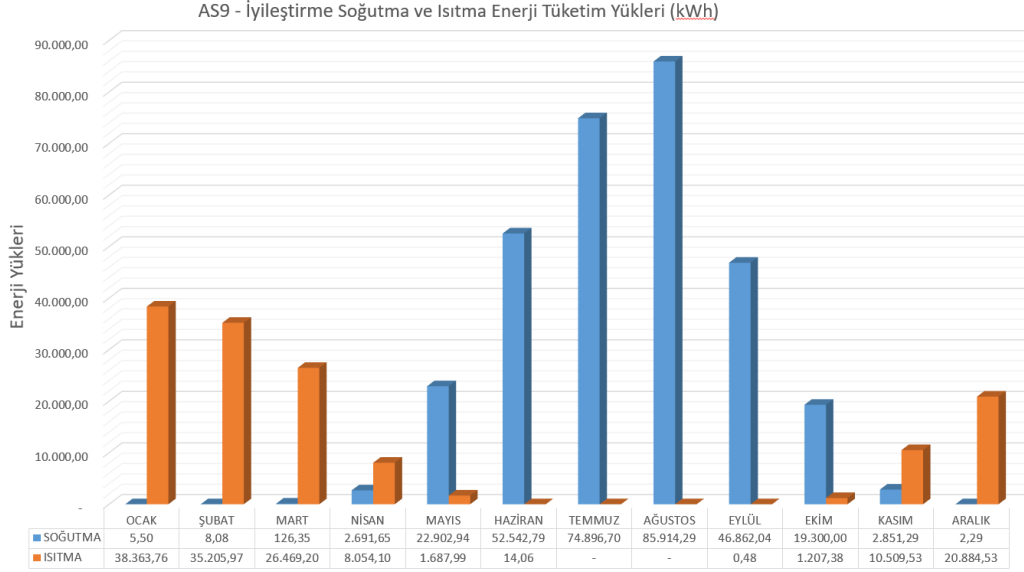
Alternatif Senaryo 9 (AS9): Bu senaryoda iyileştirme önerisi olarak dinamik güneş kırıcı elemanlar kurgulanmıştır. Önerilen güneş kırıcı tüm cephelerde bulunan tüm

saydam yüzeylerde uygulanmıştır **Şekil 4.49**. Yatay güneş kırıncılar güney ve kuzey cephesinde bulunan tüm saydam yüzeylerde uygulanmıştır. Doğu ve batı cephelerinde ise aynı özelliklerde dikey güneş kırıncılar yerleştirilmiştir. Saydam alanın yüzeyinde yatay olarak 0,2 m aralıklı ve 0,4 m genişliğinde 60 derece açı ile güneş kontrol elemanları yerleştirilmiştir. Önerilen en uygun güneş kırıncı cephelerde bulunan tüm saydam yüzeylerde uygulanmıştır. Sisteme girilen eşik değeri sayesinde güneş kırıncı sistem pencereye gelen güneş ışınımı bu değeri aştığında sistem harekete geçer. Gölgeleme elemanları aktif olur. Eğer pencere yüzeyine gelen güneş ışınımı (irradiance) değeri 200 W/m²'yi aşarsa, gölgelik sistemi aktif olur. Eğer ışınım 200 W/m²'nin altındaysa, gölgelik devre dışıdır ve güneş ışığı içeri girer. İç mekân ısı kazançlarını azaltmak, aşırı ısınmayı önlemek ve enerji tüketimini düşürmektir. Sistemde hareketli güneş panellerinde mevsim koşullarına uygun otomasyon sağlanarak kış aylarında (aralık, ocak, şubat ve mart) güneş ışığının yeterli olduğu zamanlarda paneller otomatik olarak güneş ışığını içeri alacak şekilde açık olarak konumlandırılır, böylece pasif ısı kazanımı artırılır ve ısıtma yükü azalır. Gereksiz gölgeleme önlenerek enerji tüketimi optimize edilir.



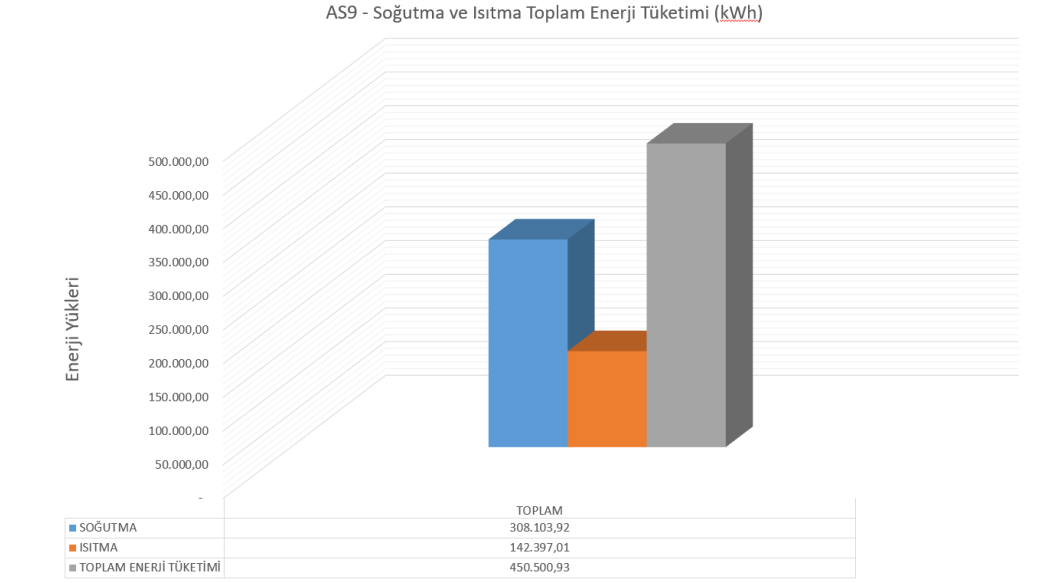
Şekil 4.49: Alternatif dinamik güneş kırıncı kesiti.

Yapının yıllık toplam soğutmak için harcadığı toplam enerji 308.103,92 kWh'tir. Isıtma sisteminin yıllık harcadığı enerji miktarı 142.397,01 kWh'tir **Şekil 4.51**. Yapının ısıtma ve soğutma sistemleri için harcadığı toplam enerji miktarı 450.500,93 kWh'tir **Şekil 4.50**.



Şekil 4.50: AS9 - Sabit güneş kırıcı ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Mevcut durumla karşılaştırdığımızda ısıtma enerjisinde %11,00 artma, toplam enerji yükünde %19,78 azalma, soğutma enerjisinde ise %28,90 bir azalma sağlanmaktadır.



Şekil 4.51: AS9 - Sabit güneş kırıcı toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

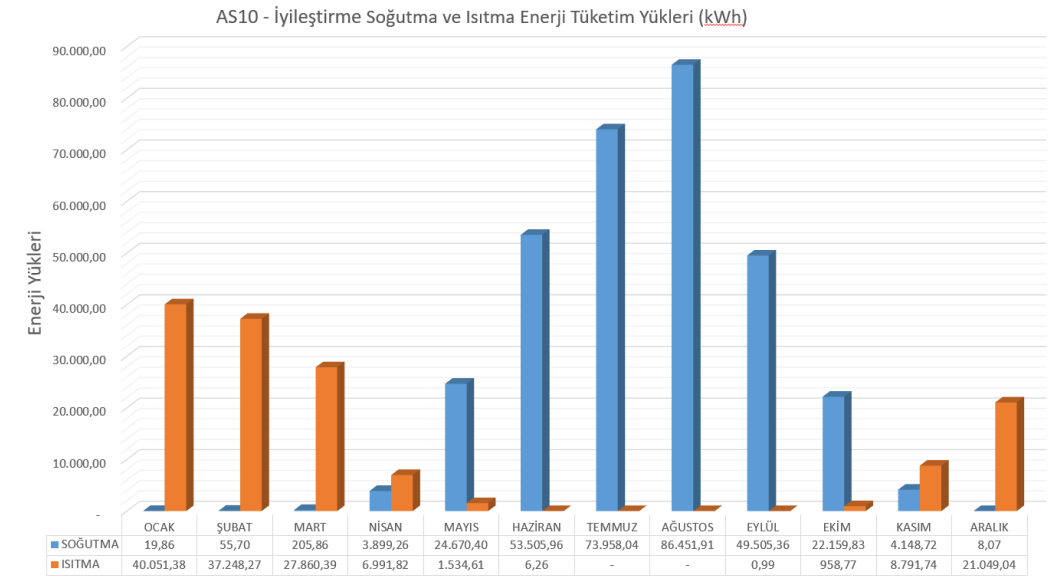
Alternatif Senaryo 10 (AS10): Bu senaryo içeriğinde saydam yapı elemanlarının iyileştirilmesi kurgulanmıştır. Mevcut durum ile değişen saydam elemanların enerji tüketim değerleri değerlendirilmiştir. Öneri cam olarak 8mm temperli üzeri solar low-e kaplamalı arası 20 mm kuru hava dolgulu iç katman da 4mm + 0,60 PVB + 4mm

cam lamine cam önerilmiştir. Camın ısı iletkenlik katsayısı 1.724 U (W/M²k) ve SHGC değeri 0,215 dir.

