



**HASTANELERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE YÖNELİK TASARIM
PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ETKİNLİK
ORANLARININ İKLİM BÖLGELERİNE GÖRE İRDELENMESİ**

Mırparham POOYANFAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2019

MırParham POOYANFAR tarafından hazırlanan “HASTANELERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE YÖNELİK TASARIM PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ETKİNLİK ORANLARININ İKLİM BÖLGELERİNE GÖRE İRDELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin TOPAL

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Başkan: Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

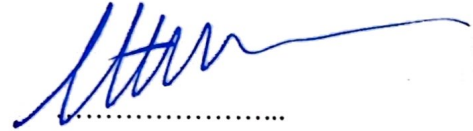
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Prof. Dr. Murat Caner TESTİK

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 28/02/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mırparham POOYANFAR

28/02/2019

HASTANELERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE YÖNELİK TASARIM
PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ETKİNLİK ORANLARININ
İKLİM BÖLGELERİNE GÖRE İRDELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Mırparham POOYANFAR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2019

ÖZET

Sağlık kurumlarının temel amacı; bilindiği üzere kişi, aile ve toplumların sağlıklarının korunması, geliştirilmesi, hasta olanların tedavi edilmesi ve tedavi edilenlerin geri kalan yaşamlarını sağlıklı olarak sürdürebilmelerini sağlamaktır. İnsanların sağlık hizmetlerinden yeterince, yerinde, zamanında ve gereksiz masraflardan kaçınarak yararlanmaları önemlidir. Ancak sağlık kuruluşlarına ait binalarda enerji tüketimleri diğer ticari binalara göre çok daha fazladır ve bu nedenle de sağlık kurumlarının temel amacının aksine sağlık hizmetleri maliyeti yükselmektedir. Enerji maliyetinin azaltılmasını sağlamak maksadıyla yapılan bu çalışmada hastanelerdeki toplam enerji tüketimini azaltabilmek için, uygulanabilmesi muhtemel çözümlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda bütünsel bina tasarımının önemli parametrelerinden olan bina yönü ve cam yüzey oranı ve ayrıca enerji tüketiminde önemli etkisi olan bina kabuğu, iklimlendirme ve aydınlatma sistemleri gibi bina bileşenlerinin iyileştirme olanakları incelenmiştir. Bu doğrultuda iyileştirmelerin her birinin uygulanması durumunda, ilgili standart ve yönetmeliklerde belirtilen asgari şartlara uygun yapılan bir binaya göre hangi oranda enerji tasarrufu elde edilebileceği farklı iklim bölgeleri için karşılaştırılmıştır. Bunun için mevcut bir hastane binası prototip olarak kullanılmış ve binanın enerji modeli EDSL TAS programı yardımıyla, standart ve yönetmeliklere uyumlu şekilde oluşturulmuştur. Daha sonra bu model referans alınarak planlanan iyileştirmelerin her birinin binanın yıllık enerji tüketimi ve emisyon oranına olan etkisi belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda hastane binalarında mimari, mekanik ve aydınlatma sistemleri için uygun tasarım ve uygulamaların gerçekleştirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması durumunda önemli oranlarda tasarruf elde edilmesinin mümkün olduğu ve emisyonların yaklaşık yarı yarıya azaltılabileceği görülmüştür.

Bilim Kodu : 91408
Anahtar Kelimeler : Enerji, Bina enerji verimliliği, Hastane, Enerji Modelleme
Sayfa Adedi : 759
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hüseyin TOPAL

ASSESSING EFFECTIVENESS OF INTEGRATED BUILDING DESIGN
PARAMETERS ON ENERGY PERFORMANCE AND EMISSIONS IN HEALTH
CARE FACILITIES BY MEANS OF BUILDING ENERGY MODELLING

(M. Sc. Thesis)

Mirparham POOYANFAR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2019

ABSTRACT

The main purpose of health care facilities is to treat patients, enhance and maintain public health and help patients to spend a healthier life after their treatment. Yet considerably higher energy consumption rates in the healthcare facilities with respect to other commercial building types results in increased service costs, which contradicts the mentioned goals. Providing the public with adequate, proper and timely health services may not be possible without cutting down preventable operation costs. In this research, possible solutions for reducing energy consumptions of hospital buildings are investigated with the aim of decreasing the energy and consequently service costs. In this regard, a prototype hospital building is studied by developing its energy model compliant with local codes and regulations. Later, this model is used as baseline to evaluate the enhancement of integrated design parameters, like building orientation and window to wall ratio along with improvements to building systems, which have a significant impact on building energy performance, such as HVAC, lighting and building envelope systems. Moreover, effectiveness of each parameter is compared for four different climate zones. It was observed that by applying appropriate architectural, electrical and mechanical enhancements and utilizing renewable energy systems, significant levels of energy conservation could be achieved and emission rates could be cut down nearly by half.

Science Code : 91408

Key Words : Energy, Building energy efficiency, Hospital, Energy Modeling

Page Number : 759

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hüseyin TOPAL

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmam süresince, değerli yardım ve katkıları ile beni yönlendiren, bilgi birikimini paylaşan ve çalışmamda büyük emeği geçen sayın hocam Doç. Dr. Hüseyin TOPLAL'a, çalışmam boyunca benden desteklerini esirgemeyen sayın Dr. İbrahim ÇAKMANUS ve değerli arkadaşım Ehsan AMIRABEDİN'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca öğrenim hayatım boyunca, benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili eşim, annem, babam ve kardeşime en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. TEORİ.....	13
3.1. Isı Transferi	13
3.2. Isı Transfer Mekanizmaları	14
3.2.1. İletim.....	14
3.2.2. Taşınım	15
3.2.3. Işınım (Radyasyon).....	16
3.3. Bina Isıtma ve Soğutma Yükleri	17
3.3.1. Isı dengesi yöntemi	18
3.3.2. Transfer fonksiyonu yöntemi.....	19
3.3.3. Isı alma yöntemi ilkeleri	24
3.3.4. Sistem simülasyonu	28
3.4. İklimlendirme	29
3.4.1. Karışım	29
3.4.2. Duyulur ısıtma/soğutma.....	30
3.4.3. Soğutma ve nem alma.....	31

	Sayfa
3.4.4. Nemlendirme	33
3.4.5. İklimlendirme sistem tipleri.....	34
3.5. Birleşik Isıl Güç Sistemleri	36
3.5.1. BIG sistemlerinin faydaları.....	37
4. ENERJİ MODELİNİN GELİŞTİRME YÖNTEMİ VE ÇIKTILARI.....	39
4.1. Referans (Baseline) Bina Modeli	40
4.1.1. Mimari özellikler	40
4.1.2. Çalışma saatleri.....	43
4.1.3. Bina kabuğu	44
4.1.4. Cam yüzey	44
4.1.5. Sızdırmazlık (infiltrasyon).....	45
4.1.6. İç yükler	45
4.1.7. İklimlendirme sistemleri.....	47
4.1.8. Taze hava ve dolaşım hava debileri.....	52
4.2. Enerji Modelinin Doğrulanması.....	54
4.3. Binanın Enerji Performansının İyileştirme Potansiyelleri	55
4.3.1. Bina yönü.....	55
4.3.2. Bina cam yüzey oranı	56
4.3.3. Bina kabuğu	56
4.3.4. Aydınlatma sistemi	57
4.3.5. İklimlendirme sistemi	58
4.3.6. Tüm iyileştirmeler	59
4.3.7. Fotovoltaik panellerin (PV) kullanımı.....	59
4.3.8. İyileştirmelerin çeşitli iklim bölgelerinde uygulanması	61
4.4. Enerji Performansının Değerlendirmesinde Kullanılan Göstergeler	62
4.4.1. Binanın yıllık enerji tüketimi.....	62

	Sayfa
4.4.2. Binanın yıllık birincil enerji tüketimi	63
4.4.3. Binanın yıllık enerji tüketim yoğunluğu	63
4.4.4. Binanın yıllık enerji maliyeti	64
4.4.5. Binanın yıllık toplam emisyon miktarı	65
4.5. Bina Enerji Modeli Simülasyon Çıktıları	65
4.5.1. İyileştirmelerin etki oranı	66
4.5.2. Bina yönü	72
4.5.3. Pencere duvar oranı	73
4.5.4. Bina kabuğu	75
4.5.5. Aydınlatma sisteminin iyileştirilmesi	77
4.5.6. İklimlendirme sistemleri iyileştirmeleri	78
4.5.7. İyileştirmelerin eşzamanlı uygulanması	80
4.5.8. Fotovoltaik sistem uygulaması	82
4.5.9. Birleşik ısı-güç (CHP) sistemi uygulanması	84
4.5.10. İncelenen tüm durumların sonuç özeti	86
5. SONUÇ, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	101
EKLER	105
ÖZGEÇMİŞ	758

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. 2015 yılında sektörlere göre son enerji tüketim oranları	4
Çizelge 2.2. Yıllık ortalama enerji tüketimleri	5
Çizelge 2.3. Ticari binaların kullanım amacına göre enerji tüketimleri	6
Çizelge 2.4. ABD'de bina tiplerine göre ortalama enerji tüketim yoğunlukları	6
Çizelge 2.5. Ofis binalarında son kullanıma göre enerji tüketimi	6
Çizelge 3.1. Isı yükü hesaplama örneği	22
Çizelge 3.2. Duvardan gerçekleşen ısı kazancı ve duvar yüzeyinin güneş-hava sıcaklığı.....	24
Çizelge 3.3. Duvardan gerçekleşen ısı kazancı ve oluşan duvar yükü	24
Çizelge 3.4. İç ortam sıcaklığına göre termostat tepki eğrisi	26
Çizelge 3.5. Yük, ısı alımı ve sıcaklığın örnek dağılımı	28
Çizelge 4.1. Mimaride yer alan ve bina enerji modelinde içerilen mahal tipleri.....	42
Çizelge 4.2. Pencere alanlarının farklı yönlerde dağılımı	42
Çizelge 4.3. Modelde yansıtılan örnek zaman çizelgeleri	43
Çizelge 4.4. Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için referans bina modelinin kabuk özellikleri.....	44
Çizelge 4.5. Referans binanın farklı cephelerinde duvar ve pencere alan ve oranları.....	44
Çizelge 4.6. Binada yer alan mahal tiplerine göre insan yoğunlukları	45
Çizelge 4.7. Referans bina aydınlatma ve priz yük yoğunlukları.....	46
Çizelge 4.8. İklimlendirme sistem bileşenleri	49
Çizelge 4.9. Mahal tiplerine bağlı olarak iç ortam kalitesi gereksinimleri (ASHRAE Standard 170-2008).....	52
Çizelge 4.10. Hastane binalarının birincil ve saha enerji tüketim yoğunlukları.....	54
Çizelge 4.11. Hastane binalarının yıllık enerji tüketiminin son tüketimlere göre dağılımı (3.iklim bölgesi (4A)).....	55
Çizelge 4.12. Referans ve iyileştirilmiş bina kabuk özellikleri	57

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.13. Mahal tiplerine göre aydınlatma yük yoğunlukları	58
Çizelge 4.14. Referans ve iyileştirilmiş bina modeline yansıtılan iklimlendirme sistem özellikleri.....	60
Çizelge 4.15. PV sistemi invertörüne ait kısmi yük verimlilik eğrisi	61
Çizelge 4.16. Birincil Enerji Dönüşüm Katsayıları	63
Çizelge 4.17. Enerji kaynakları birim fiyatları	65
Çizelge 4.18. Yakıt tiplerinin birim enerji tüketimi başına sebep olduğu emisyon miktarları	65
Çizelge 4.19. Birinci iklim bölgesinde iyileştirmelerin son tüketimlere etki oranı	67
Çizelge 4.20. İkinci iklim bölgesinde (İstanbul) iyileştirmelerin son tüketimlere etki oranı.....	68
Çizelge 4.21. İkinci iklim bölgesinde (Samsun) iyileştirmelerin son tüketimlere etki oranı.....	69
Çizelge 4.22. Üçüncü iklim bölgesinde iyileştirmelerin son tüketimlere etki oranı.....	70
Çizelge 4.23. Üçüncü iklim bölgesinde iyileştirmelerin son tüketimlere etki oranı.....	71
Çizelge 4.24. Bina oryantasyonlarının yıllık enerji maliyetleri	72
Çizelge 4.25. Bina oryantasyonlarının yıllık enerji tüketimleri.....	73
Çizelge 4.26. Bina oryantasyonlarının yıllık CO ₂ emisyonu	73
Çizelge 4.27. Cephe Pencere Oranının Azaltılmasının Yıllık Enerji Maliyetlerine Etkisi.....	74
Çizelge 4.28. Cephe pencere oranının azaltılmasının yıllık enerji tüketimlerine etkisi	74
Çizelge 4.29. Cephe pencere oranının azaltılmasının yıllık emisyonlar üzerinde etkisi	75
Çizelge 4.30. Bina kabuğu iyileştirmelerinin yıllık enerji maliyetine etkisi	75
Çizelge 4.31. Bina kabuğu iyileştirmelerinin yıllık enerji tüketimlerine etkisi.....	76
Çizelge 4.32. Bina kabuğu iyileştirmelerinin yıllık emisyon oranlarına etkisi.....	76
Çizelge 4.33. Aydınlatma sistemi iyileştirmeleri sonrasında yıllık enerji maliyetleri....	77
Çizelge 4.34 Aydınlatma sistemi iyileştirmeleri sonrasında yıllık enerji tüketimleri	77

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.35. Aydınlatma sistemi iyileştirmeleri sonrasında yıllık emisyon oranları	78
Çizelge 4.36. İklimlendirme sistemlerinin iyileştirilmesi durumunda yıllık enerji maliyet sonuçları	79
Çizelge 4.37. İklimlendirme sistemlerinin iyileştirilmesi durumunda yıllık enerji tüketim sonuçları	79
Çizelge 4.38. İklimlendirme sistemlerinin iyileştirilmesi durumunda yıllık emisyon değerleri	80
Çizelge 4.39. İyileştirmelerin toplu uygulandığı durumda enerji maliyetleri karşılaştırması	81
Çizelge 4.40. İyileştirmelerin toplu uygulandığı durumda enerji tüketimleri karşılaştırması	81
Çizelge 4.41. İyileştirmelerin toplu uygulandığı durumda emisyon oranları karşılaştırması	82
Çizelge 4.42. PV sisteminin yıllık maliyet getirisi	83
Çizelge 4.43. PV sistemi yıllık enerji üretimi	83
Çizelge 4.44. PV sistemlerinin önlediği CO ₂ emisyon oranı	84
Çizelge 4.45. CHP sistemi uygulanması durumunda yıllık enerji maliyetleri	85
Çizelge 4.46. CHP sistemi uygulanması durumunda yıllık toplam enerji tüketimleri ...	85
Çizelge 4.47. CHP sistemi uygulanması durumunda yıllık emisyon oranları	86
Çizelge 4.48. Tüm çalışılan durumlarda yıllık enerji maliyetleri, enerji tüketim yoğunlukları ve CO ₂ emisyonlarının özeti	88

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yapılan bir çalışma kapsamında hastane binaları için farklı teknolojilerin kullanımıyla elde edilen aylık enerji tüketimleri ve salınım miktarları	9
Şekil 2.2. Çalışma kapsamında incelenen binanın haftalık ortalama soğutma yükleri.....	11
Şekil 3.1. Δx kalınlığı ve A yüzey alanına sahip bir duvarda gerçekleşen ısı iletimi.....	14
Şekil 3.2. İki hava akımının karışımı	29
Şekil 3.3. Havanın duyulur ısıtma ve soğutması.....	31
Şekil 3.4 Soğutma ve nem alma süreci	32
Şekil 3.5. Serpantin temas oranı	33
Şekil 3.6. Buharlı nemlendirme süreci.....	34
Şekil 3.7. Merkezi iklimlendirme sistemlerinin şematik diyagramı	35
Şekil 4.1. Prototip hastane binasının vaziyet planı	41
Şekil 4.2. Prototip hastane binasının mimari görünüş çizim örneği	41
Şekil 4.3. Nem kontrolüne ilişkin modele yansıtılan örnek veriler	48
Şekil 4.4. Örnek bir gün için hesaplanan güneş pozisyonu	61
Şekil 4.5. Kabuk performans iyileştirmesinin ısıtma ve soğutma gün derecelerine göre etki oranı.....	87

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Yüzey alanı
Atb	Binanın toplam brüt alanı
b	İletim transfer fonksiyonu katsayısı
C	Celsius, sıcaklık birimi
cn	İletim transfer fonksiyonu katsayısı
Cp	Havanın özgül ısısı
d	İletim transfer fonksiyonu katsayısı
Ea	Yıllık aydınlatma enerji tüketimi
Eb	Yıllık buhar üretimi enerji tüketimi
Edg	Binanın yıllık doğal gaz tüketimi
Ee	Yıllık elektrik ekipmanlar enerji tüketimi
Eelek	Binanın yıllık elektrik enerji tüketimi
E₁	Yıllık ısıtma enerji tüketimi
Em	Yıllık mekanik ekipmanlar enerji tüketimi
Emdg	Birim doğal gaz enerji tüketiminin CO ₂ emisyonu
Emelek	Birim Elektrik enerjisi tüketiminin CO ₂ emisyonu
ER	Aktarılan ısı miktarı
Es	Yıllık soğutma enerji tüketimi
Et	Yıllık toplam enerji tüketimi
Et	Yıllık toplam enerji tüketimi
Etp	Binanın toplam birincil enerji tüketimi
Ety	Bina enerji tüketim yoğunluğu
fdg	Doğal gaz için birincil enerji dönüşüm katsayısı
felek	Elektrik enerjisi için birincil enerji dönüşüm katsayısı
g	Havanın nem içeriği
g	Mahal havası transfer fonksiyonu katsayısı
H	Isıtma veya soğutma enerjisi

Simgeler	Açıklamalar
h	Özgül entalpi
h	Taşınım ısı transfer katsayısı
hfg	Gizli buharlaşma ısısı
J	Joul, enerji birimi
K	Kelvin, sıcaklık birimi
k	Termal iletkenlik katsayısı
kWh	Kilowatt saat, enerji birimi
m	Havanın kütleli debisi
m	Metre, uzunluk birimi
MWh	Megawatt saat, enerji birimi
p	Mahal havası transfer fonksiyonu katsayısı
Pa	Paskal, basınç birimi
q	Isı kazancı
$\dot{Q}$	Isı transfer hızı
Q	Mahal ısıtma/soğutma yükü
$\dot{Q}_{\text{absorbed}}$	Yüzeyin soğurduğu ısı miktarı
$\dot{Q}_{\text{cond}}$	İletim ısı transfer hızı
$\dot{Q}_{\text{conv}}$	Taşınım ısı transfer oranı
$\dot{Q}_{\text{emit}}$	Işınım ısı transfer hızı
$\dot{Q}_{\text{incident}}$	Yüzeye düşen radyasyon miktarı
R_{dg}	Doğal gaz birim fiyatı
R_{elek}	Elektrik enerjisi birim fiyatı
s	Saniye, zaman birimi
S	Termostat kontrol eğrisinin eğimi
S_f	Bina cephe alanı
S_g	Bina cephesinin pencere alanı
T	Sıcaklık
T_e	Duvarın dış yüzeyindeki güneş-hava sıcaklığı
ton	Ağırlık birimi
Trc	İç ortam tasarım sıcaklığı
v	Transfer fonksiyon katsayısı
W	Termostat kontrol eğrisinin kesişmesi noktası

Simgeler**Açıklamalar**

w	Transfer fonksiyon katsayısı
W	Watt, Isı transfer hızı birimi
α	Yüzey soğurganlık katsayısı
Δx	Kalınlık
ϵ	Yüzey yayım kabiliyeti, (Emisivite)
σ	Stefan-Boltzmann sabiti

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ACH	Saatlik hava değişimi
ASHRAE	Amerikan ısıtma soğutma ve iklimlendirme mühendisleri derneği
BEP	Bina enerji performansı
BIG	Birleşik ısı güç sistemleri
BRE	Bina araştırmaları merkezi
CHP	Birleşik ısı güç sistemleri
COP	Performans katsayısı
DCV	İhtiyaca göre havalandırma
DOE	Amerika Enerji Bakanlığı
EDSL TAS	Enerji modelleme paket programı
EIA	Amerikan enerji bilgileri idaresi
EPA	Amerikan Çevre Koruma Ajansı
HW	Sıcak su
IDAE	Enerji tasarrufu ve çeşitlendirme enstitüsü
LED	Işık yayan diyot
NCM	İngiltere ulusal hesaplama yöntemi - Konut dışı binaların modelleme kılavuzu
NREL	Amerikan Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı
PV	Fotovoltaik panel
TFM	Transfer fonksiyon yöntemi
TMY	Tipik meteorolojik yıl
TS 825	Binalarda ısı yalıtım kuralları standardı
VAV	Değişken hava debisi

Kısaltmalar**Açıklamalar****WC**

Su soğutmalı sistem

WWR

Pencere-duvar oranı

1. GİRİŞ

Günümüzün en önemli araştırma odaklarından birinin enerji alanı olduğu bilinmektedir. Bu alandaki araştırmalar enerji ekonomisi, enerji politikaları, çeşitli kaynaklardan enerji üretimi, enerji verimliliği vb. birçok alt başlığa ayrılmış olup ve birçok alanı ilgilendirmektedir. Son yıllarda, bir yandan sanayi ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak artan enerji ihtiyacı, bir yandan da dünya nüfusunun giderek artışta olması, enerjinin daha verimli kullanılma gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Bu da enerji ile ilgili tüm konuların arasında enerji verimliliğinin ön plana çıkmasına sebep olmuştur.