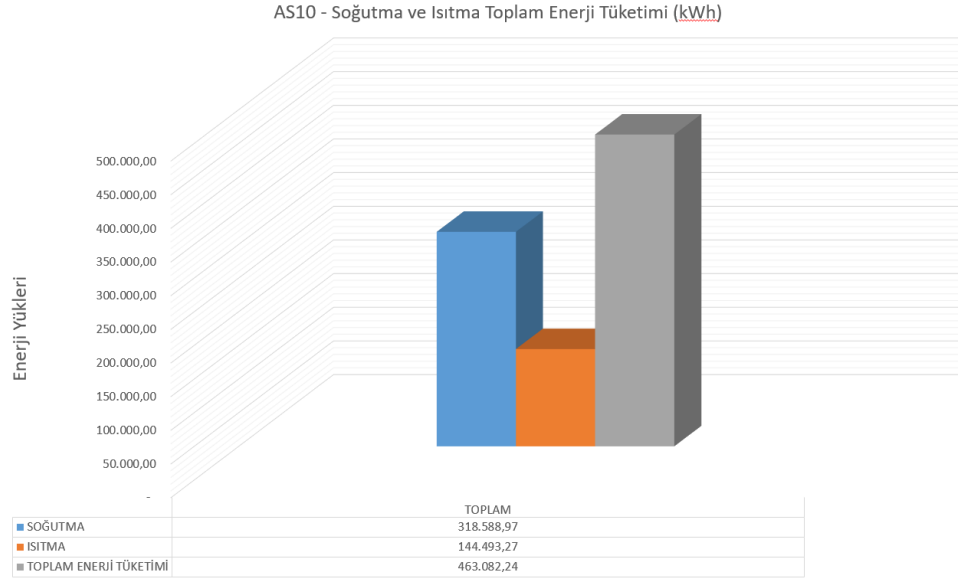
Tablo 4.10: Öneri saydam yüzey termofiziksel özellikleri.

Bileşenler	Yapı Elemanları	Kalınlık d(m)	Isı İletkenlik Katsayısı U(W/M ² k)	Totel Solar Transmission(SHGC)
CAM KATMAN				
Cam	TEKNOGLASS SA Low-e Evergreen 8mm	0.008	1.724	0.215
	Hava Boşluğu	0.02		
	Clear Lamine 4mm+0,60 PVB+ 4mm Glass	0.008		

Yapının yıllık soğutmak için harcadığı toplam enerji 463.082,23 kWh'tir. Isıtma sisteminin yıllık toplam harcadığı enerji miktarı 144.493,27 kWh'tir. Yapının ısıtma ve soğutma sistemleri için harcadığı toplam enerji miktarı 318.588,97 kWh'tir **Şekil 4.53**. Aylara göre yıllık ısıtma ve soğutma değerleri yer almaktadır **Şekil 4.52**. Mevcut durumla karşılaştırdığımızda ısıtma enerjisinde %12,61 artma, toplam tüketilen enerjide %17,53 azalma, soğutma enerjisinde ise %26,48 bir azalma sağlanmaktadır.



Şekil 4.52: AS10 - Sırdam yüzeylerde iyileştirme ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

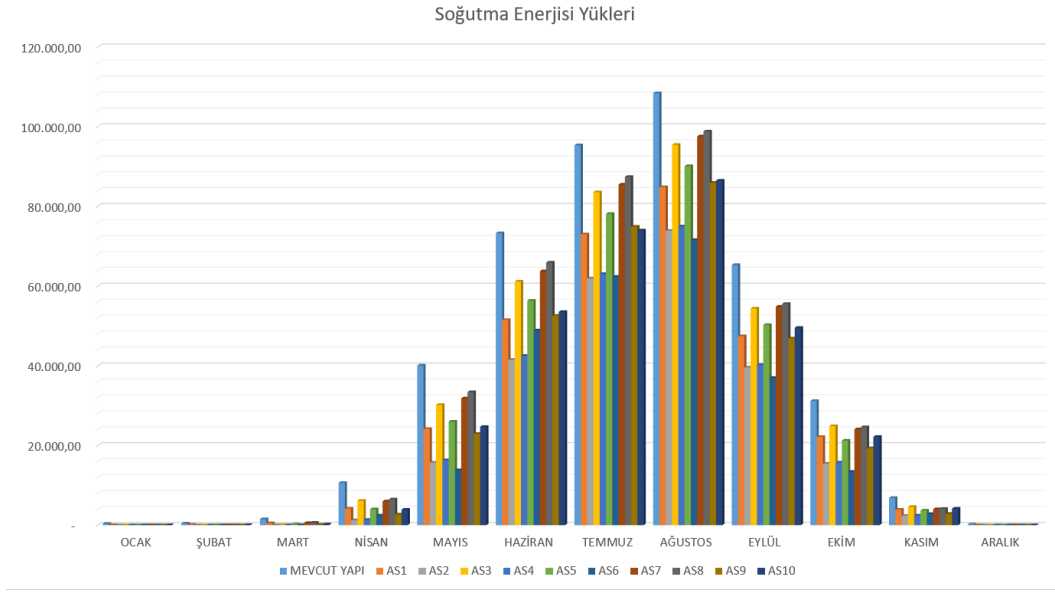


Şekil 4.53: AS10 - Saydam yüzeylerde iyileştirme toplam ısıtma ve soğutma yükleri(kWh).

Mevcut kamu yapılarında, dinamik özelliklere sahip hareketli güneş kırıcı sistemlerin ve iyileştirilmiş güneş ışıınımı özelliklerine sahip cam entegrasyonu, yapının mevcut enerji performansına kıyasla yıllık enerji tüketiminde anlamlı bir azalma sağladığı ortaya çıkmıştır.

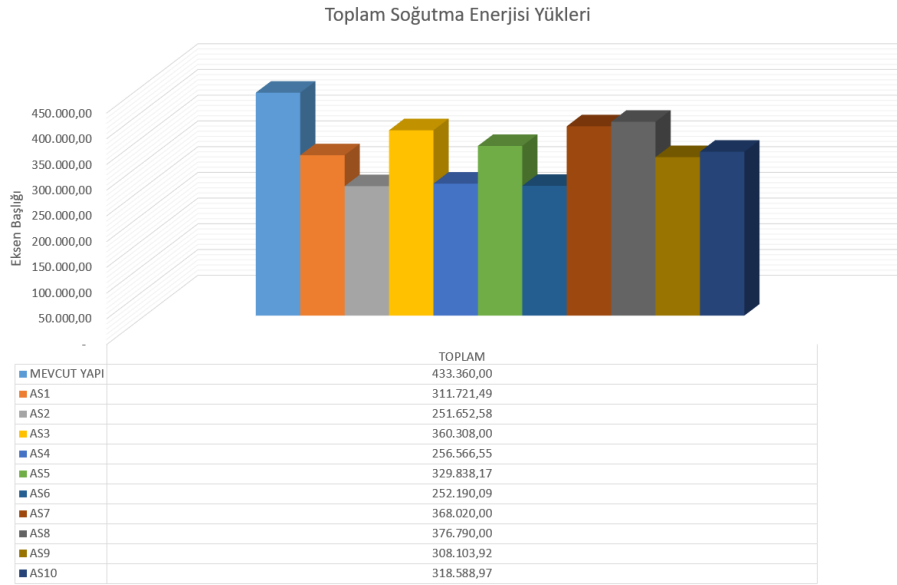
4.2.4. Alternatif Senaryoların Karşılaştırmalı Enerji Tüketim Analizleri

Kamu yapısının simülasyon sonucunda ortaya çıkarılan enerji tüketim değerleri, mevcut durum karşısındaki önerilen enerji etkin iyileştirme stratejileri ile karşılaştırmalı olarak performansları analiz edilmiştir. Grafiklerde soğutma yükleri, ısıtma yüklerinin aylara oranları ve toplam değerleri yer almaktadır. Elde edilen verilere göre yapılan iyileştirme senaryoları toplam enerjide mevcut duruma göre belirgin bir azalma sağlamaktadır. Yapılan tüm iyileştirme çalışmaları toplam enerji tüketimini ve soğutma enerjisi yükünü azaltacak performanslar ortaya koymuştur. Performans sonuçları enerji tüketiminden kazanç oluşturmaktadır. Isıtma, soğutma ve toplam (soğutma ve ısıtma) enerji yükleri alternatif senaryolar üzerinden analiz edilmiştir.

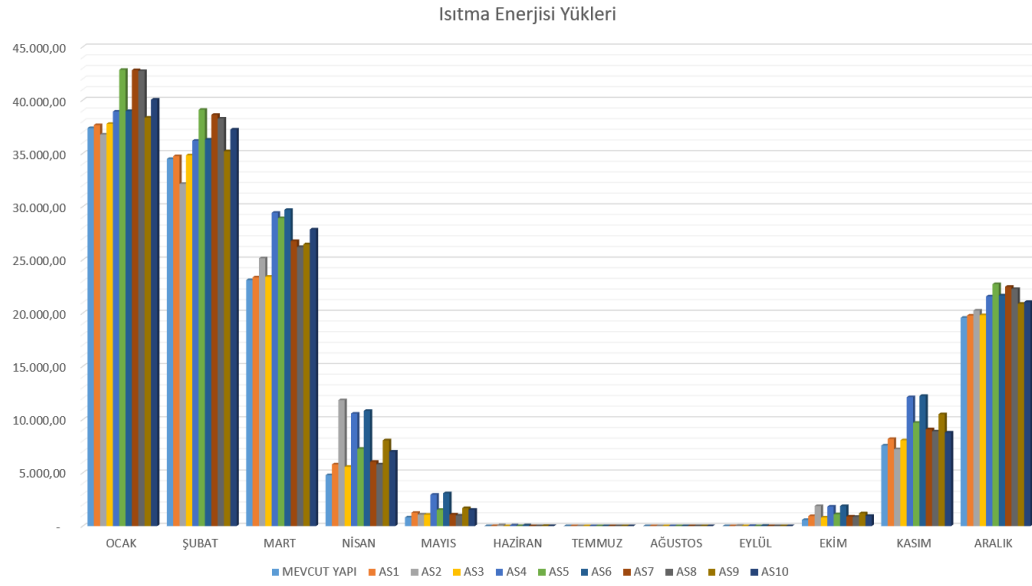


Şekil 4.54: Alternatif senaryoların karşılaştırmalı soğutma enerji tüketim analizleri (kWh).

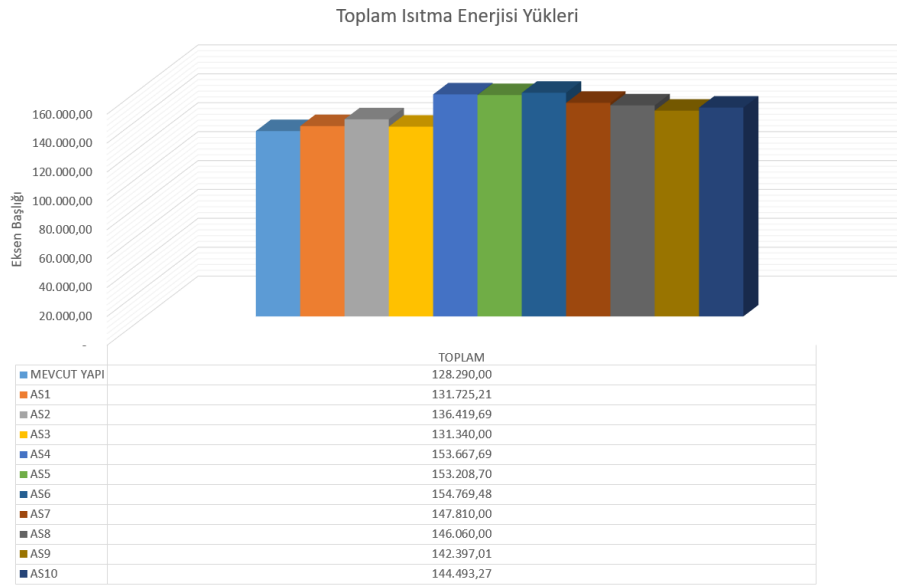
Yaz aylarında (haziran, temmuz, ağustos) mevcut yapının soğutma ihtiyacının oldukça yüksek olduğu görülmektedir **Şekil 4.54**. Bu durum, yapı kabuğunun güneş kazanımını yeterince engelleyemediğine ve iç mekân konforunu sağlamak için ciddi miktarda enerji tüketildiğine işaret etmektedir. Alternatif senaryolar arasında AS2, soğutma yüklerinde en düşük değeri sunarak, en etkili senaryo olduğunu düşündürmektedir **Şekil 4.55, Şekil 4.56**.



Şekil 4.55: Alternatif senaryoların karşılaştırmalı toplam soğutma enerji tüketim analizleri (kWh).

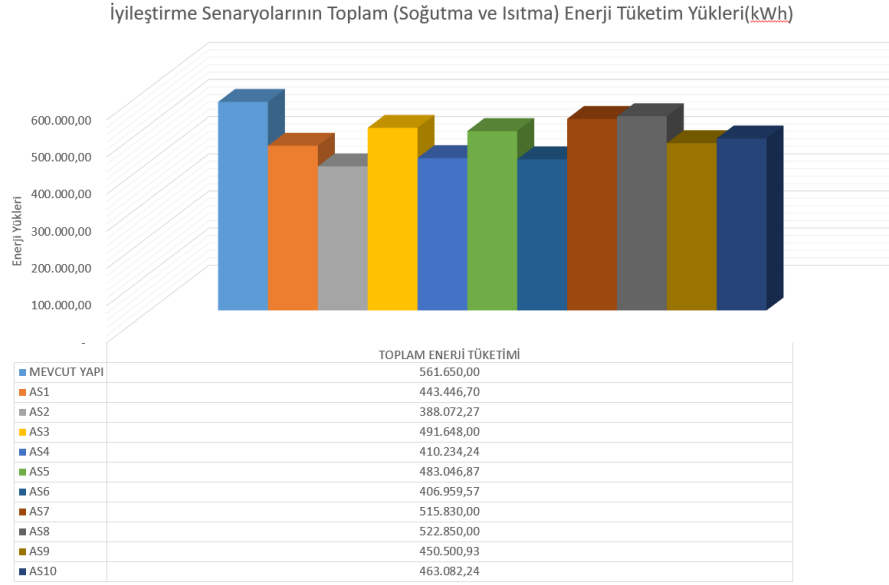


Şekil 4.56: Alternatif senaryoların karşılaştırmalı ısıtma enerji tüketim analizleri (kWh).



Şekil 4.57: Alternatif senaryoların karşılaştırmalı toplam ısıtma enerji tüketim analizleri (kWh).

Mevcut kamu yapısında, güneş kırıcı sistemlerin entegrasyonu, yapının mevcut enerji performansına kıyasla yıllık enerji tüketiminde anlamlı bir azalma sağlamaktadır **Şekil 4.57**. Mevcut kamu yapısı ile 10 farklı iyileştirme senaryosunun (AS1, AS2, AS3, AS4, AS5, AS6, AS7, AS8, AS9, AS10) yıllık ısıtma ve soğutma enerji için harcanan toplam enerji yüklerinin karşılaştırmalı analizini ortaya koymaktadır **Şekil 4.58**.



Şekil 4.58: Yapının mevcut durum ve alternatif senaryoların karşılaştırmalı toplam enerji tüketim değerleri(kWh).

Mevcut yapının ve her bir alternatif senaryonun toplam enerji tüketimi (kWh) ile mevcut yapıya göre iyileştirme oranı (%) karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir. İyileştirme oranı, her bir senaryonun mevcut yapıya kıyasla enerji tasarrufu potansiyelini göstermektedir. İyileştirme oranlarını hesaplama formülü yer almaktadır (4,2).

İyileştirme Oranı (%) =

$$\left(\frac{\text{Mevcut Yapı Enerji Tüketimi} - \text{Senaryo Enerji Tüketimi}}{\text{Mevcut Yapı Enerji Tüketimi}} \right) \times 100 \quad (4,2)$$

Mevcut yapının ve her bir alternatif senaryonun toplam soğutma enerjisi tüketimi (kWh) ile mevcut yapıya göre iyileştirme oranı (%) karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. İyileştirme oranı, her bir senaryonun mevcut yapıya kıyasla soğutma enerji yüklerinde sağladığı tasarruf oranını göstermektedir.

Tablo 4.11: Alternatif senaryoların karşılaştırmalı soğutma enerji tüketim değerleri ve iyileştirme oranı (%) (kWh).

Senaryo	Toplam Soğutma Enerji Tüketimi (kWh)	İyileştirme Oranı (%)
Mevcut Yapı	433.360,00	-
AS1	311.721,49	%28,07
AS2	251.652,58	%41,93
AS3	360.308,00	%16,86
AS4	256.566,55	%40,80
AS5	329.838,17	%23,89
AS6	252.190,09	%41,81
AS7	368.020,00	%15,08
AS8	376.790,00	%13,05
AS9	308.103,92	%28,90
AS10	318.588,97	%26,48

Mevcut yapı, 433.360 kWh ile en yüksek soğutma enerji tüketimine sahiptir. Yapısının enerji performansı hesaplarına göre mevcut kamu yapısı iyileştirilme potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir. AS2 senaryosu, %41,93 ile en yüksek soğutma enerjisi tasarrufu sağlayan alternatif olmuştur. AS4 ve AS6 senaryoları, sırasıyla %40,80 ve %41,81 oranları ile benzer iyileştirme değerleri sunarak oldukça verimli bir performans sergilemiştir. AS2 senaryosu, %41,93'lük bir iyileştirme oranı ile mevcut yapıya göre ciddi anlamda enerji tasarrufu sağlamaktadır. AS7 ve AS8, diğer alternatif senaryolara kıyasla daha düşük iyileştirme oranlarına (%15,08 ve %13,06) sahip olup sınırlı bir verimlilik sunmaktadır. AS2, soğutma yüklerinde en iyi performansı gösteren senaryo olarak dikkat çekmektedir ve enerji etkin tasarım açısından önceliklidir. Tüm alternatif senaryolar mevcut yapıya göre daha düşük enerji tüketimi göstermekte olup, soğutma yüklerinin azaltılmasında önerilen tasarım stratejilerinin etkili olduğu kanıtlanmaktadır. Hareketli güneş kırıcı tasarımları soğutma enerjisinde daha etkili bir performans ortaya çıkarmaktadır.

Mevcut yapının ve her bir alternatif senaryonun toplam ısıtma enerjisi tüketimi (kWh) ile mevcut yapıya göre iyileştirme oranı (%) karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. İyileştirme oranı, her bir senaryonun mevcut yapıya kıyasla ısıtma enerji yüklerinde sağladığı tasarruf ya da artışı göstermektedir **Tablo 4.11**.

Tablo 4.12: Alternatif senaryoların karşılaştırmalı ısıtma enerji tüketim değerleri ve iyileştirme oranı (%) (kWh).

Senaryo	Toplam Isıtma Enerji Tüketimi (kWh)	İyileştirme Oranı (%)
Mevcut Yapı	128.290,00	-
AS1	131.725,21	-%2,68
AS2	136.419,69	-%6,34
AS3	131.340,00	-%2,38
AS4	153.667,69	-%19,78
AS5	153.208,70	- %19,42
AS6	154.769,47	-%20,64
AS7	147.810,00	-%15,22
AS8	146.060,00	-%13,85
AS9	142.397,01	-%11,00
AS10	144.493,27	-%12,63

Mevcut yapı 128.290 kWh tüketim değeri ile en düşük ısıtma enerjisi yüküne sahiptir. AS6 senaryosu %20,64 oranında daha fazla enerji tüketerek mevcut duruma göre verimsiz bir senaryo olarak değerlendirilmiştir. AS1 ve AS3 enerji tüketiminde yalnızca %2,68 ve %2,38 oranında artış göstermiş ve mevcut yapıya oldukça yakın performans sunmuştur. AS6 senaryosu 154.769,47 kWh enerji tüketimini göstererek %20,64 oranında verimsizlik yaratmıştır. AS4 senaryosu %19,78'lik tüketim artışı ile önemli düzeyde olumsuz bir performans ortaya koymuştur. AS5 senaryosu 153.208,70 kWh ile %19,42 oranında enerji harcamaktadır; bu da enerji etkinliğini azaltmaktadır. AS9 senaryosunda ise enerji tüketimi 142.397,01 kWh olup %11,00 oranında mevcut yapıdan fazladır. Genel olarak tüm alternatif senaryolar mevcut yapıya kıyasla daha yüksek ısıtma enerjisi tüketimi göstermektedir. Bu durum, alternatif senaryolarda kullanılan güneş kırıcı veya cephe tasarım elemanlarının ısı kazançlarını azaltarak kış aylarında daha fazla ısıtma ihtiyacı oluşturduğunu düşündürmektedir. Yaz aylarında enerji kazancı sağlayan tasarımlar, kışın olumsuz etki yaratabilmekte, bu da ısıtma yükünü artırmaktadır. Özellikle AS4 ve AS6 senaryosunda güneşten yararlanma ciddi ölçüde engellenmiş olabilir; bu da ısıtma yüklerinde artışa yol açmıştır. Senaryo sonuçlarını karşılaştırdığımızda sabit güneş kırıcı elemanların ısıtma enerjisi tüketiminde daha etkili bir performans sağladığı görülmektedir **Tablo 4.12**.