Uluslararası Enerji Ajansının verilerine bakıldığında dünyada tüketilen toplam enerjinin yaklaşık %40'ının binalarda tüketildiğini görebiliriz [1]. Dolayısıyla toplam enerji tüketimlerinin azaltılması için binalardaki enerji tasarrufu ehemmiyetli bir konu haline gelmiştir. Bunu başarmak adına birçok ülkede yeni yasalar getirilmiş ve yönetmelikler uygulanmıştır. Bu yasa ve yönetmeliklerin yürürlükte olduğu ülke sayısı etkileyici olsa da yapılan inşaatların uyumluluğu tartışmaya açıktır.

Binaların enerji tüketim oranı büyük ölçüde binaların kullanım amacına bağlıdır. 2012 yılında ticari binalarda tüketilen enerjinin yaklaşık yarısı en yüksek enerji tüketimine sahip beş bina tipi tarafından tüketilmiştir; Ticari ve Hizmet, Ofisler, Eğitim, Sağlık ve Geçici Mesken (Otel, yurt ve bakım evleri) Binaları [2]. Bu ticari bina tipleri arasında ise hastanelerin enerji tüketim yoğunluğu (birim bina alanı başına tüketilen enerji miktarı) diğer tipik ticari binalara göre dört kata kadar daha yüksek olmaktadır. Dolayısıyla sağlık kurumlarına ait binalarda enerji verimli tasarım, uygulama ve işletmenin etkisi ve önemi daha da fazla ortaya çıkmaktadır [3].

Sağlık kurumlarının ana amacı hizmet ettikleri hastaların yaşam kalitesi ve toplumun sağlık seviyesini yükseltmektir. Ancak birçok örnekte görülebildiği gibi, modern sağlık kuruluşları ve onların tedavi ortamları bu amaca tam anlamında hizmet edemeyip, istemsiz de olsa insanların sağlığını ve yaşam çevresini olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu olumsuz etkilerin önüne geçebilmek adına tasarım, inşaat, işletme ve bakım süreçlerinin sürdürülebilir şekilde yürütülmesi büyük önem taşımaktadır.

Doğru bir tasarım ile tedavi ortamı kalitesi iyileştirilebilirken, aynı zamanda ilk yatırım maliyetleri ve işletme giderleri azaltılabilmektedir. İster ilk yatırım maliyetleri ister işletme giderleri incelendiğinde, maliyetlerin azaltılması enerji verimliliğini tüm aşamalarda ön planda tutulmadan mümkün olmayacağı görülmektedir. Hastanelerde tüketilen enerjinin büyük bir bölümünün HVAC cihazları ve aydınlatma sistemlerine ait olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla sağlık kuruluşları ve özellikle hastanelerde enerji tüketimlerini düşürebilmek için bu sistemlerin enerji verimliliği açısından mercek altına yatırılması gerekmektedir. Bu amaçla bina enerji tüketimi ve özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma potansiyeli ısıtma, soğutma, havalandırma ve diğer tüm enerji sistemlerinin tasarımında dikkate alınmalıdır. Böylece tasarım sürecinden işletme aşamasına kadar ilk yatırım maliyetleri ve enerji giderlerinde ciddi bir düşüş sağlanabilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı hastanelerdeki enerji tüketimini azaltabilmek için Türkiye'nin her bir iklim bölgesine özel olarak uygun tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesidir. Ayrıca sunulan öneri ve alternatiflerin uygulanması durumunda standart ve yönetmeliklerde belirtilen asgari şartlara uygun yapılan bir binaya göre elde edilecek tasarruf oranının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda bina yönü, bina kabuğunun opak ve cam yüzeyleri, aydınlatma sistemleri, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri için çeşitli öneriler sunulmuş ve her bir durumda elde edilecek tasarruf oranı değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

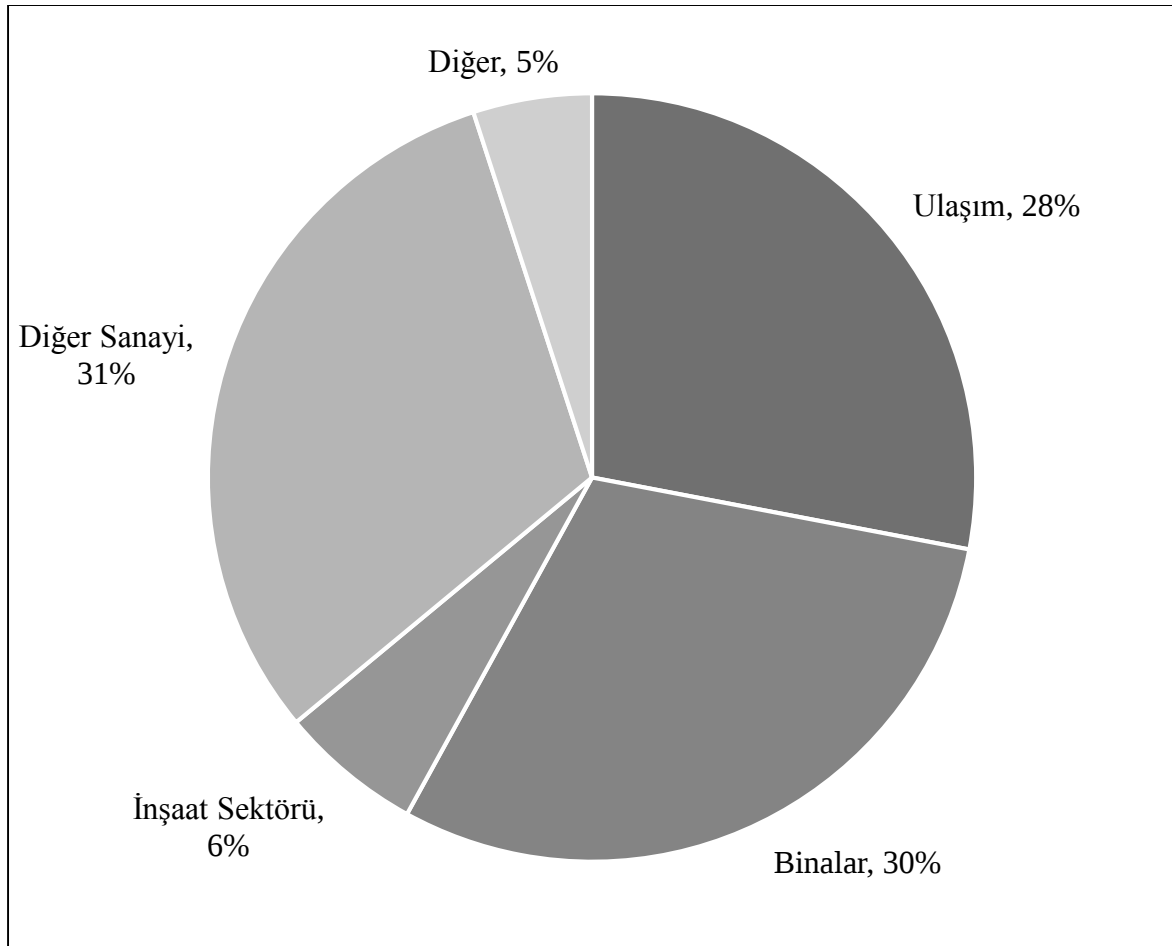
Ülkelerin ekonomik büyümesi şimdiye kadar enerji tüketimine paralel ilerlemiştir. Ancak ekonomik krizlerden kurtulmak ve gelecekte olası krizleri önlemek için büyüme ve enerji tüketimi arasındaki bu bağı zayıflaması kaçınılmazdır. Böyle bir eğilim ortalama verilerin arkasında saklı kalmış olsa da, bazı ülkelerin son yıllardaki tüketim değerlerinde göze çarpmaktadır. Örnek olarak sanayinin gelişmiş seviyede olduğu ülkelerde 2007-2014 yılları arasında toplam ekonomik büyüme %6.3' iken elektrik tüketimi %0.9 azaltılmıştır. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) için yapılan bir araştırmada bunun iki ana etkenden birinin ekonomik tasarruf olduğu belirtilmiştir. Buna örnek olarak Birleşik Krallıkta elektrik fiyatının %44 artışı bir dönemde, tüketim %12 azalmıştır. Bir diğer önemli etken ise enerji-tasarruf teknolojilerinin daha yaygın kullanımı olarak belirtilmiştir. Yalıtım, gelişmiş ısıtma ve soğutma sistemleri, verimli cihazlar ve aydınlatma sistemleri bu teknolojilerden bazılarıdır. Ancak 2050 yılına kadar küresel ısınmanın (çoğu bilim insanının tehlikeli ve geri dönülmez sınır olarak nitelendirdiği) 2 °C'nin altında tutulması hedeflenirse enerji tüketimi ve ekonomik büyümenin yolları tamamen ayrılmalıdır. Bunun gerçekleşmesi için en iyi olasılık enerji tasarrufunun yüksek oranda artmasıdır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) 2050 hedefine ulaşılması için günümüzde enerji verimliliğine yapılan yatırımın iki kattan fazlaya yükselmesi gerektiğini belirtmiştir. BM'nin raporuna göre ise yıllık yatırımın mevcut durumdaki 300 Milyar dolardan 680 Milyar dolara yükselmesi çok düşük bir olasılıktır [4].

Enerji tüketimlerinin en fazla olduğu sektörler doğal olarak en büyük enerji tasarruf potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda uluslararası Enerji Ajansı (EIA)'nın yayımladığı verilere göre binalar küresel son enerji tüketiminin %30'u (Çizelge 2.1) ve elektrik enerji ihtiyacının %55'den fazlası oluşturmaktalar. Ayrıca binalar ve inşaat sektörü birlikte son enerji tüketiminin %36'si ve doğrudan veya dolaylı olarak toplam karbon dioksit salınımının yaklaşık olarak %40'ından sorumludur [5].

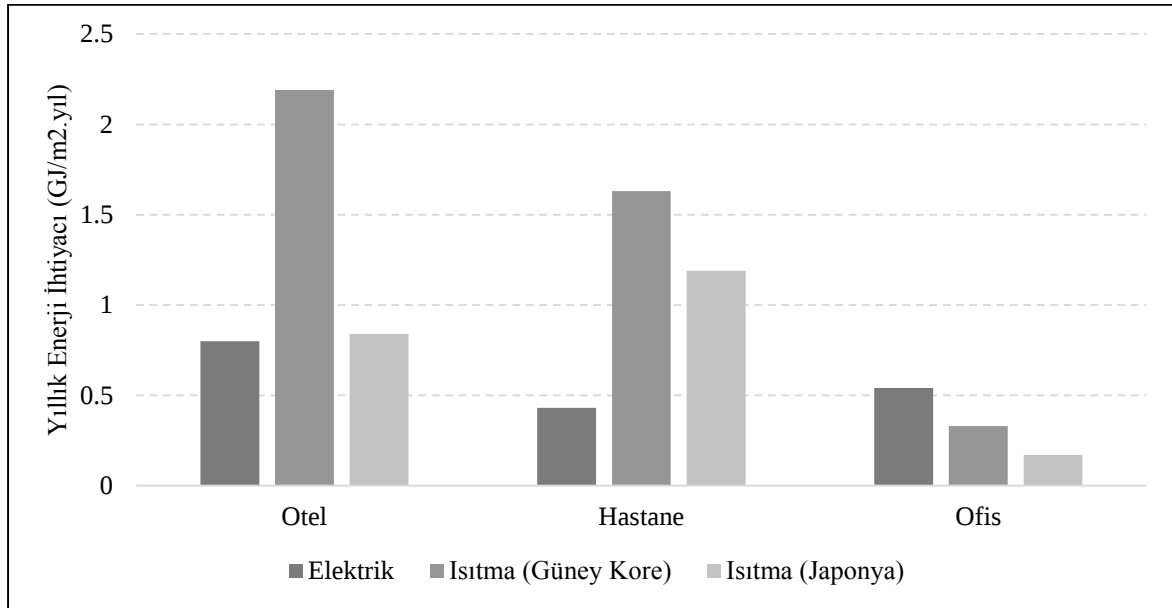
Binaların enerji tüketimi aydınlatma, iklimlendirme, elektrik ekipmanlar, kullanım sıcak suyu ve benzeri enerji sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Farklı enerji sistemlerinin toplam tüketimdeki payı bina tiplerine göre değişiklik göstermektedir. Güney Kore'de farklı kullanım amacı olan binalarda enerji yükleri için bir model oluşturma amacıyla 2015'te gerçekleştirilen bir çalışmada üç farklı bina tipinin (otel, hastane ve ofis) enerji tüketimleri veri toplama ve ölçüm yoluyla incelenmiştir. Bu incelemede ısıtma, soğutma, sıcak su ve

elektrik tüketimleri ile ilgili elektrik ve yakıt tüketimleri istatistiksel olarak ele alınmış ve ilgili yükler yıllık, aylık, günlük ve saatlik veriler şeklinde sunulmuştur. Araştırmada verilerinin toplandığı 43 bina arasından seçilen üç otel, iki hastane ve beş ofis binasında ölçüm yapılarak enerji tüketimleri izlenmiştir. Araştırma sonucu elde edilen ve Çizelge 2.2’de paylaşılan örnek verilere bakıldığında ise araştırma kapsamına giren bina türleri arasından otellerin en çok enerji tüketim yoğunluğuna sahip bina tipi olduğunu görebiliriz. Ayrıca hastanelerde tüketilen enerjinin yoğunluğu ise ofis binalarının üç katından daha fazla olduğu görünmektedir. Güney Kore ve Japonya verileri arasındaki ısıtma enerji farkı bir ölçüde iklim koşullarından kaynaklanıyor olsa da Güney Kore’de daha zayıf enerji yönetim uygulamalarının bir göstergesi olduğu yorumu paylaşılmıştır [6].

Çizelge 2.1. 2015 yılında sektörlere göre son enerji tüketim oranları



Çizelge 2.2. Yıllık ortalama enerji tüketimleri



Bunun gibi ulusal ve uluslararası çapta kapsamlı ve güvenilir verileri araştırmalar ve karar destek araçlarının enerji ve çevre politikalarının geliştirilmesinde önemli bir paya sahiptir. Ekonomik kısıtlamalar çerçevesinde etkin politikaların geliştirilmesi ve uygulanabilmesi için sektör çapında sera gazı salınımları ve enerji tüketimlerinin dağılımı ve yoğunluğunu anahtar bilgiler niteliğindedir. Bu konu tüm sektörlerde olduğu gibi binalar için de geçerlidir. Bu doğrultuda yapılan bir araştırmada binalardaki gerçek enerji tüketimi ile ilgili mevcut bilgilerin yeterliliğini değerlendirilmiştir. Bu kapsamda gerekli bilgilerin mevcut olup olmadığı, hangi bina tiplerine odaklanması gerektiği ve farklı enerji sistemlerinin ne oranda paya sahip olduğu sorularına cevap aranmıştır. Gelişmiş ülkelerde tüketilen enerjinin %20-40 'ı binalara aittir ve bu rakam Avrupa ve Amerika'da ulaşım ve endüstri sektörlerinden daha yüksektir. Çalışma kapsamında farklı bina tiplerinin enerji tüketim dağılımı ve yoğunluğunu yansıtan veriler paylaşılmıştır. Bu verilerden bazı örnekler Çizelge 2.3, Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5'te paylaşılmıştır. Ancak araştırmaya göre bu tüketimleri yansıtan gerekli bilgi ve verilerin yetersizliği sektörde yaşanan değişimlerin temel sebebini belirlenmesi ve enerji politikalarının geliştirilmesini güçleştirmektedir. Vurgulanmış olan önemli bir konu ise kaynaklar, çevre problemleri ve ekonomik krizler müsaade ettiği sürece binaların ve enerji tüketimlerinin artışta olacağıdır. Dolayısıyla özel ve yönetsel tedbirler sürdürebilir bir enerji geleceği için kaçınılmaz olarak görünmüştür. Ayrıca bu çalışma kapsamında ticari sektörde tüketilen enerjinin yüzdeleri bina tipine göre listelenmiştir. Ayrıca farklı kullanımı

olan binalardan enerji tüketim yoğunluğunun dağılımı paylaşılmış ve ofis binalarında son tüketim yüzdeleri sunulmuştur [7].