Tablo 4.13: Alternatif senaryoların karşılaştırmalı toplam enerji tüketim değerleri ve iyileştirme oranı (%) (kWh).

Senaryo	Toplam (Soğutma ve Isıtma) Enerji Tüketimi (kWh)	İyileştirme Oranı (%)
Mevcut Yapı	561.650,00	-
AS1	443.446,70	%21,04
AS2	388.072,27	%30,90
AS3	491.648,00	%12,46
AS4	410.234,24	%26,95
AS5	483.046,87	%14,00
AS6	406.959,56	%27,54
AS7	515.830,00	%8,16
AS8	522.850,00	%6,91
AS9	450.500,93	%19,78
AS10	463.082,24	%17,55

Toplam enerji tüketimi soğutma ve ısıtma enerjisi yüklerinin toplam performansını koymaktadır. Mevcut yapının toplam enerji yükü 561.650 kWh olarak hesaplanmıştır. AS2 senaryosu, %30,90 oranında en yüksek enerji tasarrufunu sağlayarak mevcut yapıya göre en verimli çözüm olarak öne çıkmaktadır; bu durum, 15° açı ile entegre edilen hareketli güneş kırıcı sistemlerinin bina kabuğu üzerindeki olumlu etkisini ortaya koymaktadır. AS6 senaryosu da %27,54'lük iyileştirme oranıyla enerji etkinliği açısından oldukça başarılı bir alternatif olarak değerlendirilmiştir; bu başarı, özellikle yaz aylarındaki soğutma yükü azaltımı ile ilişkilendirilebilir. AS1 senaryosu, %21,04 oranında bir enerji azaltımı sunarak en iyi iyileştirme sağlayan sabit güneş kırıcı senaryolar arasında yer almaktadır. AS10 senaryosunda iyileştirme oranı %17,55 çıkması cam malzeme özelliklerinin değişmesine rağmen cephe kontrol düzeyinin sınırlı kalmasından kaynaklanmaktadır. AS8 senaryosunun AS7 senaryosuna oranla, %1,25'lik tasarruf oranı ile daha az enerji verimliliği sağladığı gözlemlenmektedir; bu durum, kuzey cephesine yerleştirilen güneş kırıcı elemanların yapının enerji tüketimini azaltacak şekilde katkı sağladığını göstermektedir. AS7 ve AS8 senaryoları, sırasıyla yalnızca %8,16 ve %6,91 iyileştirme sağlayarak en düşük performansa sahip alternatifler olmuşlardır; bu durum, eklenen çözümlerin enerji tüketimini minimum düzeyde olumlu olarak etkilediğini göstermektedir. Mevcut yapıya ait toplam enerji tüketimi 561.650 kWh iken, en verimli senaryo olan AS2 ile bu değer 388.072,27 kWh seviyesine düşmüştür; bu fark, yaklaşık 173.577,73 kWh'lik bir enerji tasarrufuna

işaret etmektedir. Enerji verimli tasarım çözümlerinde, AS2 ve AS6 gibi senaryolar, düşük işletme maliyetleri ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda uzun vadeli avantajlar sunmaktadır **Tablo 4.13**.

Tablo 4.14: Alternatif senaryoların mevcut durum ile soğutma enerji tüketim değerleri arasındaki fark (kWh).

	SOĞUTMA ENERJİSİ TÜKETİMİ (kWh)	MEVCUT DURUM İLE OLUŞAN FARK (kWh)
MEVCUT YAPI	433.360,00	
AS1	311.721,49	121.638,51
AS2	251.652,58	181.707,42
AS3	360.308,00	73.052,00
AS4	256.566,55	176.793,45
AS5	329.838,17	103.521,83
AS6	252.190,09	181.169,91
AS7	368.020,00	65.340,00
AS8	376.790,00	56.570,00
AS9	308.103,92	125.256,08
AS10	318.588,97	114.771,03

Tablo 4.15: Alternatif senaryoların mevcut durum ile ısıtma enerji tüketim değerleri arasındaki fark (kWh).

	ISITMA ENERJİSİ TÜKETİMİ (kWh)	MEVCUT DURUM İLE OLUŞAN FARK (kWh)
MEVCUT YAPI	128.290,00	
AS1	131.725,21	-3.435,21
AS2	136.419,69	-8.129,69
AS3	131.340,00	-3.050,00
AS4	153.667,69	-25.377,69
AS5	153.208,70	-24.918,70
AS6	154.769,47	-26.479,48
AS7	147.810,00	-19.520,00
AS8	146.060,00	-17.770,00
AS9	142.397,01	-14.107,01
AS10	144.493,27	-16.203,27

Tablo 4.16: Alternatif senaryoların mevcut durum ile toplam (soğutma ve ısıtma) enerji tüketim değerleri arasındaki fark (kWh).

	TOPLAM (ISITMA VE SOĞUTMA) ENERJİSİ TÜKETİMİ (kWh)	MEVCUT DURUM İLE OLUŞAN FARK (kWh)
MEVCUT YAPI	561.650,00	
AS1	443.446,70	118.203,30
AS2	388.072,27	173.577,73
AS3	491.648,00	70.002,00
AS4	410.234,24	151.415,76
AS5	483.046,87	78.603,13
AS6	406.959,56	154.690,43
AS7	515.830,00	45.820,00
AS8	522.850,00	38.800,00
AS9	450.500,93	111.149,07
AS10	463.082,24	98.567,76

Enerji etkin bina tasarımında sadece yaz değil, kış koşulları da dikkate alınmalı, pasif ısı kazancı stratejileri korunmalıdır. Isıtma yüklerindeki bu artış, güneş kırıcıların veya gölgeleme elemanlarının tasarım parametrelerinin mevsim koşullarına uygun olarak optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir. Sonuç olarak, ısıtma enerji tüketimi açısından mevcut yapı en verimli seçenek olarak öne çıkmakta, alternatif senaryoların yaz ve kış dengesi açısından tekrar ele alınması gerektiğini düşündürmektedir. Senaryo sonuçlarında ısıtma ve soğutma açısından en verimli stratejilerin farklı önerilerde oratya çıktığını göstermektedir. Güneş kırıcı elemanların yerleşim açısı da enerji tüketim performansını etkilemektedir. Yapı kabuğunda yapılacak uygun iyileştirmelerle kamu binalarının enerji performansında önemli ölçüde verim artışı sağlanabileceğini göstermektedir **Tablo 4.14, Tablo 4.15, Tablo 4.16.**

Mevcut kamu yapısının enerji yüklerini ve önerilen on farklı alternatif senaryonun (AS1, AS2, AS3, AS4, AS5, AS6, AS7, AS8, AS9, AS10) performansları üzerindeki etkilerini göstermektedir. Alternatif senaryolar arasında en verimli sonuç AS2 senaryosu ile elde edilmiştir (388.072,27 kWh), bu da toplamda yaklaşık %30,90'lık bir enerji tasarrufu anlamına gelmektedir. Genel olarak, analiz edilen on alternatif senaryo, mevcut yapıya göre daha düşük enerji yükü değerleriyle enerji verimliliği açısından başarılı sonuçlar ortaya koymuştur. Bu bulgular, tasarım stratejilerinin yapı enerji performansını optimize etmede önemli bir rol oynadığını kanıtlamaktadır.

4.2.5. Alternatif İyileştirme Senaryoları İçin Yapım Maliyeti ve Geri Dönüş Süresi Analizi

Başiskele Belediye hizmet binası yapısının simülasyon sonuçlarına göre yıllık toplam soğutma enerjisi yükü 433.360 kWh, yıllık toplam ısıtma enerjisi yükü 128.290 kWh olarak hesaplanmıştır. Elde edilen enerji yükleri, 2025 yılına ait güncel birim enerji fiyatları esas alınarak ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, ısıtma enerjisi tüketiminin doğalgaz üzerinden, soğutma enerjisi tüketiminin ise elektrik enerjisi ile karşılandığı varsayımıyla yapılan hesaplamalara göre; yıllık toplam ısıtma tüketimi 147.533,50€, yıllık toplam soğutma tüketimi ise 975.060€ olarak belirlenmiştir **Tablo 4.16, Tablo 4.17.**

Tablo 4.17: Alternatif senaryoların mevcut duruma göre yıllık toplam soğutma enerjisi kazanç maliyeti(TL).

	YILLIK TOPLAM SOĞUTMA ENERJİSİ TÜKETİMİ (kWh)	MEVCUT DURUM İLE OLUŞAN ENERJİ FARKI (kWh)	ENERJİ TÜKETİM BİRİM FİYATI (kWh)	MEVCUT DURUMA GÖRE YILLIK TOPLAM SOĞUTMA ENERJİSİ KAZANÇ MALİYETİ (TL)
MEVCUT YAPI	433.360,00		€2,25	€975.060,00
AS1	311.721,49	121.638,51	€2,25	€273.686,65
AS2	251.652,58	181.707,42	€2,25	€408.841,70
AS3	360.308,00	73.052,00	€2,25	€164.367,00
AS4	256.566,55	176.793,45	€2,25	€397.785,26
AS5	329.838,17	103.521,83	€2,25	€232.924,12
AS6	252.190,09	181.169,91	€2,25	€407.632,30
AS7	368.020,00	65.340,00	€2,25	€147.015,00
AS8	376.790,00	56.570,00	€2,25	€127.282,50
AS9	308.103,92	125.256,08	€2,25	€281.826,18
AS10	318.588,97	114.771,03	€2,25	€258.234,82

Tablo 4.18: Alternatif senaryoların mevcut duruma göre yıllık toplam ısıtma enerjisi kazanç maliyeti(TL).

	YILLIK TOPLAM ISITMA ENERJİSİ TÜKETİMİ (kWh)	MEVCUT DURUM İLE OLUŞAN ENERJİ FARKI (kWh)	ENERJİ TÜKETİM BİRİM FİYATI (kWh)	MEVCUT DURUMA GÖRE YILLIK TOPLAM ISITMA ENERJİSİ KAZANÇ MALİYETİ (TL)
MEVCUT YAPI	128.290,00		€1,15	€147.533,50
AS1	131.725,21	- 3.435,21	€1,15	-€3.950,49
AS2	136.419,69	- 8.129,69	€1,15	-€9.349,14
AS3	131.340,00	- 3.050,00	€1,15	-€3.507,50
AS4	153.667,69	- 25.377,69	€1,15	-€29.184,35
AS5	153.208,70	- 24.918,70	€1,15	-€28.656,51
AS6	154.769,47	- 26.479,48	€1,15	-€30.451,40
AS7	147.810,00	- 19.520,00	€1,15	-€22.448,00
AS8	146.060,00	- 17.770,00	€1,15	-€20.435,50
AS9	142.397,01	- 14.107,01	€1,15	-€16.223,07
AS10	144.493,27	- 16.203,27	€1,15	-€18.633,76

Yapılan enerji etkin iyileştirme önerileri doğrultusunda, senaryolara bağlı olarak yıllık bazda sağlanan enerji tasarrufları detaylı olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda, her bir senaryo için DesignBuilder yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda elde edilen yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi tüketim farkları, ilgili enerji türlerine ait birim maliyetlerle çarpılarak parasal karşılıkları belirlenmiştir. Yıllık enerji kazancının parasal değeri; elektrik ile karşılanan soğutma yükü ve doğalgaz ile sağlanan ısıtma yükü dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda, 2024 yılı tüketim verileri için 2024 yılına ait birim fiyatlar esas alınmıştır. İlgili birim fiyatlar, elektrik enerjisi için 1,15 TL/kWh ve doğalgaz enerjisi için 2,25 TL/kWh olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, yıllık toplam enerji tasarrufunun mali karşılığı aşağıda belirtilen genel formül kullanılarak hesaplanmıştır (4,2).

$$\text{Yıllık Enerji Kazancı (₺)} = (\text{Elektrik Tüketim Tasarrufu (kWh)} \times 1,15 \text{ TL/kWh}) + (\text{Doğalgaz Tüketim Tasarrufu (kWh)} \times 2,25 \text{ TL/kWh})$$

Tablo 4.19: Alternatif senaryoların mevcut duruma göre yıllık toplam enerji kazanç maliyeti(TL).

	YILLIK TOPLAM SOĞUTMA ENERJİ KAZANCI	YILLIK TOPLAM ISITMA ENERJİ KAZANCI	YILLIK TOPLAM ENERJİ KAZANCI
AS1	₺273.686,65	-₺3.950,49	₺269.736,16
AS2	₺408.841,70	-₺9.349,14	₺399.492,55
AS3	₺164.367,00	-₺3.507,50	₺160.859,50
AS4	₺397.785,26	-₺29.184,35	₺368.600,92
AS5	₺232.924,12	-₺28.656,51	₺204.267,61
AS6	₺407.632,30	-₺30.451,40	₺377.180,90
AS7	₺147.015,00	-₺22.448,00	₺124.567,00
AS8	₺127.282,50	-₺20.435,50	₺106.847,00
AS9	₺281.826,18	-₺16.223,07	₺265.603,11
AS10	₺258.234,82	-₺18.633,76	₺239.601,06

Önerilen enerji etkin iyileştirme senaryolarına ilişkin yapım maliyetleri hesaplanmıştır. Bu kapsamda, Başiskele Belediye Hizmet Binası projeleri üzerinden saydam yüzey alanları metrajlandırılmıştır. Mevcut durumda yapı genelinde 4608,11 m² opak (duvar) yüzey ve 2022,43 m² saydam cam yüzeyi bulunmaktadır. Saydam yüzeylerin yer aldığı alanlarda uygulanacak cam değişimi ve güneş kırıcı sistem entegrasyonu için detaylı piyasa fiyat araştırması yapılmıştır. Yapılan piyasa araştırması sonucunda sabit güneş kırıcı sistemlerin birim yapım maliyeti 3500 ₺/m², motorlu (hareketli) güneş kırıcı sistemlerin ise 6500 ₺/m² olarak belirlenmiştir. Ayrıca,

alternatif senaryolarda öngörülen yüksek performanslı cam bileşenlerinin birim maliyeti 4500 ₺/m² olarak tespit edilmiştir. Mevcut cam yüzeylerin demontajı için öngörülen söküm maliyeti ise 400 ₺/m²'dir. Alternatif senaryolarda önerilen cam ve güneş kırıcı sistem bileşenlerinin uygulanmasına yönelik toplam yapım maliyetleri, yapıdaki mevcut saydam yüzey alanı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Metraj verileri ile piyasa analizine dayalı birim fiyatlar çarpılarak toplam maliyetler elde edilmiştir. Bununla birlikte, her bir senaryo için mevcut duruma kıyasla elde edilen yıllık enerji tasarruf miktarları belirlenmiş ve bu tasarruflar ile ilk yatırım maliyetleri oranlanarak yatırımın geri dönüş süreleri (amortisman süresi) hesaplanmıştır **Tablo 4.19**.

Tablo 4.20: Başiskele Belediye Hizmet Binası opak (duvar) yüzey ve saydam cam yüzey alanları.

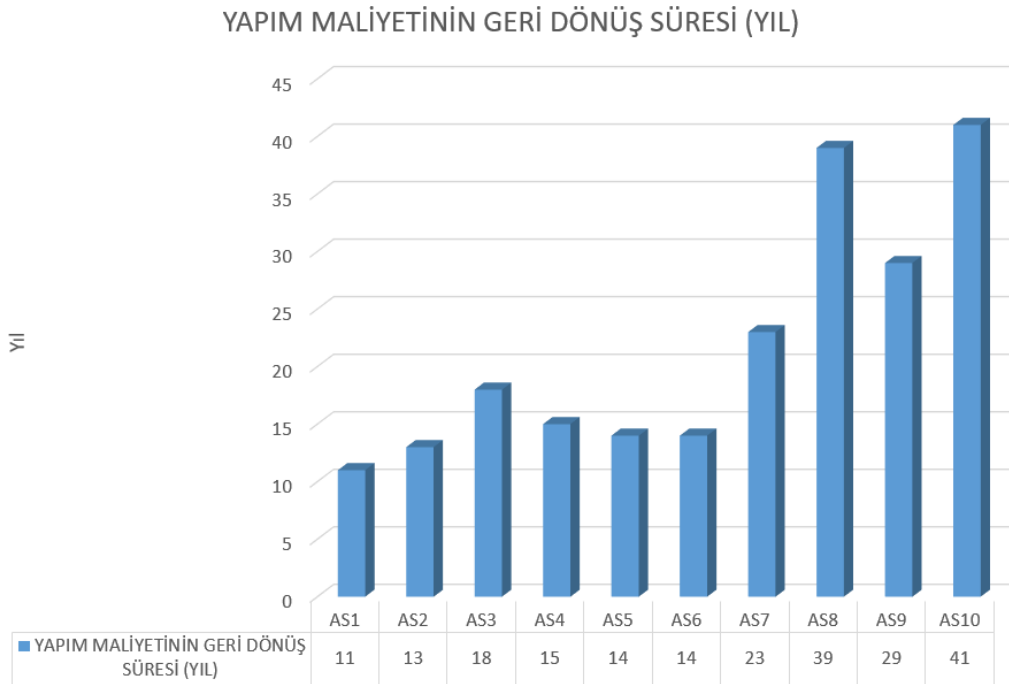
	Toplam	Kuzey	Doğu	Güney	Batı
Duvar Alanı	4608.11	1476.18	827.77	1476.28	827.88
Cam Alanı	2022.43	599.55	362.26	764.09	296.51
Cam Oranı	43,89	40,61	43,77	51,76	35,82

Başiskele Belediye Hizmet Binası özelinde önerilen enerji etkin iyileştirme senaryolarının ekonomik fizibilitesi, her bir alternatifi ilk yatırım maliyeti ile yıllık enerji tüketiminde sağladığı tasarruflar temel alınarak analiz edilmiştir. Bu kapsamda, her senaryo için yapılan enerji simülasyonları sonucunda mevcut duruma göre yıllık enerji tüketim farkları hesaplanmış ve bu farklardan elde edilecek yıllık enerji kazancı Türk Lirası (₺) cinsinden parasal değere dönüştürülmüştür. Ardından, her bir iyileştirme senaryosunun uygulanmasına yönelik hesaplanan toplam yapım maliyetleri, ilgili senaryodan sağlanan yıllık enerji tasarrufu değerine bölünerek yatırımın geri dönüş süresi (amortisman süresi) belirlenmiştir. Bu analiz yöntemi, alternatif iyileştirme stratejilerinin uzun vadede ekonomik sürdürülebilirliğini değerlendirmek açısından önemli bir gösterge sunmaktadır. Böylece, sadece enerji verimliliği bağlamında değil, aynı zamanda maliyet etkinlik açısından da senaryoların karşılaştırmalı değerlendirilmesi mümkün kılınmıştır **Tablo 4.20**.

Tablo 4.21: Alternatif iyileştirme senaryoları için yapım maliyeti ve geri dönüş süresi.