Çizelge 2.3. Ticari binaların kullanım amacına göre enerji tüketimleri

Bina Tipi	ABD (%)	İspanya (%)	Birleşik Krallık (%)
Mağazalar	32	22	22
Ofisler	18	33	17
Otel ve Restoranlar	14	30	16
Okullar	13	4	10
Hastaneler	9	11	6
Eğlence Merkezleri	6	-	6
Diğer	9	-	23

Yıl: 2003. EIA, IDAE ve BRE.

Çizelge 2.4. ABD'de bina tiplerine göre ortalama enerji tüketim yoğunlukları

Bina Tipi	Enerji Tüketim Yoğunluğu (kWh/m2.yıl)	Oran
Konut	147	1
Mağaza	233	1.6
Okul	262	1.8
Ofisler	293	2
Oteller	316	2.1
Süpermarketler	631	4.3
Hastaneler	786	5.3
Restoranlar	814	5.5

Yıl: 2003. Kaynak: EIA.

Çizelge 2.5. Ofis binalarında son kullanıma göre enerji tüketimi

Son Tüketim	ABD (%)	Birleşik Krallık (%)	İspanya (%)
İklimlendirme	48	55	52
Aydınlatma	22	17	33
Priz yükleri	13	5	10
Kullanım sıcak suyu	4	10	-
Gıda hazırlama	1	5	-
Buzdolapları	3	5	-
Diğer	10	4	5

Kaynak: EIA, BRE, ve IDAE.

Ülkelerin mevcut ekonomik ve teknoloji altyapısına uygun enerji verimlilik politikalarının geliştirilmesi sürdürülebilirlik hedefleri açısından gerekli ama yetersizdir. Enerji verimliliği

ve çevre politikalarının amacına ulaşabilmesi tasarım, uygulama ve işletme aşamasında gerekli standartların mevcut olması, korunması ve denetlenmesi önem arz etmektedir. Xie ve arkadaşları yaptıkları incelemede Çin'deki ticari ve konut binaları toplam enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olduğuna vurgu yaparak, bina enerji sektöründeki mevcut durumu ele almışlardır. Çin devleti bina enerji verimliliğini, enerji politikasının önemli bir parçası haline getirmiş ve buna yönelik bazı faydalı politikalar ve yönetmelikler ve yönetim sistemi uygulanmış ve tanıtılmıştır. Ancak araştırmaya göre bu politikalar ve yönetmeliklere rağmen Çin'in bina enerji verimliliği problemi, kalitesiz uygulama, yetersiz denetim ve standartlar ve aynı zamanda düşük enerji fiyatları sebebiyle beklendiği seviyede çözülememiştir [8].

Farklı ülkelerde yürürlükte olan enerji verimlilik standartları farklı yaklaşımlara sahip olmaktadır. Bu konuda yapılan bir araştırmada Perez-Lombart ve arkadaşları tarafından bina enerji performans standartları ve yönetmeliklerinin iklimlendirme sistemleri ile ilgili gelişimi incelenmiş ve çeşitli yönetmeliklerde ticari binalarda bu sistemler ile ilgili gereksinimlerin yapısı mercek altına alınmıştır. Araştırmaya göre Amerika'nın enerji standardı binaların enerji verimliliği için enerji performans gereksinimleri tanımlamanın yanı sıra minimum bir enerji performansına ulaşabilmek için yönlendirmeler içermektedir. Avrupa da ise her ülkede bağımsız olarak enerji verimliliği yönetmelikleri tanımlanmıştır. Ancak bazı ülkelerde bu yönetmelikler etkin olmadığından hiçbir zaman hedeflendiği mertebede uygulanamamıştır. Bazı yönetmeliklerde ise yönlendirici yaklaşımlar tamamen göz ardı edilmiştir [9].

Tasarım, uygulama ve işletme aşamasında hedeflenen enerji performansına ulaşabilmek adına resmi mecralar tarafından onaylanmış yönlendirici kılavuz ve el kitaplarının mevcut olması binaların yaşam döngüsü boyunca önemli faydalar sağlayabilmektedir. Bu alanda mevcut örnekler incelendiğinde çalışmaların bina tipi ve iklim bölgelerine göre değişiklik gösterdiği görülmektedir. Bu çalışmada da enerji tüketim yoğunluğu yüksek olan bir bina tipine odaklanılarak çeşitli iklim bölgelerinde enerji performansının iyileştirilmesi için olası uygulamaların etkisi incelenmiştir. Bu amaçla çalışma kapsamında Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesi için hastane binalarının enerji performansına uygulanabilecek olası iyileştirmeler değerlendirilmiştir.

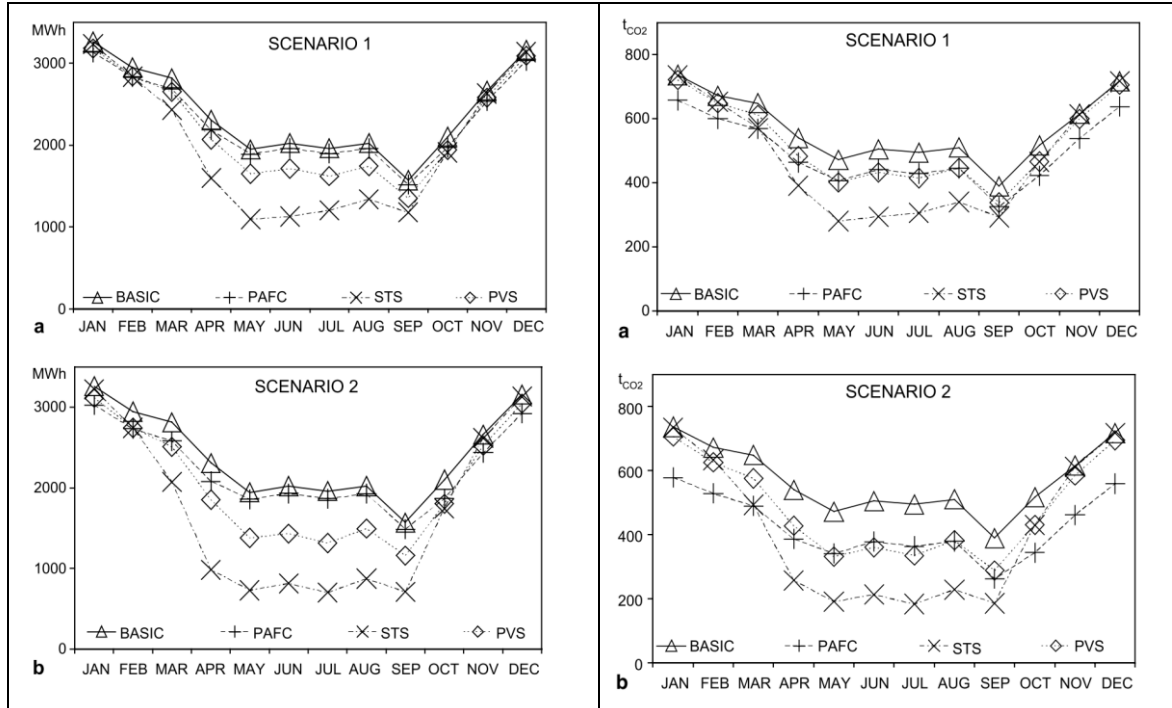
Sağlık kurumlarına ait binalar yüksek enerji yoğunluğuna sahip tek bina tipi değildir. Oteller, restoranlar ve süpermarketlerde de enerji tüketim yoğunluğa aynı oranda yüksektir. Ancak hastane binaları kullanım amaçlarından kaynaklı özel gereksinimlere sahiptir. İç ortam sıcaklık, nem, taze hava ve sağlık gereksinimleri hastane binalarını enerji tüketim davranışları açısından diğer bina tiplerinden farklı kılmaktadır.

Sağlık kurumlarının bu özel gereksinimlerinden dolayı, hastane binalarının enerji performansına yönelik yapılan araştırmalarda önerilen iyileştirmeler bu gereksinimlerin sağlanması çerçevesinde incelenmiştir. Buna örnek olarak Brezilyada yapılan bir çalışmada hastanelerdeki yüksek, sürekli ve güvenilir enerji ihtiyacı göz önünde bulundurulunca, doğal gaz kaynaklı birleşik ısı güç sistemlerinin (CHP) kurulmasının faydalı olabileceği Szko ve ark. tarafından önerilmiştir. Çalışma kapsamında Brezilya hastanelerinde CHP sistemi kurulmasının teknik potansiyeli incelenmiştir. Burada teknik potansiyelden amaç piyasadaki CHP sistemlerin teknolojik özellikleri ve hastanelerdeki enerji tüketimleri ve özellikleri hesaba katarak yapılan bir tahmindir. Çalışmanın kapsamında bu sistemlerin uygulanmasında Brezilya hastane sektöründe karşılaşılabilecek zorluklar listelenmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur. Sonuç olarak ülke genelinde 500 MWe CHP kurulumu için teknik potansiyel mevcut olduğu tahmin edilmiştir ve bu konu ile ilgili geliştirilecek enerji politikalarında piyasa engellerinin yanı sıra işin ekonomik boyutunu da hesaba katılması gerekliliği vurgulanmıştır. Ayrıca insan kaynaklarının eğitilmesi ve fizibilite çalışmalarının yürütülmesi gibi bu sistemlerin uygulanması için gerekli faktörler tartışılmıştır [10].

Binaların enerji tüketim davranışlarının incelenmesinde kullanılan parametrelerden biri son tüketimlerin enerji sistemleri arasındaki dağılımıdır. Bu dağılım Malezya'da bir hastane binası için Saidur ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışma kapsamında belirlenmiştir. Çalışmada farklı enerji tasarruf yöntemleri belirlenerek, bu yöntemlerden yüksek verimli elektrik motorlarının kullanımı mercek altına alınmıştır. Kısmi yükte verimli olan motorlar ve frekans kontrolü kullanımının sağladığı tasarruf oranı değerlendirilmiştir. Çeşitli yüklerde yüksek verimli motor uygulanmasının geri dönüş süresi bir sene olarak tahmin edilirken, frekans kontrol sistemlerine yapılacak bir yatırım sadece büyük kapasiteli motorlar için önerilmiştir [11].

Hastaneler ile ilgili Bizzari ve ark. Tarafından yapılan başka bir araştırmada kullanılan alışılmış sistemlerin yerine hibrid sistemlerin kullanılmasının çevresel faydalarına

odaklanmıştır. Bunun için Ferrara yakınında bir hastane model olarak kullanılmış ve yakıt hücreleri, solar termal ve fotovoltaik sistemler incelenmiş ve kıyaslanmıştır. Her bir sistem için enerji analizleri gerçekleştirilmiş ve şu an hastanede çalışmakta olan sistemle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ise mevcut sistemin, önerilen karma sistemlerle iyileştirilmesi durumunda, fosil yakıt tüketimlerine bağlı olarak salınımların ciddi biçimde azaltılabileceğine işaret etmektedir. Ayrıca tüm iyileştirme ve tadilat senaryoları için ekonomik çalışma yapılarak yıllık geri dönüş, basit geri dönüş süresi ve iç getiri oranı (IRR) hesaplanmıştır. Şekil 2.1'de çalışmada önerilen sistemlerin enerji tüketim ve karbon emisyonları iki farklı sistem kapasitesi için kıyaslanmıştır. Varılmış olan önemli sonuç ise ekonomik olarak bu sistemlerin ger dönüş sürelerinin beklenen çok daha uzun olup ve devlet destekleri olmadan gerçekleştirilmesinin zor olmasıdır [12].



Şekil 2.1. Yapılan bir çalışma kapsamında hastane binaları için farklı teknolojilerin kullanımıyla elde edilen aylık enerji tüketimleri ve salınım miktarları [12]

Sağlık kurumlarına ait binalarda enerji tasarruf potansiyellerinin araştırılmasına yönelik yapılan çalışmaların bir çoğunda belirli enerji sistemlerine odaklanılmıştır. Böylece araştırma konusu olan enerji sistemlerinde uygulanabilecek olası iyileştirmeler veya alternatif çözümlerin binaların enerji performansı üzerindeki etkisi değerlendirilmektedir. Örnek olarak Bujak tarafından yürütülen araştırmada büyük hastanelerin sıcak su sistemleri ele alınmıştır. Bu doğrultuda biri 715 yataklı ve diğeri 690 yataklı iki hastanenin tüketimleri dört

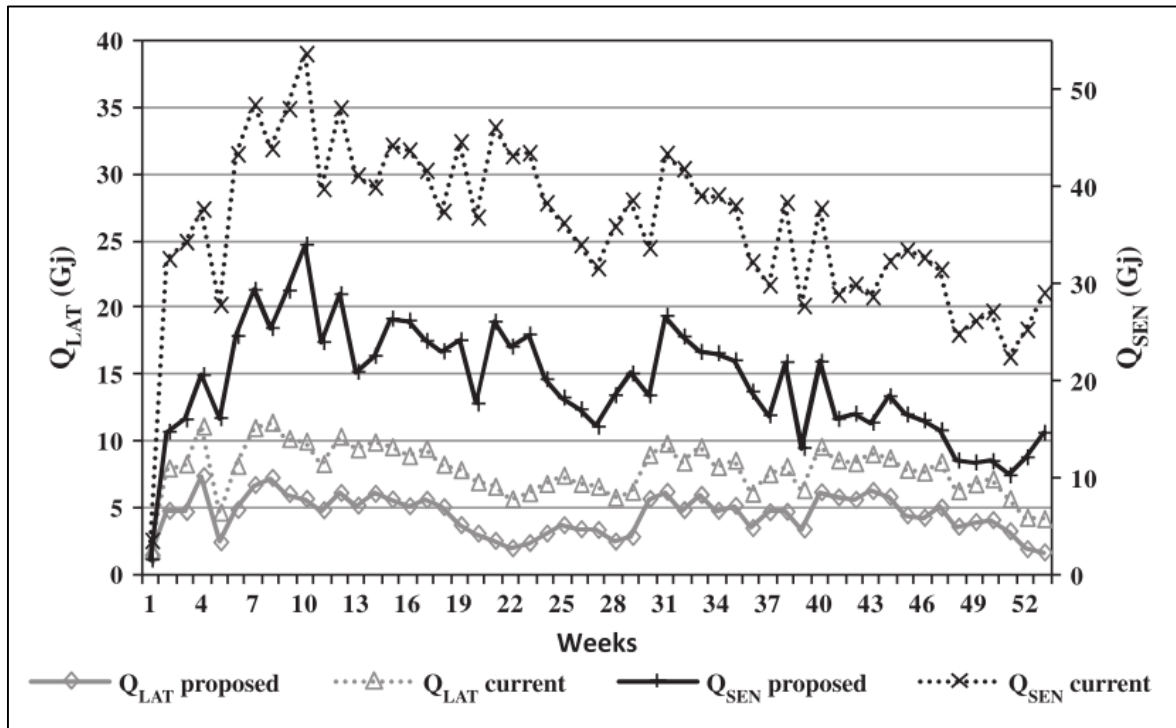
sene boyunca incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı sıcak su ihtiyacını karşılamak için tüketilen enerjinin sezonluk değişimini incelemektir. Elde edilen sonuçlar yıllık, aylık, günlük ve saatlik olarak paylaşılmıştır ve özellikle günlük ve saatlik sıcak su hazırlamaya ait tüketimlerin düzensizlik katsayısına vurgu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar benzer kapasitede hastanelerin tasarımında kullanım sıcak su yüklerinin tahmin edilmesinde kullanılabilir. Buradan elde edilen sonuçlar özellikle sabit ve düşük sıcak su ihtiyacı olan mevcut tesislerde yenilenebilir enerji kullanımı veya enerji geri dönüşümünün değerlendirilmesi için faydalı olacaktır [13].

İklimlendirme sistemleri hastane binalarında tüketilen enerjinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu yüzden bu sistemlerde uygulanacak tasarruf önlemlerinin etki oranı da daha yüksek olacaktır. Ancak çeşitli sistem tipleri ve olası tasarruf önlemleri arasından en uygun olanların seçilmesi ancak detaylı araştırmalar kapsamında belirlenebilmektedir. Bu bağlamda yapılan bir araştırmada, iklimlendirme sistemlerinde enerji tasarrufu stratejileri Vakıroaya ve arkadaşları Tarafından gözden geçirilmiştir. Çalışmada dünyanın çeşitli ülkelerinde binalardaki enerji tüketimlerine dikkat çekilmiş ve konfor seviyeleri ve iç ortam kalitesinden ödün vermeden binalarda enerji tüketilmelerinin azaltılmasının önemi vurgulanmıştır. Çalışma kapsamında evaporatif soğutma, ısı depolama, ısı geri kazanım, toprak kaynaklı ve değişken soğutucu akışlı (VRF) sistemlerinin artılar, eksileri, ilk yatırım maliyetleri ve kullanım alanları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak gelinen noktada mevcut sistemlerin yenilikçi yaklaşımlar ile birlikte kullanılması yoluyla enerji tasarrufu ve konfor şartları açısından etkili çözümler elde edilebileceği öngörülmüştür. Ayrıca enerji etkin bir tasarıma ulaşmak için, iklim şartları, ilk yatırım maliyeti, istenilen konfor şartları, mevcut enerji kaynakları ve binaların kullanım amacının göz önünde bulundurulması gerekliliğine dikkat çekilmiştir [14].

Gelişmekte olan bina teknolojilerinin kullanımı hastane binaların enerji performansına yönelik araştırmaları konu olan alanlardan birisidir. Bu çalışmaların bir örneği olarak Bizzarri ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada hastane binalarının enerji tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünde yakıt hücrelerinin etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada verimli sistemlerin önemini vurgulayarak, bu sistemlerin arasından, yüksek verim ve düşük çevresel etkisinden dolayı, yakıt hücrelerinin en umut vericilerinden biri olduğu belirtilmiştir. Çalışmada yakıt hücrelerinin tipik bir hastanede kullanılması yoluyla hastanenin enerji ihtiyacının eniyilemesi gerçekleştirilmiştir. Elde

edilen sonuçlarda ise dikkate değer ölçüde enerji tasarrufu ve emisyon azalması gözlemlenmiştir [15].

Binaların enerji performansı enerji sistemlerinin verimlilik seviyesinin yanı sıra işletme parametrelerinden de etkilenmektedir. Bunun bir örneği Bhaskoro ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmada ele alınmıştır. Çalışmada sıcak ve nemli iklim şartlarına sahip olan Malezya’da yer alan bir üniversite binasında iç ortam sıcaklık set değerlerinin sıcak dış ortam şartlarına göre değiştirilmesinin soğutma kaynaklı tüketimlere olan etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla binanın enerji modeli oluşturulup, saha verileri toplanarak doğrulandıktan sonra binanın soğutma özellikleri ele alınmış ve enerji tüketimleri mevcut durum ve önerilen durumla kıyaslanmıştır. Çalışmada getirilen önerilen uygulandığında enerji tüketimlerinde 305.150 kWh azalma gözlemlenmiştir [16].