SENARYO ADI	SENARYO ÖZELLİĞİ	UYGULAMA YAPILAN CEPHE YÖNLERİ	TOPLAM SOĞUTMA ENERJİSİ TÜKETİM MALİYETİ	TOPLAM ISITMA ENERJİSİ TÜKETİM MALİYETİ	YILLIK TOPLAM ENERJİ KAZANÇ MALİYETİ(TL)	ALTERNATİF SENARYO YAPIM MALİYETİ(TL)	YAPIM MALİYETİNİN GERİ DÖNÜŞ SÜRESİ (YIL)
AS1	SABİT G.K.	GÜNEY,DOĞU,BATI	₺273.686,65	-₺3.950,49	₺269.736,16	₺2.988.006,00	11
AS2	HAREKETLİ G.K.	GÜNEY,DOĞU,BATI	₺408.841,70	-₺9.349,14	₺399.492,55	₺5.549.154,00	13
AS3	SABİT G.K.	GÜNEY,DOĞU,BATI	₺164.367,00	-₺3.507,50	₺160.859,50	₺2.988.006,00	18
AS4	HAREKETLİ G.K.	GÜNEY,DOĞU,BATI	₺397.785,26	-₺29.184,35	₺368.600,92	₺5.549.154,00	15
AS5	SABİT G.K.	GÜNEY,DOĞU,BATI	₺232.924,12	-₺28.656,51	₺204.267,61	₺2.988.006,00	14
AS6	HAREKETLİ G.K.	GÜNEY,DOĞU,BATI	₺407.632,30	-₺30.451,40	₺377.180,90	₺5.549.154,00	14
AS7	SABİT G.K.	GÜNEY,DOĞU,BATI	₺147.015,00	-₺22.448,00	₺124.567,00	₺2.988.006,00	23
AS8	SABİT G.K.	KUZEY,GÜNEY,DOĞU,BATI	₺127.282,50	-₺20.435,50	₺106.847,00	₺4.247.103,00	39
AS9	HAREKETLİ G.K.	KUZEY,GÜNEY,DOĞU,BATI	₺281.826,18	-₺16.223,07	₺265.603,11	₺7.887.477,00	29
AS10	SAYDAM YÜZEY DEĞİŞİKLİĞİ	KUZEY,GÜNEY,DOĞU,BATI	₺258.234,82	-₺18.633,76	₺239.601,06	₺9.909.907,00	41

Başiskele Belediye Hizmet Binası için önerilen 10 farklı enerji etkin iyileştirme senaryosu kapsamında, sabit ve hareketli güneş kırıcı sistemleri ile saydam yüzey değişikliklerinin çeşitli cephe yönlerinde uygulanması sonucunda oluşan yıllık enerji tüketim maliyetleri, alternatif senaryolara ait yapım maliyetleri ve yatırımın geri dönüş süreleri karşılaştırılmıştır **Tablo 4.21**.



Şekil 4.59: Alternatif senaryoların yapım maliyetinin geri dönüş süreleri.

Geri dönüş süresi bakımından en avantajlı senaryo AS1 olup yatırım maliyetini 11 yıl içerisinde geri kazanmaktadır. Bunu AS2 (13 yıl) ve AS6 (14 yıl) senaryoları izlemektedir. En uzun geri dönüş süresi AS10 senaryosunda 41 yıl olarak

hesaplanmıştır. Bu süre, kamu yatırımlarında ekonomik uygulanabilirlik açısından oldukça dezavantajlı bir duruma işaret etmektedir **Şekil 4.59**. Sabit güneş kırıcı uygulamaları, düşük yapım maliyetiyle kısa ve orta vadeli geri dönüş süreleri sunarak maliyet-etkin çözümler olarak öne çıkmaktadır. Hareketli sistemler, daha yüksek enerji tasarrufu sağlamakla birlikte sabit güneş kırıcı elemanlara göre yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle geri dönüş süreleri genellikle daha uzundur. Saydam yüzey değişikliğine dayalı senaryo (AS10), yapının enerji performansını iyileştirse de yatırım geri dönüş süresinin 40 yılı aşması nedeniyle ekonomik sürdürülebilirlik açısından zayıf bir seçenektir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapı sektöründe, binaların üretim ve kullanım süreçlerinde yenilemez enerji kaynaklarının kullanımı büyük yer kaplamaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının kullanımı hem tüketim maliyetleri hemde kaynakların sürdürülebilirliği açısından verimsiz bir sonuç ortaya çıkarmaktadır. Kamu yapılarının ülkemizde yoğun olarak yer alması ve kullanılması tasarruf faaliyetlerinin bu yapılarda yer almasını zorunlu hale getirmektedir. Ülkemizde kamu yapılarının enerji verimli olarak tasarlanması ve mevcut yapıların iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmakta ve desteklenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve bu kaynaklar aracılığıyla enerji üretimi devlet destekli projelerle bilinçlendirilmek istenmektedir. Bu hedefler doğrultusunda yenilenemez enerji kaynaklarından elde edilen maksimum enerji ile yapının enerji tüketim yükleri azaltılacak çözümler tasarlanmalıdır.

5.1. Sonuçlar

Kamu ve ofis yapıları kullanıcı odaklı bir yapı olduğu için kullanıcı profiline verimli bir çalışma ortamı sunması gerekmektedir. Bu çalışma ortamlarında konfor koşullarını sağlayabilmek için aydınlatma, ısıtma ve soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler yapının enerji tüketim maliyetlerini arttırken aynı zamanda yenilenemez enerji kaynaklarında tükenmesine neden olmaktadır. Bu enerji kaynaklarını tüketmek yerine yenilebilir enerji kaynaklarını doğru kullanarak ve yönlendirerek yapının enerji ihtiyacı azalmış ve kullanıcı konforu sağlanmış olmaktadır. Güneş, dünyamız için ısıtma ve aydınlatma açısından en önemli enerji kaynağıdır. Yapı kabuğumuzda doğru tasarlanmış iyileştirmeler güneş hareketlerini iç mekâna doğru yönlendirme sağlayarak yapının enerji tüketim değerlerini azaltabilmektedir. Güneş kırıcı sistemler yapı kabuğuna entegre edilerek bu yönlendirme işlemi sağlanabilmektedir. Güneş gün içerisinde yapıya farklı açılardan etki etmektedir. Doğru tasarlanmış bir gölgeme elemanı sistemi yapıya giren güneş ışınımını gerekli miktarda yapı içine aktarak iç mekânda kullanıcıya konforlu bir çalışma alanı sunmaya yardımcı olmaktadır. Sabit güneş kırıcı elemanlar gün ışığını her zaman aynı düzeyde içeri almaktadır. Fakat güneş yıl içerisinde sabit bir davranış göstermemektedir. Bu nedenle hareketli gölgeleme elemanları ortam koşullarını optimize edecek şekilde tasarlandığında güneşin değişiklik durumuna göre hareket edebilmektedirler.

Hareketli güneş kontrol sistemleri sayesinde hem güneşin zararlı etkileri absorbe edilmiş olur hem de aydınlatma, ısıtma ve soğutmayı kontrol ederek verimli bir kullanıcı ortamı sunmuş olmaktadır. Cephe üzerinde yatay konumlandırılan güneş kırıcı elemanlar yaz aylarında güneşin istenmeyen etkilerinden korumamıza yardımcı olurken içerideki aşırı ısınmayı engellemektedir. Güneş kırıcı elemanların yapı cephesindeki kapalılık oranı arttıkça güneş ışıınımları iç mekâna iletilme oranı azalır ve ısıtma yükünün artmasına neden olur. Yapılı çevre, enerji tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan sera gazı emisyonları aracılığıyla iklim değişikliğine hem doğrudan hem de dolaylı biçimde etki etmektedir. Bu etkinin azaltılabilmesi için, binalarda enerji kullanımının minimize edilmesi ve çevresel koşullardaki değişimlere uyum sağlayabilecek iyileştirme stratejilerinin uygulanması gereklidir.

Bu çalışmada yapı kabuğunda yapılan iyileştirme çalışmaları sonucunda ısıtma ve soğutma enerjisi için harcanan enerji yükleri incelenmiştir. Oluşturulan senaryolarla iyileştirme önerilerinin enerji etkinliğine faydaları ortaya çıkarılmıştır. Sabit ve hareketli gölgeleme elemanlarının yapı kabuğu üzerindeki verimlilikleri karşılaştırılmıştır. İyileştirme senaryolarında saydam yüzey özellikleri, uygulanacağı yapı cepheleri, güneş kontrol elemanlarının yönü ve türü, elemanların açısı, eleman derinliği, eleman genişliği, elemanların yapı cephesinden uzaklığı gibi veriler literatür araştırmalarına ve analizlere bağlı alınarak referans değerler belirlenmiştir. Bu senaryolar DesignBuilder programı aracılığı ile simülasyon yapılarak aylık olarak ısıtma ve soğutma için gerekli enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak yapının toplam enerji tüketim değeri ortaya çıkarılmıştır. Yapının mevcut durumdaki ısıtma ve soğutma için gerekli enerji tüketimleri ile karşılaştırma yapılarak senaryoların verimlilik durumları ortaya çıkarılmıştır.

- Yapılan alternatif öneri senaryo sonuçlarından elde edilen sonuçlara göre doğru konumlandırılmış ve tasarlanmış hareketli güneş kontrol elemanları en verimli enerji etkin performans sonucu ortaya koymaktadır.
- Hareketli güneş kontrol elemanlarının yer aldığı AS2 ve AS6 senaryoları sabit güneş kontrol elemanlarının yer aldığı senaryolara göre toplam enerji tüketim (ısıtma ve soğutma) değerlerinde en etkili performansı ortaya koymuşlardır.
- Hareketli güneş kırıcı elemanları kullanımı ile beraber soğutma enerjisi yükü ve toplam enerji yüklerinde iyileşme sağlanırken, ısıtma enerjisi yükünde artış

olmuştur. Kış aylarında ihtiyacımız olan ışınlamalarda engellemesi nedeni ile bu artış gözlenmiştir.