Şekil 2.2. Çalışma kapsamında incelenen binanın haftalık ortalama soğutma yükleri

Binaların enerji performansı ile ilgili yapılan araştırmalarda kullanılan en önemli araçlardan biri bina enerji modellemesidir. Bina enerji modelleri binaların ısı davranışını temsil eden ve binanın tüm enerji sistemlerini içeren matematiksel modellerdir. Trcka ve arkadaşları tarafından yapılan incelemede iklimlendirme sistemlerinin farklı araçlar için modelleme ve simülasyon detayları ele alınmıştır. Çalışma kapsamında bu araçların çözmeyi hedefledikleri

problemlere göre sınıflandırılmış ve her bir araç için örnekler sunulmuştur. Ayrıca çalışmada iklimlendirme cihazları, kontrol sistemleri ve sistem akışının modellenmeleri için mevcut yaklaşımlar ve yöntemler değerlendirilmiştir. İnceleme kapsamında farklı amaçlar için yapılan araştırmalarda nasıl bir yaklaşımın seçilmesi gerektiği ile ilgili öneriler paylaşılmıştır. Araştırmaya göre binaların tasarım aşamasında öngörülen performans hedefleri, binaların işletme aşamasında gerçekleşen performansından %40'a kadar sapma gösterebilmektedir. Bu farklılık tasarım alternatiflerinin karşılaştırılmasını etkilemese de doğru tasarım kararları verilebilmesi için bu farklılıkların nereden kaynaklandığını anlamak ve belirsizliklerin sistem modeline dâhil edilmesi gerekmektedir. Ayrıca bu araçların birçoğunun modelleme kabiliyetleri önceden belirlenmiş sistem türlerine kısıtlanmaktadır. Yeni bina teknolojilerinin yenilikçi tasarımlar çerçevesinde değerlendirilebilmesi adına modelleme araçların yapısında öngörülmemiş sistemlerin incelenmesine müsaade eden esnek modelleme ortamlar geliştirilmelidir. Her ne kadar problemlerin yapısı kullanılabilecek araçları kısıtlasa da, kullanıcıların seçim yapması için yine de birçok seçenek mevcuttur. Problemlerin gerektirdiği dikkati göz önünde bulundurularak kullanılabilecek araçlar konusunda herhangi bir yönlendirme veya yönetmelik mevcut değil. Bu konu daha fazla çalışma yapılması gereken alanlardan birisidir [17].

Benzer bir araştırmada enerji tasarruf önlemlerinin değerlendirilmesinde ilk adımın tüketimlerin doğru şekilde hesaplanması olduğuna dikkat çekilmiştir. Congradac ve arkadaşları tarafından yürütülen bu çalışmada bir mahal veya binanın enerji ihtiyacının belirlenmesi için matematik bir modelin geliştirilmiştir. Bu model yardımıyla örnek bir hastane binasının farklı mahalleri için elde edilen ısıtma ve soğutma ihtiyaçları diğer modelleme araçlarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar doğrulama ve ölçümleme amacıyla kullanılmıştır. Doğrulama sonrasında modelin tasarruf önlemlerinin değerlendirilmesinde kullanılabileceği ve ana avantajının kullanım kolaylığı olduğu vurgulanmıştır [18].

3. TEORİ

Binaların enerji performansının değerlendirmesinde kullanılan araçlardan biri binaların matematiksel modelidir. Bu model binada gerçekleşen enerji akışlarının doğru şekilde temsil etmelidir. Ayrıca enerji akışlarının, konfor ve enerji ihtiyacını ne şekilde etkilediğini öngörebilmesi gerekmektedir. Bir binanın enerji performansını simgeleyecek olan matematik modelin geliştirilmesinde binanın çevresiyle olan etkileşiminin hangi mecra ve mekanizmalar yardımıyla gerçekleştiği ele alınmalıdır. Ayrıca tüketilen enerjinin amacı göz önünde bulundurularak, binanın tükettiği enerjiyi ne kadar etkin biçimde kullandığı bu modelin yardımıyla incelenip ve değerlendirile bilmelidir.

Tüm bu gereksinimlerin model tarafından yerine getirilmesi için, çeşitli alanlardan teoriler kullanılmalıdır. Binanın dış ortam ile arasındaki etkileşimin incelenmesi ancak ısı transfer teorileri yardımıyla mümkün olacaktır. Diğer yandan iç ortam kalitesi standartları binada yaşayan insanların konforunun sağlanması için, ortamın hangi şartlarda tutulması gerektiğini belirlemektedir. Bu standartların konfor şartların tanımı için kullandığı parametreler ve ilgili hesaplamaların bina modeline dâhil edilmesi kaçınılmazdır. Ayrıca bu konfor şartlarının ne oranda yerine getirildiği ve yerine getirilmesi için gereken enerji ihtiyacını belirleyebilecek denklemler modelde içerilmelidir. Bu özelliklere sahip bir bina modelinin oluşturulması için gerekli olan teoriler bu bölümde ele alınmıştır.

3.1. Isı Transferi

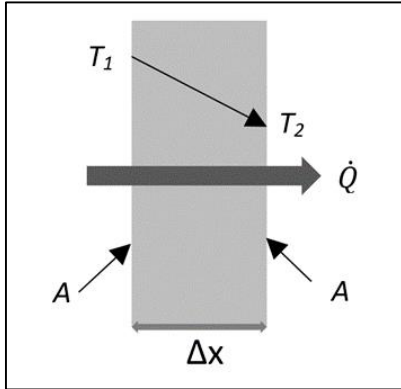
Farklı sıcaklıklara sahip iki sistemin birinden diğerine aktarılan enerji, termal enerji veya ısı olarak adlandırılır. Buradan bu aktarımın gerçekleşmesi için sıcaklık farkının temel gereksinim olduğu anlaşılmaktadır. Gerçek hayatta karşılaşılan sistemlerin birçoğunun tasarımında aktarılan ısı miktarının yanı sıra ısı aktarım oranı büyük önem arz etmektedir. Birim zamanda gerçekleşen ısı aktarımı, ısı transfer oranı olarak tanımlanmaktadır. Isı transfer oranı $\dot{Q}$ ile simgelenmektedir ve birimi J/s veya Watt'dır [19]. Isı transferi özellikle binaların tasarım ve işletmesinde büyük önem taşımaktadır. Bina kabuğu ve istenilen iç ortam koşullarını sağlayan pasif ve aktif sistemlerin tasarımı ve enerji tüketimlerinin azaltılabilmesi için bina ile dış ortam arasında gerçekleşen ısı transferleri büyük önem taşımaktadır.

3.2. Isı Transfer Mekanizmaları

Isı transferi üç farklı şekilde gerçekleşebilmektedir. Bunlar iletim, taşınım ve radyasyon mekanizmalarıdır. Bu mekanizmaların hepsinin gerçekleşmesi için temel gereksinim iki ortam arasında sıcaklık farkı bulunmasıdır ve bu mekanizmaların hepsinde ısı transferi yüksek sıcaklığa sahip olan ortamdan düşük sıcaklıklı ortama gerçekleşmektedir. Bu mekanizmaların her biri ileriki bölümlerde kısaca anlatılmıştır.

3.2.1. İletim

Bir nesneyi oluşturan parçacıkların etkileşimi, enerjinin yüksek enerji seviyeli parçacıklardan yakınında bulunan düşük enerji seviyesine sahip parçacıklara aktarılmasına sebep olur. Bu mekanizma ile gerçekleşen enerji aktarımı iletim ile ısı transferi olarak tanımlanmaktadır. Bir ortamdan gerçekleşen ısı transfer oranı ortamın geometrisi, kalınlığı, malzemesi ve iki tarafındaki sıcaklık farkına bağlı olmaktadır. Başka bir deyişle bir yüzeyden gerçekleşen ısı iletimi, iki tarafındaki sıcaklık farkı ve ısı transfer yüzeyi ile doğru orantılı ve yüzeyin kalınlığı ile ters orantılıdır. Bu orantı Fourier'in ısı iletim yasası ile aşağıdaki şekilde açıklanır:



Şekil 3.1. Δx kalınlığı ve A yüzey alanına sahip bir duvarda gerçekleşen ısı iletimi

$$\text{Isı Transfer Oranı} \propto \frac{(\text{Alan})(\text{Sıcaklık Farkı})}{\text{Kalınlık}} \quad (3.1)$$

Veya

$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (3.2)$$

Burada;

$\dot{Q}_{cond}$ = Isı transfer oranı (W)

k = Termal iletkenlik katsayısı (W/m.K)

A = Yüzey alanı (m²)

$T_{1,2}$ = Yüzeyin iki tarafındaki sıcaklık (K)

Δx = Kalınlık (m)

Eş. (3.2) orantı sabiti olan termal iletkenlik katsayısı (k) malzemenin birim kalınlığından ve birim yüzey alanı ve birim sıcaklık farkı başına gerçekleşen ısı transferi olarak tanımlanmaktadır [19].

3.2.2. Taşınım

Taşınım katı bir yüzey ve yanındaki hareketli sıvı veya gazın arasında gerçekleşen enerji transfer şeklidir. Taşınım, iletim ve akışkan hareketinin her ikisinin etkisini içermektedir. Akışkan hareketi ne kadar hızlı olursa taşınım ile ısı transferi o kadar fazla olur. Akışkanın hareketsiz olması halinde katı yüzey ve kenarındaki akışkan arasında ısı transferi sadece iletim yolu ile gerçekleşir. Taşınım ile ısı transfer oranı sıcaklık farkı ile orantılıdır ve aşağıda açıklanan Newton'un soğuma yasası ile açıklanabilmektedir:

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (3.3)$$

Burada;

$\dot{Q}_{conv}$ = Taşınım ısı transfer oranı (W)

h = Taşınım ısı transfer katsayısı (W/m².°C)

A_s = Taşınımın gerçekleştiği Yüzey alanı (m²)

T_s = Yüzey sıcaklığı (°C)

T_{∞} = Akışkanın yüzeyden yeteri kadar uzak bir noktada sıcaklığı (°C)

Burada taşınım katsayısı (h) akışkanın fiziksel özelliği değildir. Bu katsayının değeri deneysel olarak belirlenmektedir ve değeri yüzey geometrisi, akışkan hareketi, akışkanın özellikleri gibi taşınım hızını etkileyen tüm parametrelere bağlıdır [19].

3.2.3. Işınım (Radyasyon)

Bir nesne tarafından elektromanyetik dalga veya fotonlar şeklinde yayımlanan enerji radyasyon olarak adlandırılmaktadır. Radyasyon ile ısı transferi nesnenin atom veya molekülerinin elektron yapısındaki değişimler yardımıyla gerçekleşmektedir. İletim ve taşınım aksine radyasyon ile gerçekleşen ısı transferi için aracı bir ortam gereksinimi yoktur. Stefan-Boltzmann yasasına göre T_s sıcaklığında bir yüzeyden gerçekleşebilen en yüksek radyasyon oranı aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_{emit,max} = \sigma A_s T_s^4 \quad (3.4)$$

Burada;

σ = Stefan-Boltzmann sabitidir ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

A = Yüzey alanı (m^2)

T_s = Yüzey sıcaklığı (K)

Bu oranda radyasyona sahip ideal yüzey, siyah cisim olarak adlandırılır. Gerçek yüzeylerden gerçekleşen radyasyon oranı siyah cisimden daha düşüktür. Gerçek yüzeylerden gerçekleşen radyasyon oranı ise Eş. (3.5) yardımıyla hesaplanabilmektedir:

$$\dot{Q}_{emit} = \epsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (3.5)$$

Burada;

ϵ = Yüzeyin yayım kabiliyeti (emisivitesi) ($0 \leq \epsilon \leq 1$)

Yüzeyin yayım kabiliyeti, o yüzeyin siyah cisme göre yayım oranını göstermektedir. Bu değer siyah cisim için $\epsilon=1$ olmaktadır.

Radyasyon ile ısı transferinde bir diğer önemli özellik yüzey soğurganlığıdır (absorptivite). Soğurganlık bir yüzeye düşen radyasyonun ne oranda soğurulduğunu göstermektedir. Siyah cismin üzerine düşen radyasyonun tamamı soğurulur. Bir yüzeyin soğurduğu ısı Eş. (3.6) hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_{absorbed} = \alpha \dot{Q}_{incident} \quad (3.6)$$

Burada;

$\dot{Q}_{\text{incident}}$ = Yüzeğe düşen radyasyon oranıdır (W)

α = Yüzeyin soğurganlığı (-)

Şeffaf olmayan yüzeylerde yüzeyin üzerine gelen radyasyonun soğurulmayan kısmı geri yansıtılır. Bir yüzeyden gerçekleşen ve yüzeyim üzerine gelen radyasyon oranlarının arasındaki fark net radyasyon ısı transferini göstermektedir [19].

3.3. Bina Isıtma ve Soğutma Yükleri

Binaların ısıtma ve soğutma yükü hesapları ile ilgilenen birçok kişi bu işin zorlayıcı bir süreç olduğu düşüncesini paylaşmaktalar. Bu zorluğun temel sebepleri:

- Isı transferinin üç farklı biçimi ile gerçekleşmesi; iletim, taşınım ve ışıınım
- Birbirinden bağımsız ve zamanla değişiklik gösteren çok sayıda ısı kaynağının mevcut olması,
- Isının, duvar, çatı ve döşeme gibi bina bileşenlerinde depolanması ve dışarıya atılması ve bunun kararsız bir ısı transfer süreci olması,

olarak sayılabilmektedir. Bina yüklerinin hatasız şekilde hesaplanabilmesi için tüm bu etkenlerin hesaba katılması gerekmektedir. Bina ısı transferinin incelenmesinde kullanılan bazı temel terimler burada açıklanmıştır.

Isı Kazancı: İletim, taşınım veya ışıınım yollarıyla, belirli bir kaynaktan bir odanın içine giren toplam ısı miktarıdır.

Yük: Oda havasına aktarılan ısı miktarıdır. Odanın belirli bir sıcaklıkta tutulabilmesi için bu ısı, iklimlendirme cihazları yardımıyla atılmalıdır.

Isı Alımı: Mahal sıcaklığının değişmesi ile birlikte mekanik cihazlar tarafından mahalden alınan gerçek ısı miktarıdır.

Bu terimlerin daha iyi bir şekilde anlaşılabilmesi adına aydınlatma örneği incelenebilir. Aydınlatmadan oluşan ısı kazancı taşınım ve ışıınım şeklinde gerçekleşmektedir. Taşınım yoluyla iletilmiş olan ısı mahal havasını ısıtarak olduğu anda ısı yükü oluşturmaktadır. Işıınım yoluyla yayılan ısı ise duvar, tavan ve döşeme yüzeyleri ve oda mobilyası tarafından

emilerek yüzey sıcaklıklarının artmasına sebep olmaktadır. Daha sonra bu ısı mahal havasına taşınım, yüzeylerin mücavir kütlesine iletim ve diğer yüzeylere tekrar ısıma yoluyla aktarılarak o saat ve sonraki saatlerde ısı yüküne dönüşmektedir. Bu süreç bir kararsız ısı transferi sürecidir. Mekanik cihazların değişken yüke tepkisiyle mahal sıcaklık termostatının tepki aralığında kalmaktadır. Uzun bir zaman dilimi içerisinde mahalden alınan toplam ısı, toplam yük ile eşit olabilmektedir ancak mekanik cihazlar ve termostatların davranışı gereği alınan ısı tüm anlarda ısı yükü ile aynı olmayabilir. Mekanik cihazların ısı yükünün tamamını karşılayamadığı durumlarda ise karşılanmayan yük saatleri (İngilizcede: “unmet load hours”) oluşabilmektedir. Bu ısı süreçlerinin tüm önemli yönlerini hesaba katmak için gerekli olan denklemler fazlasıyla karmaşık ve uzun olabilmektedir [20-21].

3.3.1. Isı dengesi yöntemi

“Isı Dengesi” yöntemi binalardaki ısı transferi problemlerini çözmek adına en dakik yaklaşımdır. Bu yöntem binada gerçekleşen her bir iletim, taşınım, ısınım ve ısı depolanması sürecini, ısı transferi ve termodinamiğin temel kurallarını kullanarak hesaba katmaktadır. Bir mahal ile ilintili olan her bir yüzey veya kütle bileşeni bir “düğüm” olarak adlandırılırsa, mahallerde bulunan tüm düğümler için denklemler oluşturulmaktadır. Kütle bileşenleri için ısı dengesi basit olarak bunu belirtir:

$$\text{Giren Isı Oranı} - \text{Çıkan Isı Oranı} = \text{Depolanan Enerji Oranı}$$

Yüzeyler ise kütleye sahip olmadıklarından, ısı dengesi denklemi bu şekilde değişmektedir:

$$\text{Giren Isı Oranı} - \text{Çıkan Isı Oranı} = 0$$

Her bir nod'da giren ve çıkan ısı oranını belirlemek için tüm taşınım, iletim ve ısınım süreçleri temsil edilmelidir. Genellikle bu süreçler diferansiyel ısı transfer denklemleri veya bu denklemlerin lineer şekli olarak temsil edilmektedir. Tüm ısı dengelerinin eşzamanlı çözülmesiyle birlikte mahal havasına taşınan ısı miktarı belirlenebilmektedir. Aktarılan bu ısı mahallin ısı yükünü oluşturmaktadır.

Örnek olarak yine sadece aydınlatma kaynaklı ısı yükünün hesaplanması için içerilen süreçler bu şekilde listelenebilir:

- Aydınlatma armatüründen mahal havasına taşınan ısı

- Aydınlatma armatüründen her bir mahal yüzeyine gerçekleşen ısıma
- Mahalde bulunan her bir yüzeyde gerçekleşen iletim, taşınım ve ısıma
- Yüzeyler ile temasta olan kütle bileşenlerinde gerçekleşen iletim ve ısı depolama.

Mahalden atılan ve mahalle aktarılan ısı miktarının belirlenebilmesi adına her bir saat için denklemler formüle edilip çözülmesi gerekmektedir. Dikkat edilmesi gereken konu yukarıda listelenen süreçlerin yanı sıra, mahal yüzeylerinde, mahalde bulunan cihazlar ve insanlardan olan ısı kazancı ve ayrıca duvarlar, tavan ve döşemeden de ısı aktarımı eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Mahal havasına aktarılan toplam ısı miktarı veya başka bir deyişle mahallin ısı yükünün belirlenmesi adına tüm süreçler eşzamanlı olarak değerlendirilmelidir.