- Sabit güneş kırıcı elemanlar ısıtma yükü performansında hareketli güneş kırıcı elemanlara göre daha verimli bir performans göstermektedir.
- Hareketli güneş kırıcı sistemlerde güneşin geliş durumuna göre optimizasyon sağlaması nedeniyle soğutma yükündeki kazanç performansı sabit kırıcılı sistemlere göre daha fazla bir düzeyde olmuştur.
- İç mekân sıcaklığını eşik değeri olarak kabul eden hareketli güneş kırıcı sistemler (AS2, AS4 ve AS6), pencereye gelen güneş ışınlamayı eşik değerine göre hareket eden sisteme kıyasla daha yüksek performans sergilemektedir. Bu durum, gereksiz güneş ışınlamalarının yapıyı ısıtmasının önlenmesiyle ilişkilidir ve AS9 senaryosuna göre maksimum %11,11 oranında daha iyi bir performans sağlamaktadır.
- Cephe üzerinde 15° ve 45° açıyla yerleştirilen güneş kırıcı elemanlar, yapının enerji performansını optimize ederek daha yüksek verimlilik sağlamaktadır.
- Yapının kuzey cephesinden güneş kırıcı elemanların kaldırılması, toplam enerji tüketimini artırmış; ısıtma enerjisi yükünde azalma gözlenirken soğutma enerjisi yükü artış göstermiştir. Özellikle yüksek cam oranına sahip yapılarda kuzey cephesine eklenen hareketli güneş kırıcı elemanlar, yansıyan güneş ışınlamalarını da engelleyerek enerji tüketiminin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.
- Mevcut duruma kıyasla daha düşük SHGC katsayısına sahip cam kullanılması, enerji verimliliği açısından önemli bir katkı sağlamış; yapı genelinde %17,53'lük bir iyileştirme ve yıllık toplam 98.567,76 kWh enerji tasarrufu elde edilmiştir.
- 15° açı ile yerleştirilen hareketli güneş kırıcı elemanlar AS2 senaryosu en iyi iyileştirme performansını ortaya koymaktadır. Toplam enerji yükünde % 30,90 iyileştirme sağlayarak yılda 173.577,73 kWh enerji tasarrufu sağlamaktadır. Soğutma enerjisinde %41,93 oran ile AS2 en iyi enerji tasarrufuna sahip senaryo olmuştur.
- Yapının mevcut durumda toplam ısıtma enerjisi tüketimi, soğutma enerjisi tüketiminden 3,37 kat daha düşük olduğundan, soğutma enerjisinde yapılan

iyileştirmeler toplam enerji tüketiminde oransal olarak daha yüksek bir azalma sağlamaktadır.

- Tüm güneş kırıcı eleman senaryoları, ısıtma enerjisi tüketimi açısından negatif bir etki ortaya koymaktadır. Bu durum, güneş kırıcı elemanların bulunmadığı senaryolarda pasif güneş ısı kazancının daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.
- Yapıların senaryoların tamamında yapılan iyileştirme çalışmaları yapının mevcut durumuna kıyasla enerji verimli performansların ortaya çıkmasına yardımcı olmuştur.
- Alternatif senaryo sonuçlarında yapının enerji tüketim değerlerinde azalma sağlarken aynı zamanda kullanıcı için ısısal konfor ve görsel konfor düzeyi yüksek bir çalışma ortamı oluşturulmuştur.

5.2. Öneriler

Bu çalışma kapsamında sabit ve hareketli güneş kontrol elemanlarının enerji etkinliği üzerindeki performansları incelenmiş ve iki sistemin etkileri karşılaştırılmıştır

Bu çalışmada kullanılan simülasyon aracı fiziksel prototiplerle test edilmemiştir. Bu nedenle, gelecekteki çalışmaların deneysel doğrulama yöntemleri ile desteklenmesi; hareketli ve sabit sistemlerin gerçek ortamda ölçülen verilerle enerji performanslarının karşılaştırılması, modelin güvenilirliğini artıracaktır.

Bu çalışmada yalnızca enerji performans değerleri dikkate alınmıştır. İlerleyen çalışmalarda yaşam döngüsü maliyeti, bakım gereksinimi, kullanıcı kontrol düzeyi ve estetik gibi faktörlerin de değerlendirilmesi faydalı olacaktır.

Bu çalışmada tek bir iklim bölgesinde ve sınırlı sayıda tasarım parametresi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Güneş kırıcı elemanların sabit bir malzeme üzerinde etkileri araştırılmıştır. Farklı malzeme türlerinin etkileri ile de optimizasyon çalışmaları yapılabilir.

Tüm bu öneriler doğrultusunda, mimari tasarımda aktif veya pasif güneş kontrolü yaklaşımlarının daha kapsamlı ve disiplinler arası bir anlayışla ele alınması, enerji verimli bina tasarımına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Altınışık, S. (2011). Enerji etkin kamu binaları ve sürdürülebilirlik kriterleri üzerine bir inceleme. Mimarlık Fakóltesi Yayınları.
- Anaç, M. (2019), “Cephe Gölgeleme Elemanlarının Isıtma Ve Soğutma Yükleri Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi.
- Arendt, H. (1958). The human condition. University of Chicago Press.
- ASHRAE. (2017). Ashrae handbook: Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Baetens, R., Jelle, B. P., & Gustavsen, A. (2010). Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review. Solar Energy Materials and Solar Cells, 94(2), 87–105. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2009.08.021>
- Başaran, Ö. (2015), “Kinetik Gölgeleme Elemanları Entegre Edilmiş Bir Binanın Enerji Etkinliğinin Arttırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Cengiz, H. T. (2021), “The Effects Of Glazing Area Interventions And PCM Application In Building Energy Retrofits”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Cirit, A. (2012), “Binalarda Güneş Kontrol Elemanlarının Soğutma Enerjisi Yüklerine Etkisinin İrdelenmesine İlişkin Bir Çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Crawley, D. B., et al. (2001). EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program. Energy and Buildings, 33(4), 319–331.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değışikliğı Bakanlığı, (2016). Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri, 2016.
- Çetin, H. G. (2018), “Bir Ofis Binasının Enerji Yüklerinin Çift Kabuklu Cephe Sistemi ve Güneş Kırıcılar İle Azaltılması”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Deniz, A. (2018), “Yapı Kabuğunun Düşük Maliyetli Enerji Etkin İyileştirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım: Kamu Yapısı Örneğı”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- DesignBuilder Software. (2025). DesignBuilder Help Documentation v7.0. <https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/index.htm>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2017). Kamu Binalarında Enerji Verimliliğı (KABEV) Projesi Tanıtım Raporu.

Engin, S. (2022),” Kinetik Cephe Sistemlerinin Yapı Performansına Günüşiğı, Kamaşma ve Enerji Performansı Üzerindeki Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

European Commission. (2021). Energy Efficiency Directive and its impact on public buildings. EU Energy Reports, 16(2), 310–327.

Feist, W., & Schnieders, J. (2009). Energy efficiency: Passive Houses in Central Europe. Energy and Buildings, 41(3), 287–295.

Foster, G., et al. (2017). Renewable energy integration into public buildings. Applied Energy, 189, 453–469.

Givoni, B. (1998). Climate considerations in building and urban design. John Wiley & Sons.

Gökçen Akkurt, G. (2011). Binalarda enerji etkin tasarım ilkeleri. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayını, 47–49.

Gökçen, G. Ş. G. (2023), “Uyum Gösteren (Adaptif) Cepheler: Hareketli Güneş Kontrol Elemanlarının Isıl Enerji Performansının Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi .

Günay, H. B., & Ozel, M. (2019). Passive solar design principles and applications. Energy Procedia, 160, 121–129.

Habermas, J. (1989). The structural transformation of the public sphere: An inquiry into a category of bourgeois society. MIT Press.

Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T., & Zeumer, M. (2008). Energy manual: Sustainable architecture. Birkhäuser.

International Energy Agency (IEA). (2021). Energy efficiency 2021 report. IEA Publications.

Kaya, M. (2019). Enerji verimli kamu binaları ve uygulamaları. Enerji ve Çevre Dergisi, 12(3), 45–56.

Kendrick, C. (2010). Thermal performance of facades and glazing systems in buildings. Journal of Building Physics, 34(2), 93–109.

Kibert, C. J. (2016). Sustainable construction: Green building design and delivery. Wiley.

Koç, H. B. (2021), “Farklı İklim Bölgelerinde Yapı Kabuğunun Enerji Etkin İyileştirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım: Tip Eğitim Yapısı Örneğı”, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi.

Lechner, N. (2014). Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects (4th ed.). Wiley.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, (2024).

Mitchell, D. (2003). *The right to the city: Social justice and the fight for public space*. Guilford Press.

Olgyay, V. (2015). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism* (Rev. ed.). Princeton University Press.

Öz, B. (2015), “Enerji Verimliliği Kriterlerine Göre Otel Tasarımı ve Enerji Modellemesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Özbalta, N. (2010). Türkiye’de binalarda enerji verimliliği politikaları ve uygulamalar. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 123, 45–52.

Özdemir, N. (2016). Pasif tasarımda rüzgâr ve güneş etkileri. *Mimarlık ve Çevre*, 8(2), 78–90.

Poirazis, H. (2006). *Double skin facades for office buildings: Literature review*. Lund University, Report EBD-R-06/3.

Resmî Gazete. (2007). Enerji Verimliliği Kanunu (Kanun No: 5627), 2 Mayıs 2007, Sayı: 26510.

Resmî Gazete. (2008). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 5 Aralık 2008, Sayı: 27075.

Resmî Gazete. (2018). Kamu Binalarında Enerji Tasarrufu Hedefleri ve Uygulama Rehberi, 27 Nisan 2018, Sayı: 30456.

Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3617–3631.

Santamouris, M. (2013). Cooling the cities: A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682–703.

Santamouris, M. (2016). *Energy and climate in the urban built environment*. Routledge.

Smith, J., et al. (2018). Energy efficiency in public buildings: A comprehensive review. *Energy and Buildings*, 45(3), 234–249.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). (2025). Kocaeli ili uzun yıllar iklim verileri. <https://www.mgm.gov.tr/> (Erişim tarihi: Mayıs 2025).

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı MGM. (2025). Türkiye rüzgâr yönü ve hızı uzun yıl ortalama verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx> (Erişim tarihi: Mayıs 2025).

Tekbıyık, G.(2018), “Sürüdürebilir Mimarlıkta Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı, Kamu Binalarında Uygulama Yöntemleri ve Örneklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi.

Türk Standartları Enstitüsü (TSE). (2023). TS 825: Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. U.S. Department of Energy. (2020). Best practices in energy management for public facilities. DOE Publications.

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA). (2025). Kocaeli İli Güneş Enerjisi Verileri. <https://gepa.enerji.gov.tr/> (Erişim tarihi: Mayıs 2025).

Tzempelikos, A., & Athienitis, A. K. (2007). The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. *Solar Energy*, 81(3), 369–382.

United Nations Environment Programme (UNEP). Energy efficiency in public buildings. Retrieved from <https://www.unep.org>

Ürge-Vorsatz, D., Koepfel, S., & Mirasgedis, S. (2007). Appraisal of technologies for buildings' energy efficiency: An OECD perspective. *Building Research & Information*, 35(4), 379–398.