Bu şekilde gerçekleştirilen bir incelemenin sonucu, ısı kaynakları ve mahallin fiziksel ve geometrik özelliklerini açıklayan verilerine dikkati mertebesine bağlı olarak, çok yüksek doğruluk seviyesine sahip olabilmektedir. Böyle bir hesaplamanın gerçekleştirilebilmesi için çok yüksek işlem gücüne sahip bilgisayarlara ihtiyaç duyulabilmektedir. Ancak Isı Dengesi yönteminden yola çıkarak geliştirilen bazı yöntemler belli varsayımlar yaparak yüksek hassasiyetle bina yükünü tahmin edip ve aynı zamanda hesaplama zamanını kısaltabilmektedir [20-21].

3.3.2. Transfer fonksiyonu yöntemi

Bu yöntem “Tepki Faktörü İlkesi” (İngilizcede: “Response Factor Principle”) olarak bilinen fikir üzerine kurulmuştur. Bu ilkeye göre belirli bir mahalde her bir ısı kazanç türü için termal tepki şekli (örn. ısı kazancının yüke dönüşmesi) aynı olacaktır. Başka bir deyişle yük miktarı değişebilir ama ısı kazancının yüke dönüşme modeli aynı olacaktır. Tepki Faktörü İlkesinin kendisi üç başka ilkeye dayanmaktadır:

- Üst Düşüm İlkesi (İngilizcede “The principle of superposition”): Odanın toplam yükü, ısı kazancı bileşenlerinden her biri için hesaplanan yüklerin toplamına eşittir.
- Doğrusallık İlkesi (İngilizcede: “The principle of linearity”): Isı kazancına karşı oluşan termal tepkinin büyüklüğü, ısı kazancının miktarıyla doğrusal olarak orantılıdır.
- Değişmezlik İlkesi (İngilizcede: “The principle of invariability”): Bir odada farklı zamanlarda oluşan aynı büyüklükte iki ısı kazancı, aynı termal tepkiyi oluşturacaktır.

Bu üç ilkenin yardımıyla binaların Isı Dengesi Yöntemiyle analizi basitleştirilebilmektedir.

Üst Düşüm İlkesinin yardımıyla ısı transfer problemi daha kolay çözülebilecek parçalar bölünebilmektedir. Bunun sebebi ise bu ilkenin ayrı olarak tanımlanabilen her bir ısı kazancı bileşeninden kaynaklı yükün ayrı olarak hesaplanmasına müsaade etmesidir. Örnek olarak dış duvardan ve aydınlatmadan olan kazançlardan kaynaklı yüklerin ayrı ayrı hesaplanarak, toplam yükünün belirlenmesi için toplanmasına müsaade etmektedir. Bunun aksine Isı Dengesi Yöntemine göre bir mahaldeki tüm ısı kazançlarının eş zamanlı olarak göz önünde bulundurulması istenmektedir.

Ayrıca Üst Düşüm İlkesine göre her saatteki ısı kazancı ayrı olarak değerlendirilebilir. Böylece her bir saatteki ısı kazancından kaynaklı yükler aynı ve sonraki saatlerde belirlenerek, her saate oluşan yükün bu yüklerin toplanmasıyla hesaplanabilmektedir. Halbuki Isı Dengesi yöntemine göre şu anki saatte ve önceki saatlerdeki ısı kazançlarının etkisinin eşzamanlı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Doğrusallık ve Değişmezlik ilkeleri hesaplamaların ciddi oranda azaltılmasını mümkün kılmaktadır. Her bir ısı kazancı bileşeninden kaynaklanan yük olgusu değişmediğinden dolayı, bu olgunun bir kereye mahsus Isı Dengesi hesaplamaları yardımıyla belirlenmesi yeterli olacaktır. Daha sonra her yükün ısı kazancı büyüklüğü ile doğrusal orantısı hesaba katılarak her bir saatlik ısı kazancından kaynaklanan yük basit denklemlerle hesaplanabilmektedir.

Transfer Fonksiyonu Yönteminin kullanımıyla her bir ısı kazancı bileşeni için mahal yükünü ısı kazancı ve zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlayan bir matematik ilişki tanımlanabilir. Daha sonra bu ilişki kullanılarak her saatteki yük hızlıca belirlenebilmektedir. Mahal Transfer Fonksiyonu Denklemi olarak adlandırılan bu ilişki bu şekildedir:

$$Q_0 = v_0 q_0 + v_1 q_1 + v_2 q_2 - w_1 Q_1 - w_2 Q_2 \quad (3.7)$$

Burada:

Q = Mahal yükünü belirtmektedir (W). Kullanılan indisler ise belli bir zamana işaret etmektedir. 0 geçerli saat, 1 bir önceki ve 2 iki önceki saatlere referans vermektedir.

q = Isı kazancını temsil etmektedir. Kullanılan indisler ise belli bir zamana işaret etmektedir. 0 geçerli saat, 1 bir önceki ve 2 iki önceki saatlere referans vermektedir.

v, w = Transfer fonksiyonu katsayılarıdır.

Bu katsayıların değeri ısı kazançlarının yüke dönüşmesinde dâhil olan faklı ısı transfer süreçlerinden dolayı her bir ısı kazancı türü ve odalar arasında değişebilmektedir. ASHRAE tarafından bu katsayıları farklı ısı kazancı bileşenleri, oda tipleri ve bina ağırlıkları için belirten tablolar yayınlanmıştır.

Başka bir deyişle, Mahal Transfer Fonksiyon Denklemine göre geçerli saatteki yük o saat ve önceki iki saatteki ısı kazançları ve önceki iki saatteki yüklerin fonksiyonudur. Önceki iki saatteki yüklerin kendisi daha önceki saatlerdeki ısı kazançlarına bağlı olduğundan dolayı, geçerli saatteki yük birçok önceki saatlerdeki ısı kazançlarına bağlı olmaktadır.

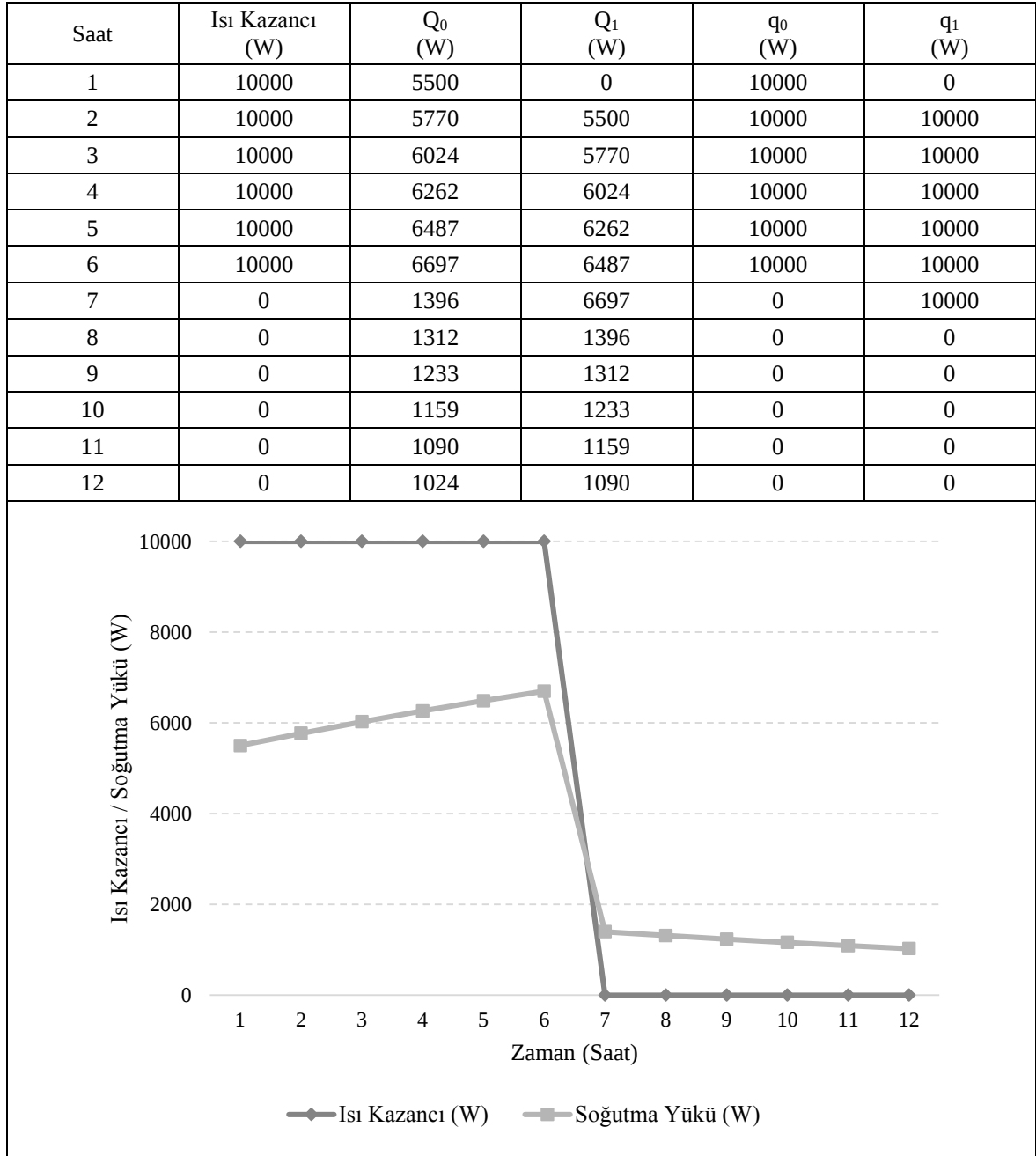
Mahal Transfer Fonksiyonunun kullanılması için önce transfer fonksiyon katsayıları elde edilmelidir. Daha sonra her bir ısı kazancı için yük iki adımda hesaplanabilmektedir:

- Isı kazançlarının birkaç saat için belirlenmesi
- Isı kazançları ve transfer fonksiyon katsayıları Mahal Transfer Fonksiyonunda kullanılarak yüklerin hesaplanması

Belirli bir oda tipi ve aydınlatma armatürü için örnek ısı kazancı ve yük değişimi aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. Burada ASHRAE tarafından yayımlanan Mahal Transfer Fonksiyonu katsayılar bu şekildedir: $v_0 = 0.55$, $v_1 = -0.49$, $v_2 = 0.0$, $w_1 = -0.94$, $w_2 = 0.0$.

Aşağıdaki 12-saatlik bir zaman aralığı için hesaplanan ısı kazancı ve yük profili ve değerleri paylaşılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken konu yüklerin ısı kazançlarından daha düşük olmasıdır. Bunun sebebi ise ısı kazancının büyük bir kısmının ısıma şeklinde olmasıdır. Bu şekilde aktarılan ısı duvarlar, döşeme ve mobilya kütlesi tarafından emilerek sonraki saatler içerisinde taşınım yoluyla mahal havasına aktarılması ve tüm bu saatlerde soğutma yükü oluşturmaktadır. Bu süreç ısı kazancının gerçekleşmesi ve tamamen soğutma yüküne dönüşmesi arasında bir gecikme oluşturmaktadır. Bu gecikme ısı kazancının türü ve bina bileşeninin yapısı bağlı olmaktadır. Ayrıca ısı kazançları sıfırlandıktan sonraki saatlerde yüklerin devam ettiğine dikkat edilmelidir. Bunun sebebi yine de ısıma yoluyla aktarılan ve emilmiş olup sonraki saatlerde mahalle eri aktarılan ısı olmaktadır.

Çizelge 3.1. Isı yükü hesaplama örneği



Tüm mahal yükleri aynı iki adımlı yöntem yardımıyla hesaplanabilmektedir, ancak duvar ve çatıdan iletilen yüklerin hesaplanması özel dikkate gerektirmektedir. Bunun sebebi ısı kazancının duvar veya çatının dış yüzeyinde oluşan yükün iç yüzeye gecikmeli olarak ulaşmasıdır. Dolayısıyla kararsız ısı transferi ısı kazancı hesaplamalarında dikkate alınmalıdır. Transfer fonksiyonu kararsız ısı transferi süreçlerini temsil etmek için geçerli olduğundan dolayı, duvar ve çatıdan gerçekleşen ısı kazançlarının hesaplamasında da kullanılabilir. Bir dış duvar örneği ele alınırsa, yükün hesaplanması için ilk adım

“İletim Transfer Fonksiyonu Denklemi” kullanılarak duvarın iç yüzeyinde oluşan kazancın hesaplanması olacaktır:

$$\frac{q_0}{A} = b_0 t_{e_0} + b_1 t_{e_1} + b_2 t_{e_2} + b_3 t_{e_3} + b_4 t_{e_4} + b_5 t_{e_5} + b_6 t_{e_6} - d_1 q_1 - d_2 q_2 - d_3 q_3 - d_4 q_4 - d_5 q_5 - d_6 q_6 - t_{rc} \sum c_n \quad (3.8)$$

Burada:

q = Isı kazancını temsil etmektedir. 1’den 6’ya olan indisler ise önceki durumlara benzer şekilde önceki saatleri temsil etmektedir.

t_e = Duvarın dış yüzeyindeki güneş-hava sıcaklığının temsil etmektedir.

Güneş-hava sıcaklığı dış yüzeyde gerçekleşen ısı kazancının “etkin” değerini temsil etmektedir ve dış yüzeyin gerçek sıcaklığı değildir. Bu değer, ısı aktarımının tamamının ışıma ve taşınım yerine sadece konveksiyon ile gerçekleşmesi varsayıldığı durumda dış ortam sıcaklığı yerine kullanıldığında dışarıdan oluşan gerçek ısı kazancının hesaplanmasına yol açacaktır. 1’den 6’ya olan indisler ise önceki durumlara benzer şekilde önceki saatleri temsil etmektedir.

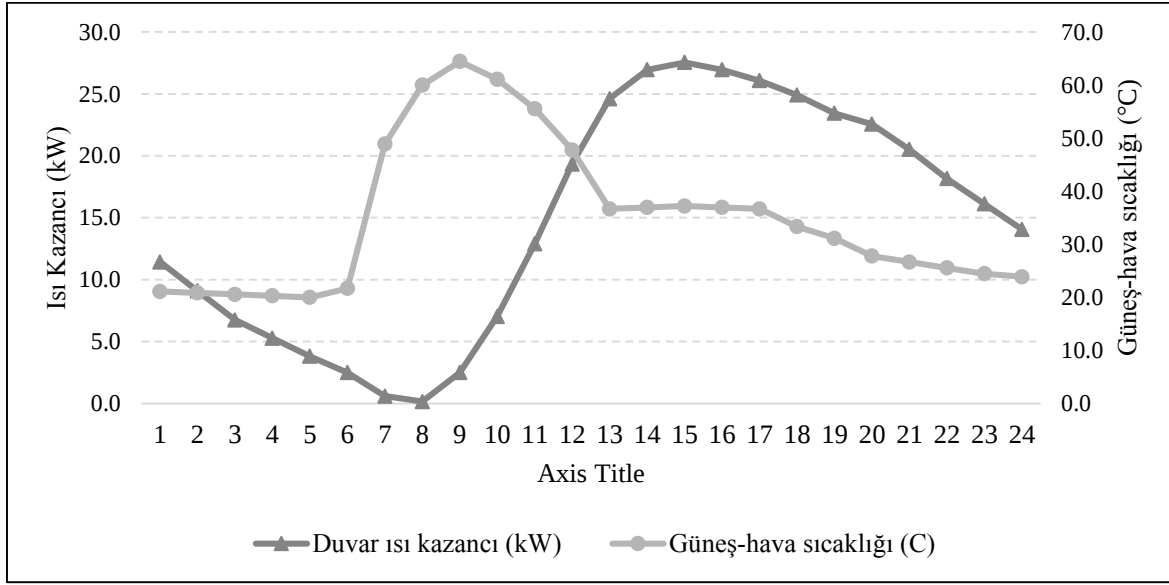
b, d, c_n = İletim transfer fonksiyonu katsayılarıdır. Bu katsayıların değeri duvar ve çatının yapısına bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla farklı ısı transferi ve ısı depolaması oranlarını yapı bileşenindeki malzemelere bağlı olarak hesaba katılmaktadır.

t_{rc} = İç ortam sıcaklığı

A = Dış duvar yüzey alanı

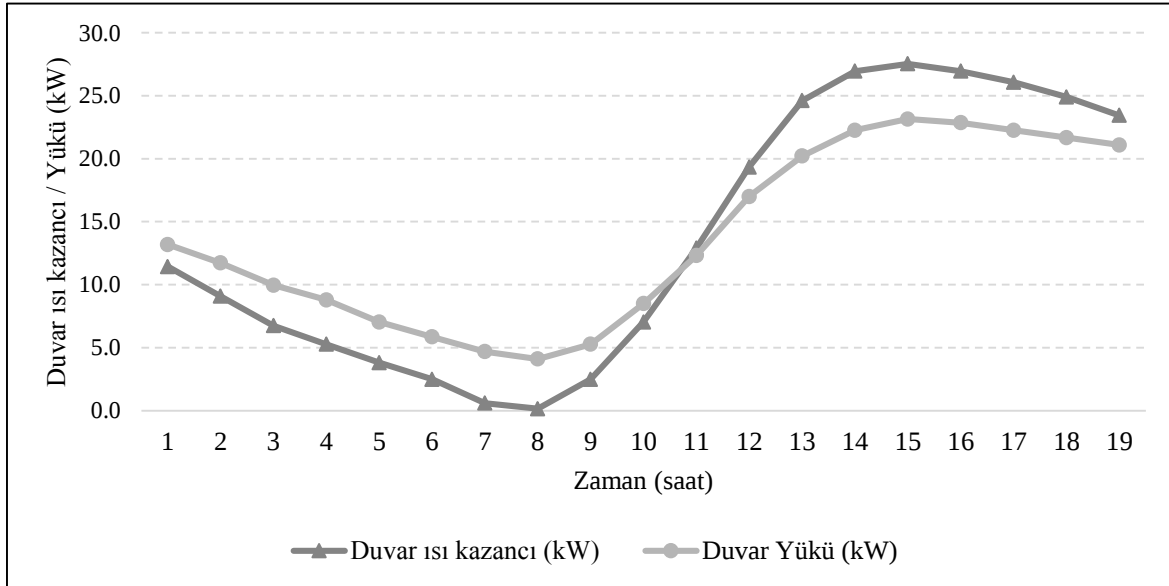
Aşağıdaki şekilde 24-saatlik bir zaman dilimi içerisinde gerçekleşen ısı kazancı ve güneş-hava sıcaklık değeri gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Duvardan gerçekleşen ısı kazancı ve duvar yüzeyinin güneş-hava sıcaklığı



Duvarın iç yüzeyinde gerçekleşen ısı kazancı hesaplandıktan sonra, ikinci adım oluşacak olan yükün Mahal Transfer Fonksiyonu yardımıyla hesaplanmasıdır. Yukarıda verilen örnek ısı kazancından hesaplanan yük profili aşağıdaki resimde paylaşılmıştır [20-21].

Çizelge 3.3. Duvardan gerçekleşen ısı kazancı ve oluşan duvar yükü



3.3.3. Isı alma yöntemi ilkeleri

Transfer fonksiyonu yöntemi aynı zamanda ısıtımın iklimlendirme cihazları tarafından binadaki mahallerden alınması ile ilgili hesaplama yöntemleri sunmaktadır ve bu “Isı Alım

Oranı” (İngilizcede: “heat extraction rate”) olarak adlandırılmaktadır. Yük hesaplamalarında mahal sıcaklığının sabit olduğu varsayılmaktadır, ancak gerçekte böyle değildir ve mahal sıcaklığı termostatın kısma aralığında, ısıtma ve soğutma set (kullanılan saatlerde) veya kullanılmayan saatlerde sıcaklık (İngilizcede: “setback”) değerleri arasında değişmektedir. Mahal sıcaklığının bu aralıktaki hareketi cihazlar tarafından sağlanan ısıtma ve soğutma üzerinde önemli etkiye sahiptir. Ayrıca bu konu kullanılan ve kullanılmayan saatler arasındaki geçişlerde “ısınma” ve “serinleme” yüklerini etkilemektedir. Isı alım yöntemleri sistem analiz sürecinde aşağıdaki anlatılan şekilde dâhil olmaktadır:

- Mahal yükü ısı kazançları ve mahal transfer fonksiyonu kullanılarak önceki bölümlerde anlatıldığı şekilde hesaplanabilmektedir. Bu yükler iklimlendirme cihazlarının tüm saatlerde çalıştığı ve mahal sıcaklığını istenilen sabit bir sıcaklıkta tuttuğunu varsayarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplardan elde edilen sonuç mahal duyulur yükü olarak raporlanmaktadır. Bu yük ayrıca mahal ve sistem besleme hava debilerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır.
- Daha sonra iklimlendirme sistemlerinin çalışması, ısı alım yöntemi ve mahal yük verilerine göre simüle edilebilmektedir. Böylece termostat ve cihazların yüklere ne şekilde tepki verdiği ve mahalden alınan veya mahalle ilave edilen ısı miktarı belirlenebilmektedir. Sistemin çalıştığı saatlerinde mahal sıcaklığı termostat kısma aralığında ve diğer saatlerde ise ısıtma ve soğutma set değerleri arasında (ölü aralık) kalmaktadır. Bu simülasyon süreci daha sonra sistemin toplam ısı alım oranı ve oluşan sistem serpantin (İngilizcede: “coil”) yükünün belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Isı alım yöntemi termostat ve cihazların mahal yüklerine ne şekilde tepki vereceğini belirlemek adına basit termostat ve cihaz kontrol modeli ve Oda Havası Transfer Fonksiyonunu kullanmaktadır.

Her şey ’den önce, ısı alım yöntemi termostat kontrolü için aşağıdaki basit lineer modeli kullanmaktadır:

$$ER_t = W_t + ST_{r,t} \quad (3.9)$$

Burada:

ER_t = t zamanı için alınan ısı (W)

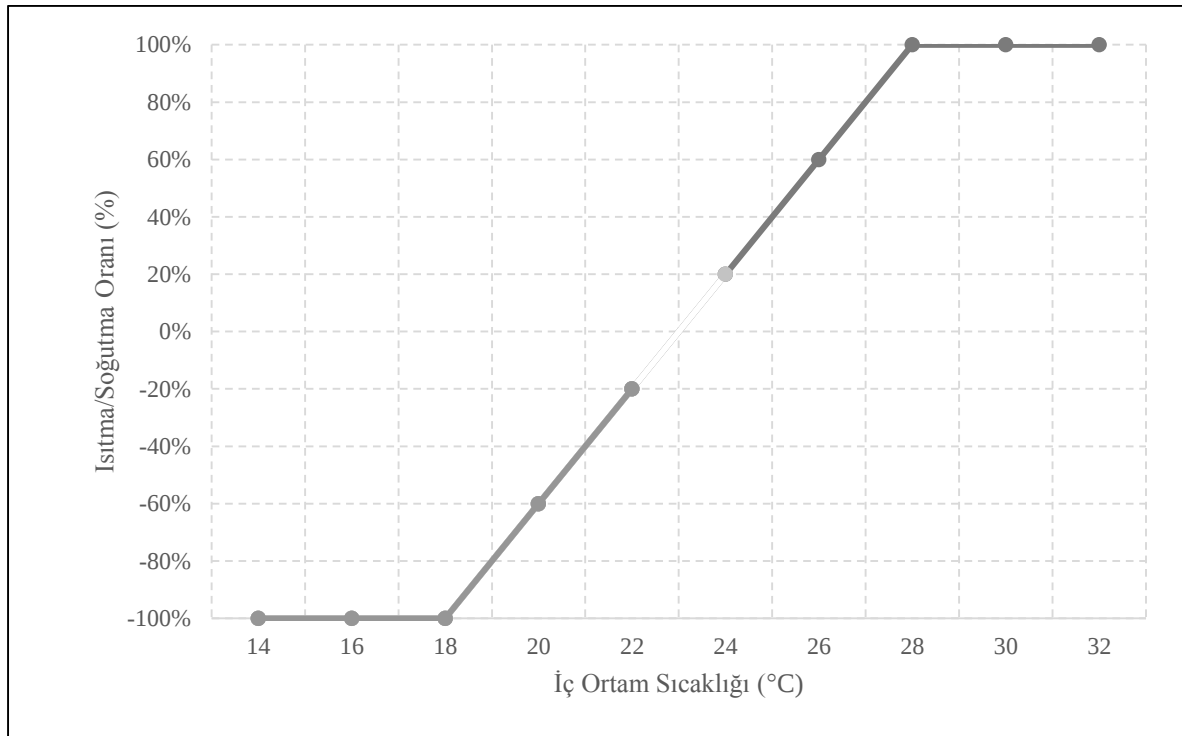
W_t = Termostat kontrol profilinin kesişmesi (W)

S = Termostat kontrol profilinin eğimi (W/K)

$T_t = t$ zamanındaki mahal sıcaklığı (°C)

Aşağıda paylaşılmış olan grafikte ısıtma ve soğutma set sıcaklıklarının 22 ve 24 °C olduğu durum için termostat kontrolü ve ısı alım davranışı gösterilmiştir. Burada termostat tepki aralığının 2 °C olduğu varsayılmıştır. Soğutma set değeri tepki aralığında (24-26 °C) termostat soğutma ihtiyacı sinyali vermektedir ve bu durumda iklimlendirme cihazlarının ısı alımı, mahal sıcaklığının lineer bir fonksiyonudur. Tepki aralığının üst limitinin üzerindeki sıcaklıklarda ısı alımı en yüksek seviyede sabit olarak çalışmaktadır. Isıtma set sıcaklığı tepki aralığında ise (20-22 °C) termostat ısıtma sinyali üretmektedir ve iklimlendirme cihazlarının ısı üretme oranı mahal sıcaklığının lineer bir fonksiyonudur. Termostat set sıcaklıkları aralığında (22-24 °C) herhangi bir ısıtma veya soğutma sinyali üretilmemektedir.

Çizelge 3.4. İç ortam sıcaklığına göre termostat tepki eğrisi



Bu modelin kullanımıyla iklimlendirme cihazları tarafından aktarılan ısı oranı ve mahal hava sıcaklığı aşağıdaki şekilde tanımlanan “mahal havası transfer fonksiyon denklemi” ilişkilendirilmektedirler:

$$p_0(ER_0 - Q_0) + p_1(ER_1 - Q_1) = g_0(T_{rc} - T_{r0}) + g_1(T_{rc} - T_{r1}) + g_2(T_{rc} - T_{r2}) \quad (3.10)$$

Burada:

ER: Aktarılan ısı miktarını temsil etmektedir

Q: Mahallin duyulur yükünü temsil etmektedir

Trc: Yüklerin, ısı kazançlarından hesaplanması için kullanılan sabit oda sıcaklığıdır.

Tr: Isı aktarım davranışı hesaba katılarak hesaplanan gerçek oda sıcaklığıdır

p_0, p_1, g_0, g_1, g_2 : Mahal havası transfer fonksiyonu katsayılarıdır.

Referans katsayılar ASHRAE tarafından yayınlanmaktadır. Bu katsayılar denklemde kullanılmadan önce bina ağırlığı, kabuk U-değeri, mahal alanı ve sızdırmazlık oranına göre revize edilmelidir.

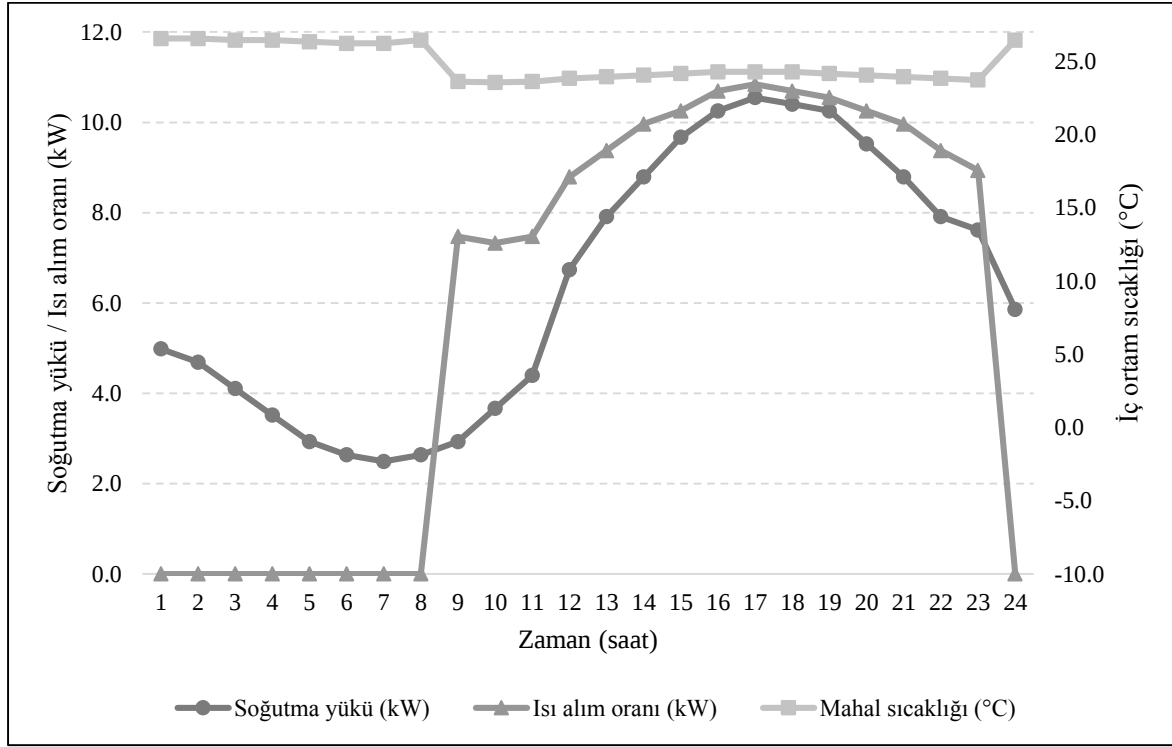
Yukardaki denklemde kullanılan alt indisler farklı saatleri temsil etmektedir. “0” hesaplama anına ait saati temsil ederken, “1” ve “2” sırasıyla bir ve iki saat önceyi temsil etmektedirler.

Başka bir deyişle, Mahal havası transfer fonksiyonu denklemine göre, içinde bulunan saatteki ısı aktarımı, o saat ve önceki saatteki yük, önceki saatteki ısı aktarımı ve geçmiş saatlerdeki mahal sıcaklığına bağlıdır. Dolayısıyla denklem oda sıcaklığı ve ısı aktarımının değişkenliği, ısı birikimi ve bina kütlesi ve hava kütlesiyle ısıнын atılmasını hesaba katmaktadır.

Bir mahal için ısı aktarım oranının belirlenmesi için termostat denklemi ve mahal havası transfer fonksiyon denklemi (bilinen termostat set sıcaklık değerleri, tepki aralığı, en yüksek ve en düşük ısı aktarım oranları, mahal duyulur yükü ve önceki saatlerdeki mahal sıcaklığı değerlerinden yola çıkarak) eş zamanlı olarak çözülmelidir.

Bu süreçten elde edilen sonuçların açıklayabilmek adına, aşağıdaki grafikte iklimlendirme cihazlarının sabah 8, akşam 10 saatleri arasında çalıştığı ve geriye kalan saatlerde çalışmadığı durum için yük, ısı aktarımı ve mahal sıcaklığı grafikleri gösterilmiştir. Grafikte her şeyden önce mahal transfer fonksiyonu yardımıyla sabit oda sıcaklığı varsayımıyla hesaplanan yük eğrisi yansıtılmıştır. Gerçek oda sıcaklığı profili ise iklimlendirme cihazlarının çalışma saatlerinde oda sıcaklığını termostat tepki aralığında (24-26 °C) tuttuğunu göstermektedir. Termostatın kapalı olduğu saatlerde ise mahal sıcaklığının tepki aralığı dışına çıktığı görülmektedir. Bu dönemde ısı bina kütlesinde birikip, iklimlendirme cihazları çalışmaya başladığında saatlik yük ile birlikte mahalden alınmaktadır [20-21].

Çizelge 3.5. Yük, ısı alımı ve sıcaklığın örnek dağılımı



3.3.4. Sistem simülasyonu

Sistem simülasyonu, iklimlendirme sistemlerinin çeşitli yük ve hava şartlarına gösterdiği tepkiyi hesaplamak için kullanılan bir matematik modeldir. Bunun için kullanılan denklemler sistem kontrollerini temsil edecek şekilde bir algoritma içerisinde düzenlenmektedir. Örnek olarak VAV simülasyon algoritması, mahallin soğutma yükünün azalması ile mahal hava akış oranını azaltarak, oda termostatının ve VAV kutusunun davranışını taklit etmektedir. Sistem simülasyonu veri girişleri ve bilgisayar kabiliyetlerine bağlı olarak sistemlerin çalışma şekli ile ilgili hassas sonuçlar sunmaktadır. Sistem simülasyonu tasarım ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanmasının yanı sıra, bu yüklerin karşılanması için iklimlendirme cihazlarında tüketilen enerji miktarlarının hesaplanması için de kullanılmaktadır.

Simülasyonun gerçekleştirilebilmesi için sistem boyutları, tasarım hava debileri, fan güçleri ve dış hava ihtiyacının belirlenmiş olması gerekmektedir. Ayrıca saatlik iklim ve yük verileri de mevcut olmalıdır. Sonrasında simülasyon algoritmaları sistem kontrollerinin yük ve iklim verilerine nasıl tepki gösterdiğini değerlendirmektedir. Hava debileri, sıcaklıklar, nem oranları ve benzeri veriler sistemin kilit noktalarının hepsi için hesaplanmaktadır. Bu

sonuçlar kullanılarak tüketim ve yükler hesaplanabilmektedir. Örnek olarak serpantinin üzerinden geçen hava debisi ve giriş ve çıkıştaki hava sıcaklık ve nem oranı kullanılarak, serpantin yükü belirlenebilmektedir.

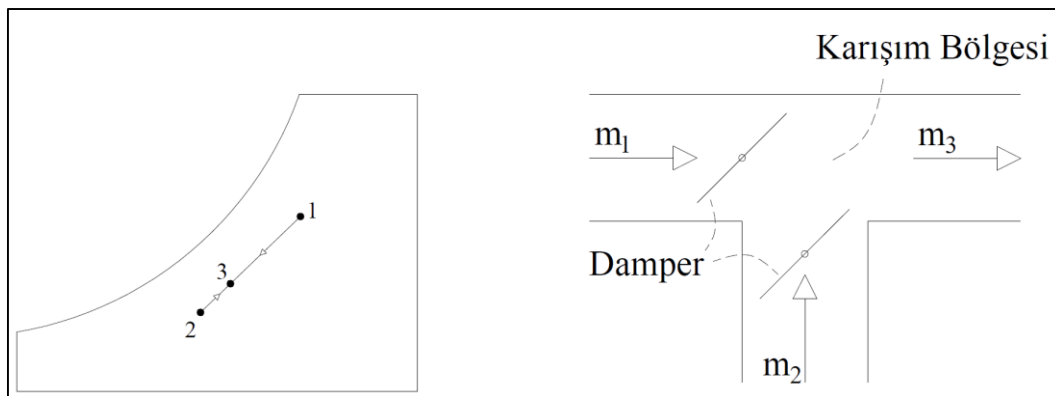
Enerji simülasyonlarında bir senelik iklim verileri ve günlük çalışma programları hesaba katılarak hesaplanan yükler kullanılmaktadır ve simülasyonular yılın tüm saatleri için tekrarlanmaktadır [20-21].

3.4. İklimlendirme

Bu bölümde iklimlendirme sistemlerinin yapısında kullanılan teknikler ve gerçekleşen psikometri süreçlerinden kısaca bahsedilmiştir.

3.4.1. Karışım

İki hava akımının karıştığında bu süreç psikometri diyagramında iki hava akımının durumunu birleştiren düz bir çizgi olarak gösterilir. Karışım havasını temsil edecek olan nokta ise bu çizginin üzerinde yer alır. Bu noktanın belirlenmesi için Eş. (3.11) kullanılabilir. İklimlendirmede iki hava akımının karışımı dışarıdan alınan taze hava ile iç ortamdaki döndürülen re-sirkülasyon havasının karışımında gerçekleşir. Karışım oranı ise damperler yardımıyla ayarlanabilir. Bazı uygulamalarda değişken karışım oranı motorlu damperler vasıtasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bunun bir örneği insan sayısının değişkenlik gösterdiği mahallerde taze hava ihtiyacının da buna bağlı olarak değişmesi ve dolayısıyla dışarıdan alınan taze havanın ihtiyacı karşılayacak miktarda olmasının istendiği durumlardır [22].



Şekil 3.2. İki hava akımının karışımı

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = m_3 h_3 \quad (3.11)$$

Burada;

m_i : i noktasında hava debisi (kg/s)

h_i : i noktasında havanın özgül entalpisi (kJ/kg)

3.4.2. Duyulur ısıtma/soğutma

Havanın duyulur ısıtılıp veya soğutulması herhangi bir nem transferinin gerçekleşmemesi anlamına gelmektedir. Bu süreçler psikometri diyagramında yatay bir çizgi şeklinde gösterilir.