World Green Building Council. (2022). The role of energy efficiency in sustainable buildings. Retrieved from <https://www.worldgbc.org>

Web 1, (2019), <https://akcalisprey.com.tr/evde-enerji-tasarrufu-icin-neler-yapabiliriz/> (Erişim tarihi: Mayıs 2025).

Web 2, (2025), <https://rehber.kocaeli.bel.tr/#40.7604800,29.9329980,14z> (Erişim tarihi: Mayıs 2025).

Yılmaz, A. (2020). Türkiye’de kamu binalarında enerji verimliliği uygulamaları ve sonuçları. *Journal of Sustainable Energy*, 12(1), 87–102.

Yılmaz, A. (2013). Kamu yapılarında fonksiyonel ve mekânsal organizasyon ilkeleri. *Yapı Dergisi*.

Yılmaz, S., Demir, Z., & Erdem, Ö. (2018). Güneş enerjisinden pasif yararlanma ve bina tasarımındaki yeri. *Enerji Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, 10(4), 302–310.

Yeang, K. (2008). *EcoDesign: A manual for ecological design*. Wiley.

Yardımcı, S. (2019), “İstanbul’da Mevcut Bir Ofis Yapısının Enerji Etkin Tasarım bağlamında Yenilenmesine Yönelik Bir Yaklaşım”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi.

YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü). (2014a). Enerji tasarrufu – Konut ulaşımı ve bina ulaşımı. http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/en_tasarrufu/konut_ulas/bina_ulas.html (Erişim tarihi: 16 Haziran 2014).

YEGM. (2014b). Verimlilik bilinçlendirme.
http://www.eie.gov.tr/verimlilik/b_enver_bilinclendirme.aspx (Erişim tarihi: 16
Haziran 2014).

ÖZGEÇMİŞ

Mimar Özge ÖZKARAASLAN, 2016 yılında Muammer Dereli Anadolu Öğretmen Lisesi'nden mezun olmuştur. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü'ne başlamış ve 2020 yılında lisans eğitimini tamamlamıştır. 2022 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Mesleki kariyerine 2021 yılından itibaren Başiskele Belediyesi'nde Proje ve Yapı Kontrol Mimarı olarak devam etmektedir.

TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Özkaraaslan, Ö., Kara F.İ., Özer Yüksel E. (2025, Mayıs). Mevcut Kamu Yapılarının Enerji Etkin İyileştirilmesi Üzerine Bir Çalışma: Başiskele Belediye Hizmet Binası. 9. Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.

EKLER

Ek-A: Anket Soruları

KAMU BİNALARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE KULLANICI MEMNUNİYETİNİN DEĞERLENDİRME ANKETİ

Cinsiyet?

- ☐ Kadın
- ☐ Erkek

Yaş?

Eğitim düzeyi?

- ☐ İlkokul
- ☐ Lise
- ☐ Lisans
- ☐ Yüksek Lisans
- ☐ Doktora

Kamu binasında çalışma süreniz ne kadardır?

Çalışma alanınız hangi katta bulunmaktadır?

- ☐ Bodrum kat
- ☐ Zemin kat
- ☐ 1.kat
- ☐ 2.kat

Ofis binasında çalışma alanınız nasıldır?

- ☐ Tek kişilik oda
- ☐ İki kişilik oda
- ☐ Çok kişilik oda

Çalışma alanınız doğal ışığı hangi yönden almaktadır?(iki farklı yön varsa belirtiniz.)

- ☐ Ön
- ☐ Arka
- ☐ Yan
- ☐ Diğer

Kullanıcının ofisinde yapay aydınlatmaların yaz aylarında açık olduğu günlük ortalama süre ne kadardır?

- ☐ 1-2
- ☐ 3-4
- ☐ 5-6
- ☐ 7-8

Kullanıcının ofisinde yapay aydınlatmaların kış aylarında açık olduğu günlük ortalama süre ne kadardır?

- ☐ 1-2
- ☐ 3-4
- ☐ 5-6
- ☐ 7-8

Şekil A.1: Kullanıcı anket soruları 1. sayfa.

Çalışma alanının iç mekan sıcaklığı çalışmak için uygundur.

- ☐ Kesinlikle katılmıyorum
- ☐ Katılmıyorum
- ☐ Kararsızım
- ☐ Katılıyorum
- ☐ Kesinlikle katılıyorum

Çalışma alanındaki iç mekan hava kalitesi ve taze hava miktarı uygundur.

- ☐ Kesinlikle katılmıyorum
- ☐ Katılmıyorum
- ☐ Kararsızım
- ☐ Katılıyorum
- ☐ Kesinlikle katılıyorum

Yaz aylarında çalışma alanı sıcaklığı konfor düzeyi için uygundur.

- ☐ Kesinlikle katılmıyorum
- ☐ Katılmıyorum
- ☐ Kararsızım
- ☐ Katılıyorum
- ☐ Kesinlikle katılıyorum

Kış aylarında çalışma alanı sıcaklığı konfor düzeyi için uygundur.

- ☐ Kesinlikle katılmıyorum
- ☐ Katılmıyorum
- ☐ Kararsızım
- ☐ Katılıyorum
- ☐ Kesinlikle katılıyorum

Çalışma alanındaki ısı konforundan memnun musunuz?

- ☐ Evet
- ☐ Hayır

Çalışma alanında ısı konforsuzluk varsa sebebi nedir?

.....

Çalışma alanında açılabilir pencere bulunuyor mu?

- ☐ Evet
- ☐ Hayır

Çalışma alanında açılabilir pencere sayısını yeterli olduğunu düşünüyorum.

- ☐ Kesinlikle katılmıyorum
- ☐ Katılmıyorum
- ☐ Kararsızım
- ☐ Katılıyorum
- ☐ Kesinlikle katılıyorum

Çalışma alanında kışın hangi ısıtma sistemi kullanılıyor?

- ☐ Doğalgaz
- ☐ VRF(klima)
- ☐ İkiside

Şekil A.2: Kullanıcı anket soruları 2. sayfa.

Isıtma ve soğutma sistemlerinin bireysel olarak kontrol edilebilirliğini yeterli buluyorum.

- ☐ Kesinlikle katılmıyorum
- ☐ Katılmıyorum
- ☐ Kararsızım
- ☐ Katılıyorum
- ☐ Kesinlikle katılıyorum

Çalışma alanında kışın ısıtma için klima çalıştırma ihtiyacı oluyor mu?

- ☐ Evet
- ☐ Hayır

Kış aylarında genel ısıtma hariç lokal bir ısıtıcı ihtiyacı oluyor mu?

- ☐ Evet
- ☐ Hayır

Kışın ısıtma sistemi çalışırken pencere açılma ihtiyacı oluyor mu?

- ☐ Evet
- ☐ Hayır

Yazın soğutma sistemi çalışırken pencere açılma ihtiyacı oluyor mu?

- ☐ Evet
- ☐ Hayır

Yaz aylarında genel soğutma haricinde lokal fan kullanılır mı?

- ☐ Evet
- ☐ Hayır

Bulunduğunuz odada konforlu hissetmek için ne yapmak gereklidir?

- ☐ Pencereyi açmak
- ☐ Kapıyı açmak
- ☐ Kıyafet değiştirmek
- ☐ Klima kullanmak
- ☐ Bir şey yapmaya gerek yok
- ☐ Pencereyi kapatmak
- ☐ Kapıyı kapatmak
- ☐ Diğer:

Çalışma alanındaki doğal aydınlatma miktarından memnunum.

- ☐ Kesinlikle katılmıyorum
- ☐ Katılmıyorum
- ☐ Kararsızım
- ☐ Katılıyorum
- ☐ Kesinlikle katılıyorum

Çalışma alanındaki yapay ışık miktarından memnunum.

- ☐ Kesinlikle katılmıyorum
- ☐ Katılmıyorum
- ☐ Kararsızım
- ☐ Katılıyorum
- ☐ Kesinlikle katılıyorum

Şekil A.3: Kullanıcı anket soruları 3. sayfa.

Çalışma alanındaki gün ışığı miktarından memnunuz.

- ☐ Kesinlikle katılmıyorum
- ☐ Katılmıyorum
- ☐ Kararsızım
- ☐ Katılıyorum
- ☐ Kesinlikle katılıyorum

Çalışma alanındaki yapay aydınlatmayı yeterli düzeyde kontrol edebiliyorum.

- ☐ Kesinlikle katılmıyorum
- ☐ Katılmıyorum
- ☐ Kararsızım
- ☐ Katılıyorum
- ☐ Kesinlikle katılıyorum

Çalışma alanındaki doğal aydınlatma çalışma performansını olumsuz etkiliyor.

- ☐ Kesinlikle katılmıyorum
- ☐ Katılmıyorum
- ☐ Kararsızım
- ☐ Katılıyorum
- ☐ Kesinlikle katılıyorum

Çalışma alanındaki kamaşma (aşırı ve kontrolsüz bir şekilde dağılan ışığın neden olduğu görsel algı) düzeyi uygundur.

- ☐ Kesinlikle katılmıyorum
- ☐ Katılmıyorum
- ☐ Kararsızım
- ☐ Katılıyorum
- ☐ Kesinlikle katılıyorum

Çalışma alanında bulunan pencerelerde gölgeleme elemanı(perde, stor vb.) bulunuyor mu?

- ☐ Evet
- ☐ Hayır

Gölgeleme elemanı(perde, stor vb.) elemanlarının bireysel olarak kontrol edilebilirliğini yeterli buluyorum.

- ☐ Kesinlikle katılmıyorum
- ☐ Katılmıyorum
- ☐ Kararsızım
- ☐ Katılıyorum
- ☐ Kesinlikle katılıyorum

Gün ışığı şikayet sebebiniz nedir?

- ☐ Yeterli miktarda gün ışığından faydalanamıyorum
- ☐ Yeterli sürede gün ışığından faydalanamıyorum
- ☐ Kamaşma gerçekleşiyor.

Çalışma alanındaki görsel konforsuzluk varsa sebebi nedir?

.....
.....
.....

Şekil A.4: Kullanıcı anket soruları 4. sayfa.