Duyulur ısıtma için verilen ısı miktarı Eş. (3.12) kullanılarak yaklaşık olarak hesaplanabilir:

$$H_{1-2} = m C_p (t_2 - t_1) \quad (3.12)$$

Veya psikometri diyagramından daha net biçimde Eş. (3.13)'den elde edilebilir:

$$H_{1-2} = m (h_2 - h_1) \quad (3.13)$$

Havaya uygulanması gereken soğutma miktarı ise Eş. (3.14) veya Eş. (3.15)'den daha net olarak hesaplanabilir [22]:

$$H_{2-1} = m C_p (t_2 - t_1) \quad (3.14)$$

$$H_{2-1} = m (h_2 - h_1) \quad (3.15)$$

Burada:

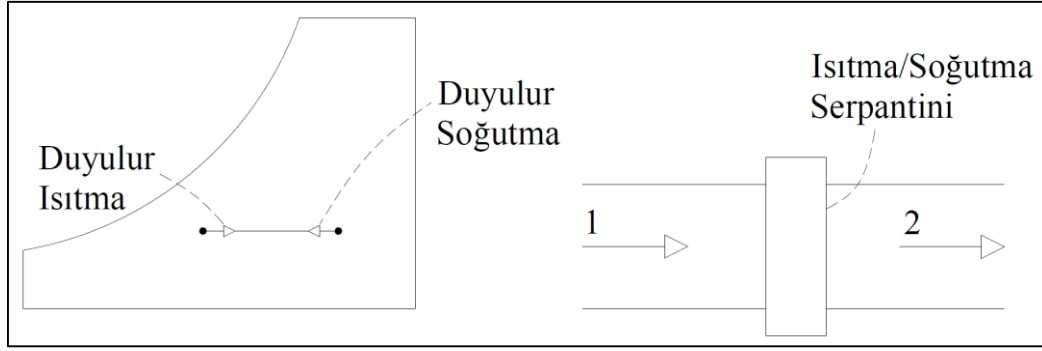
H= ısıtma veya soğutma enerjisi (kW)

m=havanın kütleli debisi (kg/s)

C_p =havanın özgül ısısı (kJ/kg.°C)

t=havanın kuru termometre sıcaklığı (°C)

h=havanın özgül entalpisi (kJ/kg)



Şekil 3.3. Havanın duyulur ısıtma ve soğutması

3.4.3. Soğutma ve nem alma

Su buharının havadan alınması için kullanılan en yaygın yöntem havanın çığ noktasının altına kadar soğutulmasıdır. Çığ noktası havanın tamamen doymuş olduğu noktadır veya başka bir deyişle havanın bağıl neminin 100% olduğu noktadır ve bu noktada hava daha fazla su buharını nem şeklinde içermeyecektir. Hava çığ noktasının ötesine kadar soğutulduğunda içerdiği nem yoğunlaşma yoluyla damlacıklar şeklinde havadan ayrılacaktır. Bu süreç psikometri diyagramında çığ noktasına kadar duyulur soğutma ve sonrasında gizli olarak 100% bağıl nem çizgisi üzerinde daha düşük bir sıcaklığa kadar soğutulması şeklinde gösterilebilir. Ulaşılan son sıcaklık Cihaz Çığ Noktası olarak da adlandırılır. Gerçekte ise bu değer soğutma serpantininde yer alan soğutucu akışkanın sıcaklığına yakın bir değerdir. Soğutucu akışkan su veya başka bir soğutucu olabilir. Bu süreçte havaya uygulanan toplam soğutma Eş. (3.16)'dan hesaplanabilir:

$$H_{1-3} = m(h_1 - h_3) \quad (3.16)$$

Burada uygulanan duyulur ve gizli soğutma ise sırasıyla Eş. (3.17) ve Eş.(3.18)'den elde edilir:

$$H_{1-2} = m(h_1 - h_2) \quad (3.17)$$

$$H_{2-3} = m(h_2 - h_3) \quad (3.18)$$

Burada:

H= soğutma enerjisi (kW)

m =havanın kütleli debisi (kg/s)

h =havanın özgül entalpisi (kJ/kg)

Psikometri diyagramına erişemediğimiz durumda ise havadan alınan duyulur ve gizli ısı miktarları Eş. (3.19) veya Eş. (3.20)'den hesaplanabilir:

$$H_{1-2} = mC_p(t_1 - t_2) \quad (3.19)$$

$$H_{2-3} = mh_{fg}(g_2 - g_3) \quad (3.20)$$

Burada:

H = ısıtma veya soğutma enerjisi (kW)

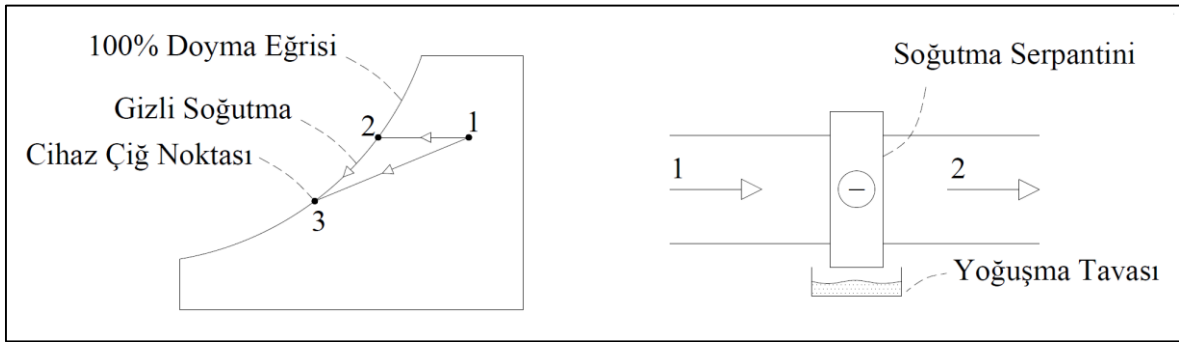
m =havanın kütleli debisi (kg/s)

C_p =havanın özgül ısısı (kJ/kg.°C)

t =havanın kuru termometre sıcaklığı(°C)

h_{fg} =gizli buharlaşma ısısı (kJ/kg)

g =havanın nem içeriği (kg/kg-kuru hava)



Şekil 3.4 Soğutma ve nem alma süreci

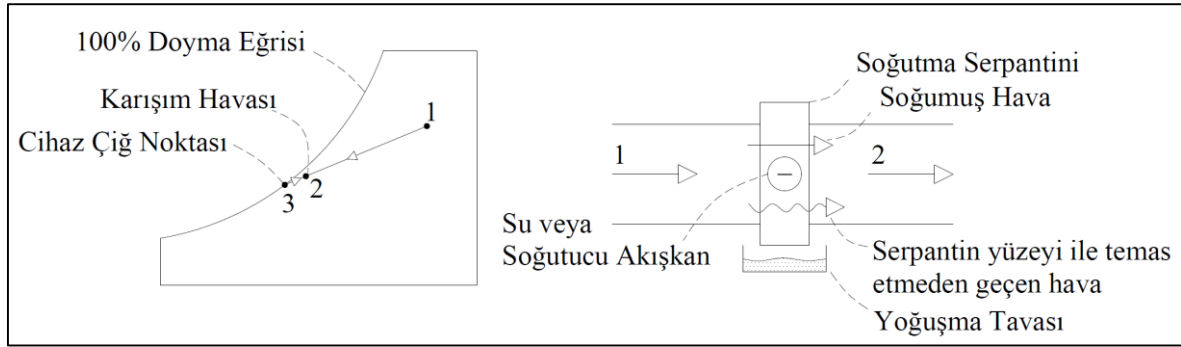
Soğutma serpantini temas faktörü:

Soğutma serpantininden geçirilen havanın bir kısmı boru veya kanat yüzeyi ile temas etmeden serpantinden geçebilmektedir. Dolayısıyla bu hava cihaz çiğ noktasına kadar soğutulamaz. İki hava akımının serpantin sonrasında birleşmesi esnasında bir karışım süreci gerçekleşir. Serpantin yüzeylerine temas etmeden geçen hava “by-pass” havası olarak adlandırılır. Bu yüzden karışım havasının sıcaklığı cihaz çiğ noktasından biraz daha fazla

olabilmektedir. Soğutma serpantininin temas oranı (İngilizce: “by-pass factor”) Eş. (3.21) veya Eş. (3.22)’den hesaplanabilir [22]:

$$\text{Temas Oranı} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_3} \quad (3.21)$$

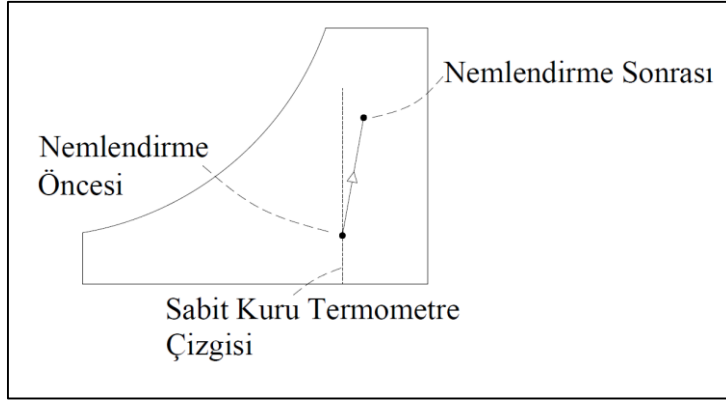
$$\text{Temas Oranı} = \frac{1 \text{ ve } 2 \text{ arası mesafe (mm)}}{1 \text{ ve } 3 \text{ arası mesafe (mm)}} \quad (3.22)$$



Şekil 3.5. Serpantin temas oranı

3.4.4. Nemlendirme

İklimlendirme sistemlerinde besleme havasına nem ilavesi yapılması gerektiği durumlarda bunun en uygun yolu hava akımına buhar enjekte edilmesidir. Havanın nemlendirilmesi aynı zamanda ince su damlalarının havaya püfkürtülmesi yoluyla gerçekleştirilebilir. Ancak insanların bulunduğu ortamda bu yöntem bakteri taşıma riski olduğundan önerilmemektedir. Buhar ile nemlendirmede kuru buhar bir buhar besleme hattından veya yerel paket tip buhar üreticilerinden sağlanabilir. Burada buhar üretim ünitesi hava kanıla yakın olarak yerleştirilip ve buhar borusu yoluyla buharı hava kanalının içine enjekte edecek şekilde uygulanabilmektedir. Bu süreç psikometri diyagramında Şekil 3.6. Buharlı nemlendirme sürecinde görüldüğü gibi gösterilebilmektedir [22].



Şekil 3.6. Buharlı nemlendirme süreci

3.4.5. İklimlendirme sistem tipleri

Merkezi santral sistemleri

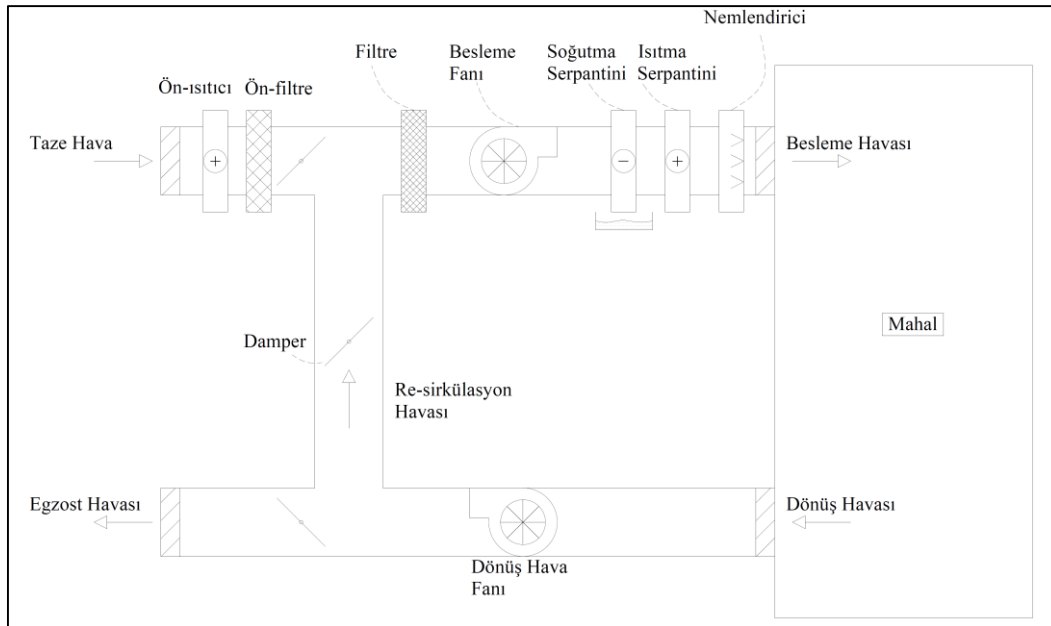
Merkezi santral sistemlerinde ısıtma, soğutma ve havalandırma işlemlerinin tamamı merkezi bir santralde gerçekleşmektedir. Bu sistemler besleme havasının istenilen şartlara getirilmesi için Isıtma, soğutma, nem alma ve nemlendirme işlemlerinin tamamını gerçekleştirebilmektedirler. Örnek bir merkezi santralim şematik diyagramı Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Kış döneminde ısıtma ihtiyacını karşılanması için ısıtma serpantini devrede olacaktır. Bu dönemde birçok bina tipi için soğutma serpantini kapalı kalacaktır. Yaz döneminde ise ısıtma serpantini aynı kapasitede çalışması gerekmez iken soğutma serpantini devrede olacaktır. Dış hava nem oranının düşük olduğu kuru bölgelerde sistemde bir nemlendirici öngörülmalıdır. Tropik bölgelerde yer alan binaların iklimlendirilmesinde ise sistemin sıcak nemli havadan nem alma kabiliyeti önemli özelliklerinden biri olacaktır. Sistemde yer alan damperler ise her bir kanalın hava debisinin ayarlanması için kullanılmaktadır. Binanın iç hava kalitesinin sağlanması için gerekli olan taze hava miktarı belirlendikten sonra bu damperler sabit veya elektrik motor yardımıyla değişken olarak ayarlanabilmektedirler.

Merkezi iklimlendirme sistemlerinin en önemli avantajlarından insanların bulunduğu ortama minimum gürültü yansıması, bakım kolaylığı ve yüksek tavanlı mekanlarda kullanılabilmeleridir. Bu artılar karşın yüksek kurulum maliyetleri ve hava kanalları için geniş alan ihtiyacı önde gelen eksileri olarak sayılabilir.

Oda iklimlendirme üniteleri (Terminal units)

Isıtma, soğutma veya havalandırma amacıyla ortama beslenen havanın, yetersiz kanal geçiş alanı veya bağımsız işletme gereksinimi gibi sebepler yüzünden merkezi bir santraldan sağlanması mümkün olmayabilir. Bu durumlar da ister sadece ısıtma/soğutma havası ister ham ısıtma soğutma ve hem havalandırma havası oda içinde yer alan ünitelerden sağlanabilmektedir.

Oda üniteleri ısıtma ve soğutmayı sağlayan soğutucu akışkan tipine göre gazlı veya sulu sistemlere ayrılabilir. Gazlı sistemlerde soğutucu akışkan genleşme ve sıkıştırma çevrimi yardımıyla besleme havası şartlandırılır. Isı pompaları, Split klimalar ve VRF sistemleri bu sistemlerin en yaygın çeşitleridir.



Şekil 3.7. Merkezi iklimlendirme sistemlerinin şematik diyagramı

Sulu sistemlerde ise ısıtma ve soğutma yüklerinin karşılanması için oda ünitelerinin serpantininden geçen akışkan sıcak veya soğuk sudur. Bu sistemlerde suyun ısıtılıp ve soğutulması için sırasıyla merkezi kazan ve soğutma gurubu kullanılır.

Sulu ve gazlı sistemler uygulama kolaylığı, işletme ve bakım kolaylığı, ilk yatırım maliyeti ve verimlilik açısından her biri bazı avantaj ve dezavantajlara sahip olmaktadır. Dolayısıyla

her bina için mimari gereksinimleri, bütçe kısıtlamaları ve enerji verimlilik hedefleri göz önünde bulundurularak en uygun sistem seçimi yapılmalıdır.

Oda iklimlendirme ünitelerinin temel artıları düşük kurlum maliyeti ve uzun hava kanalı uygulamalarına ihtiyaç duymamaları olurken mahalde oluşabilecek gürültü (özellikle kompresörlerin mahal içinde veya yakınında olduğu durumda) ve uzun su veya gaz borulama gereksinimi en önemli eksi olarak sayılabilmektedir.

Bu sistem tiplerinden hangisinin tasarım aşamasında seçilmesi gerektiği konusu ile ilgili bir şey söyleyebilmek için, bütünsel tasarım çerçevesinde imkânlar, gereksinimler ve kısıtlamaların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Özellikle binaların uzun kullanım süreleri ve çevresel etkenler dikkate alınırsa en uygun ve verimli sistem seçiminin önemi daha çarpıcı şekilde ortaya çıkacaktır. Seçilen sistemlerin değerlendirilmesinde ise ilk ve en önemli kıstas iç hava kalitesi ve termal konforun sağlanabilmesidir.

3.5. Birleşik Isıl Güç Sistemleri

Birleşik Isıl Güç üretimi (BIG veya İngilizce terimi olarak CHP) veya diğer ismiyle kojenerasyon, kullanılabilir ısı ve elektrik tek bir süreç içerisinde üretimi olarak tanımlanmaktadır. BIG sistemleri elektrik enerjisini kullanılacağı sahada veya yakın bir konumda üreterek, ortaya çıkan atık ısının değerlendirilmesi ve saha ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla kullanımını mümkün kılmaktadır. Kojenerasyon bir teknolojiden ziyade teknolojinin uygulanmasına yönelik bir yaklaşım olarak nitelendirilmektedir. Alışılmış güç üretiminde dışarıya atılacak olan ısı BIG sistemleri sayesinde değerlendirilerek, ısı ve gücün ayrı üretildiği durumda oluşan kayıpların önünde geçilebilmektedir.

Merkezi güç santralleri yapıları gereği verimsizlerdir ve tükettikleri yakıtının içerdiği potansiyel enerjinin ortalama olarak sadece üçte birini kullanılabilir enerjiye dönüştürebilmektedirler. BIG sistemlerinin kullanımıyla elektrik üretimi ve termal yüklerin birleştirilmesi ve atık enerjinin kullanılması olanağının önemi uzun zamandan beri vurgulanmaktadır. BIG (CHP) terimi ilk olarak 1970’lerde bu uygulama için kullanılmıştır. İlk uygulamalarda bu sistemlerde yer alan kazanda üretilen buhar bir buhar türbininden geçirilerek elektrik üretimi için kullanılmıştır. Ancak sistemlerin yüksek maliyeti ve

karmaşıklığından dolayı sadece 50 MW üzeri kapasiteler için uygun bulunmuştur. Son dönemde yüksek verimli ve uygun maliyetli teknolojilerin gelişmesiyle (özellikle gaz türbinleri ve içten yanmalı motorlar alanındaki ilerlemeler) bu sistemlerin daha yaygın kullanımı için yeni fırsatlar oluşturmıştır.

Bu sistemlere duyulan ihtiyaç oranının artmasında, düşük maliyetli doğal gaz erişimi ve son kullanıcıların enerji maliyetlerini azaltma gereksinimi hissettirecek politikalar önemli bir paya sahiptir. BIG sistemlerinin enerji üretici ve tüketicilerinin arasındaki benzersiz konumu, iki farklı kullanışlı enerji kaynağı sağlaması ve elektrik şebekesiyle olan iletişimi bu sistemlerin gelecekteki uygulama oranının yerel yönetmelikler ve devlet politikalarına bağlı olduğu anlamına gelmektedir.

3.5.1. BIG sistemlerinin faydaları

BIG sistemlerini ekonomik açıdan daha iyi anlayabilmek için, sistem sahiplerine ve toplumsal sunduğu fırsatların ayrı olarak ele alınması gerekmektedir.

İşletme sahipleri açısından BIG sistemlerinin uygulanmasını ekonomik olarak değerlendirilmesinde toplumsal menfaatlerden ziyade, işletme maliyetlerinin azaltılması ve bazı durumlar elektrik sağlama güvenilirliği önem arz etmektedir. Basit bir deyişle BIG sistemlerinin işletme maliyeti (yakıt, bakım ve ilk yatırım maliyetleri dahil), yakıt ve elektrik maliyetlerine göre daha düşük olmaktadır. Buradan elde edilecek tasarruf oranı sistem kurulumunun ilk yatırım maliyetini makul kılacak mertebededir. Ayrıca elektrik enerjisinin arz güvenirliliğinin bu sistemler sayesinde sağlanması elektrik kesintilerinden yaşanan kayıpların önüne geçmek adına karar mekanizmalarında önemli rol oynamaktadır. Ayrıca BIG sistemleri kazan ve chiller gibi bazı sistem bileşenlerinin kurulum gereksinimini bertaraf ederek ilk yatırım maliyetlerini azaltabilmektedir.

Toplumsal açıdan ise BIG sistemleri emisyonları azaltmak, karbon azaltma seçenekleri, şebeke sıkışıklığını azaltmak, nakil ve dağıtım maliyetlerinden kaçınmak açısından fayda sağlayabilmektedir.

4. ENERJİ MODELİNİN GELİŞTİRME YÖNTEMİ VE ÇIKTILARI

Hastane binalarında enerji tasarrufu açısından uygulanabilecek yöntemler ve bu yöntemlerin farklı iklim bölgelerinde etkinlik oranlarının incelenmesi adına bir prototip model kullanılmıştır. Bu modelin oluşturulmasında Isparta’da yapılan 755 yataklı şehir hastanesinin tasarımından yola çıkılmıştır. Hastane kamu ve özel işbirliği şeklinde yapılmış ve içinde 2017 senesinde açılışı yapılmıştır. Bu binanın prototip olarak seçilmesinin sebebi aynı veya çok benzer tip hastanelerin Türkiye’nin çeşitli bölgelerinde yapılmış veya yapılacak olmasıdır. Söz konusu hastanenin yapımı tüm yerel yönetmeliklere uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Türkiye’de halı hazırda binalarda enerji verimliliği amacıyla yürürlükte olan standart ve yönetmelikler TS-825 standardı ve BEP yönetmeliğinden oluşmaktadır. TS-825 standardında bulundukları iklim bölgesine bağlı olarak binalarda kabuk parametrelerinin performansı için gereksinimler belirtilmiştir. Binalarda Enerji Performans yönetmeliği kapsamında ise binaların kullanım amacına bağlı olarak birincil enerji tüketim yoğunluğuna göre sınıflandırılmasına ilişkin yöntemler açıklanmış ve bina enerji sistemlerine ilişkin bazı gereksinimler açıklanmıştır. Ancak yürürlükte olan standart ve yönetmeliklerin hiçbirinde bina kullanım amacına göre enerji sistemlerinin tipleri ve minimum performans gereksinimlerine ilişkin herhangi bir detaylı yönlendirme mevcut değildir.

Tüm bunlar dikkate alınarak bu çalışmada referans alınacak bina enerji modeli Isparta Şehir Hastanesi mimarisine sahip olup yerel yönetmeliklerde belirtilen tüm gereksinimlere uyumlu şekilde geliştirilmiştir. Yerel standart ve yönetmeliklerde yukarıda açıklandığı gibi herhangi bir kıstas belirlenmeyen hususlar uluslararası standartlarda belirlenen kıstas ve gereksinimlere uygun olarak modelde içerilmiştir.

Enerji tasarrufuna yol açması öngörülen iyileştirmeler referans modeline yansıtılarak her bir iyileştirme senaryosunun binanın enerji performansı üzerindeki etkisi Türkiye’nin farklı iklim bölgelerinde yer alan beş farklı şehir için incelenmiştir. Bu etkilerin değerlendirilmesinde saatlik hesaplardan elde edilen binanın yıllık enerji tüketimi, yıllık enerji maliyeti, yıllık emisyon oranları ve yıllık enerji tüketim yoğunluğu göstergeleri kullanılmıştır. Bu göstergeler ile ilgili detaylı açıklamalar ve hesaplama yöntemleri bölüm 4.4’de detaylı olarak açıklanmıştır.

Bu bölümde referans bina modelinin geliştirilmesi ve doğrulanmasında izlenen adımlar detaylı olarak açıklanmıştır. Devamında hastane binalarında enerji performansının arttırılmasına yönelik olası iyileştirme önerilerinin detayları açıklanarak, enerji performansının değerlendirmesinde kullanılan göstergeler ile ilgili bilgiler paylaşılmıştır.

4.1. Referans (Baseline) Bina Modeli

Referans bina modelinin mimari özellikleri, çalışma saatleri, proses ve priz yükleri, sızdırmazlık oranı, aydınlatma yük yoğunlukları, mekanik sistemleri ve iç ortam şartları tüm iklim bölgeleri arasında ortak olup, mevcut binanın özelliklerine göre oluşturulmuştur. Kabuk özellikleri ise her bir şehir için bulunduğu iklim bölgesi dikkate alınarak TS825 standardına göre modellenmiştir. Bu parametreler ile ilgili açıklamalar ve değerler aşağıda detaylandırılmıştır.

4.1.1. Mimari özellikler

Referans modelin geometrisi, yerleşimi, mahal dağılımı, duvar ve cam ebatları ve diğer tüm mimari parametreleri prototip olarak kullanılan hastane binasının mimari çizimlerine uyumlu şekilde geliştirilmiştir. Model mimarisinin oluşturulmasında kat planları, kesit ve görünüş çizimlerinden faydalanılmıştır. Örnek çizimler Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de paylaşılmıştır.

Ayrıca bina mimari tasarımında içerilen mahal tipleri aynı şekilde bina modeline yansıtılmıştır ve bu mahal tipleri Çizelge 4.1’de listelenmiştir.

Çizelge 4.1. Mimaride yer alan ve bina enerji modelinde içerilen mahal tipleri

Mahal Tipleri
Anestezi gaz deposu
Kafeterya
Temiz çalışma odası
Konferans odası
Koridor
Yemekhane
Muayene/tedavi odası
Yemek hazırlama
Laboratuvar
Çamaşırhane
Lobi
Soyunma odası
Bekleme salonu
Mekanik/elektrik/telekomünikasyon odası
Tıbbi malzeme/ilaç odası
Hemşire odası
Çocuk bakım odası
Ofis
Ameliyathane
Hasta odası
Eczane
Fizik tedavi
Ameliyat odası
Radyoloji/görüntüleme
Resepsiyon/bekleme
Uyanma odası
WC
Ayrıştırılmış oda
Sterilizasyon ekipmanları odası
Depo/Teslim alma
Travma/acil odası
Triaj

Binanın farklı cephelerinde yer alan duvar ve pencere alanları 'de Paylaşılmıştır.

Çizelge 4.2. Pencere alanlarının farklı yönlerde dağılımı

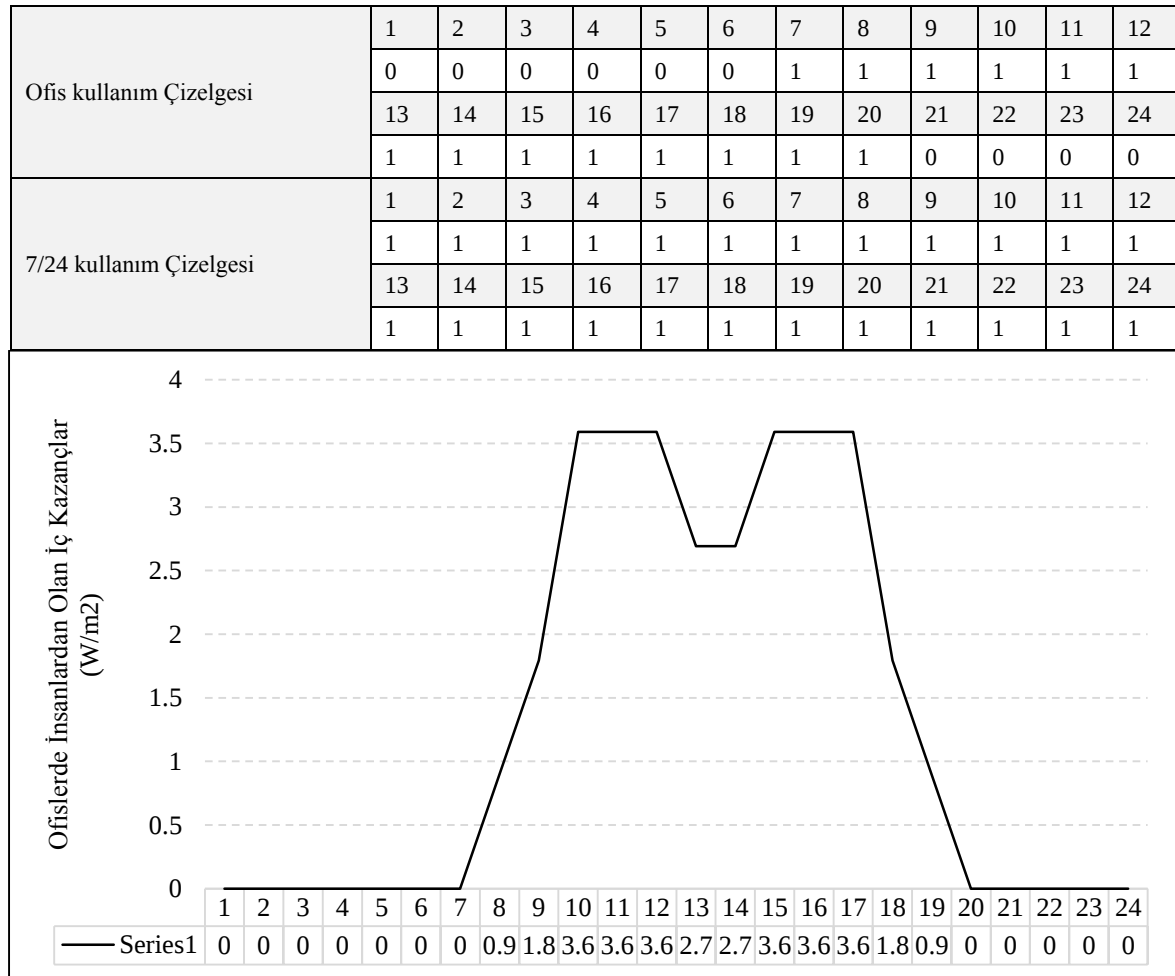
Yön	Pencere Alanı	Duvar Alanı	Pencere Duvar Oranı
Kuzey batı	3703	10818	34%
Güney doğu	6605	12397	53%
Güney batı	8090	17927	45%
Kuzey doğu	8518	18181	47%

4.1.2. Çalışma saatleri

Hastanelerin çalışma saati gerçekte de olduğu gibi haftanın 7 günü ve 24 saat olarak öngörülmüştür. Ancak bu konu hastanede bulunan tüm mahaller için geçerli olmayabilir. Dolayısıyla mahal tiplerine ve temsil ettikleri parametreye bağlı olarak farklı zaman çizelgeleri tanımlanmıştır.

Bu çizelgeler açık/kapalı veya oransal olarak tanımlanabilmektedir. Örnek olarak bir mahallin kullanım saatleri açık/kapalı ve aydınlatma, priz yükü ve insan sayısı ise oransal bir çizelge yardımıyla temsil edilebilmektedir. Burada her iki tip zaman çizelgelerinden örnekler paylaşılmıştır.

Çizelge 4.3. Modelde yansıtılan örnek zaman çizelgeleri



4.1.3. Bina kabuğu

Referans bina modeli dış duvarları mimari projelerde belirtildiği gibi içten dışa sırasıyla boya, alçı levha, bims beton blok, taş yünü yalıtımı ve sıva tabakalarından oluştuğu varsayılmıştır. Ancak referans binanın dış yüzeyinde varsayılan yalıtım kalınlıkları farklı iklim bölgelerinde değişkenlik göstermektedir. Daha öncede belirtildiği gibi referans bina kabuğunun ısı performansı yerel TS-825 standardına tabi tutulmuştur.

Benzer yaklaşım binanın çatı ve ısıtılmayan mahallerin üzerinde yer alan mahallerin döşemeler ve bina tabanı için uygulanmıştır. Her bir iklim bölgesi için referans binanın kabuk bileşenlerinin sahip olduğu ısı geçirgenlik katsayıları Çizelge 4.4'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.4. Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için referans bina modelinin kabuk özellikleri

	U_duvar (W/m ² .K)	U_çatı (W/m ² .K)	U_döşeme (W/m ² .K)	U_pencere (W/m ² .K)
1. İklim bölgesi (Antalya)	0.70	0.45	0.70	2.4
2. İklim bölgesi (İstanbul/Samsun)	0.60	0.40	0.60	2.4
3. İklim bölgesi (Ankara)	0.50	0.30	0.45	2.4
4. İklim Bölgesi (Erzurum)	0.40	0.25	0.40	2.4

4.1.4. Cam yüzey

Bina için modellenen cam yüzeyler tüm pencereler ve cam giriş kapılarını içermektedir. Bina geometrisi ve ölçüleri referans bina ve iyileştirilmiş örnek arasında aynıdır. Binanın farklı cephelerinde duvar ve pencere alanları hesaplanarak Çizelge 4.5'te paylaşılmıştır. Referans binada camlar yerel standartta belirtilen ısı performansa sahip olacak şekilde modellenmiştir. Pencerelere atanan U değeri ve gölgeleme katsayıları cam ve çerçevelerin etkisini bir arada içerecek şekilde modelde yansıtılmıştır.

Çizelge 4.5. Referans binanın farklı cephelerinde duvar ve pencere alan ve oranları

Yön	Pencere Alanı (m ²)	Dış Duvar Alanı (m ²)	WWR (%)
Kuzeybatı	3703	10818	34%
Güneydoğu	6605	12397	53%
Güneybatı	8090	17927	45%
Kuzeydoğu	8518	18181	47%

4.1.5. Sızdırmazlık (infiltrasyon)

Burada infiltrasyondan kast edilen dış havanın bina kabuğunun farklı bileşenlerinden kontrolsüz biçimde binanın içine dahil olmasıdır. Burada infiltrasyon oranları her bir mahallin hacmi oranında gerçekleştiği varsayılmıştır. Bu değer çalışma kapsamında incelenen tüm durumlar için aynı olup, 0.35ACH olarak modele yansıtılmıştır.

4.1.6. İç yükler

İç yükleri insanlar, aydınlatma ve elektrik ekipmanlarından ortama yayılan ısıdan kaynaklanmaktadır. Yerel standart ve yönetmeliklerde bu parametreler ile ilgili herhangi bir referans değer mevcut değildir. Bundan dolayı iç yükler ile ilgili referans değerlerin belirlenmesinde uluslararası kabul gören standartlar ve yönetmeliklerden faydalanılmıştır.

İnsan yoğunlukları ASHRAE 62.1-2007’de mahal tiplerine bağlı olarak öngörölmüş olan değerlere göre tanımlanmıştır. Bu doğrultuda incelemede örnek olarak kullanılan hastane binasında bulunan mahal tipleri bu standartta belirtilen mahal tipleri ile eşleştirilmiştir. Bu eşleştirme ve neticesinde mahal kullanımına göre elde edilen insan yoğunlukları Çizelge 4.6’da paylaşılmıştır. Standartta mevcut olmayan mahal tipleri için ise mahal kullanım şekli göz önüne alınarak yaklaşık değerler kullanılmıştır.

Çizelge 4.6. Binada yer alan mahal tiplerine göre insan yoğunlukları

Mahal Tipi	ASHRAE 62.1-2007 Standardı Eşleştirmesi	İnsan Yoğunluğu (#/100 m ²)
Anestezi gaz deposu	General::Storage rooms	0.00
Kafeterya	Food and beverage service: Cafeteria/fast food dining	107.64
Temiz çalışma odası	Office buildings::Office space	5.38
Konferans odası	General::Conference/meeting	53.82
Koridor	General::Corridors	0.00
Yemekhane	Food and beverage service: Restaurant	75.35
Muayene/tedavi odası	Office buildings::Office space	5.38
Yemek hazırlama	Kitchen::commercial	5.38
Laboratuvar	Office buildings::Office space	5.38
Çamaşırhane	Retail::Coin operated laundries	21.53
Lobi	Office buildings::Reception areas	32.29
Soyunma odası	Office buildings::Office space	5.38
Bekleme salonu	Office buildings::Office space	5.38

Çizelge 4.6 (devam) Binada yer alan mahal tiplerine göre insan yoğunlukları

Mahal Tipi	ASHRAE 62.1-2007 Standardı Eşleştirmesi	İnsan Yoğunluğu
		(#/100 m ²)
Mekanik/elektrik/telekomünikasyon odası	General::Storage rooms	0.00
Tıbbi malzeme/ilaç odası	General::Storage rooms	0.00
Hemşire odası	Office buildings::Office space	5.38
Çocuk bakım odası	Office buildings::Office space	5.38
Ofis	Office buildings::Office space	5.38
Ameliyathane	Engineering judgment	5.38
Hasta odası	Engineering judgment	5.38
Eczane	Miscellaneous Spaces::Pharmacy	10.76
Fizik tedavi	Sports and Entertainment: Health club/weight rooms	10.76
Ameliyat odası	Office buildings::Office space	5.38
Radyoloji/görüntüleme	Office buildings::Office space	5.38
Resepsiyon/bekleme	Office buildings::Reception areas	32.29
Uyanma odası	Office buildings::Office space	5.38
WC	Mühendislik yaklaşımı	5.38
Ayrıştırılmış oda	Mühendislik yaklaşımı	5.38
Sterilizasyon ekipmanları odası	Mühendislik yaklaşımı	0.00
Depo/Teslim alma	Miscellaneous spaces::Shipping and receiving	0.00
Travma/acil odası	Office buildings::Office space	5.38
Triaj	Office buildings::Office space	5.38

Aydınlatma ve elektrik ekipmanların oluşturduğu kazançların hesaplanmasında “National Calculation Methodology (NCM) modeling guide for Non Domestic Buildings” tarafından mahal tiplerine göre belirlenen referans değerler kullanılmıştır [23]. Bu bina kapsamında içerilmiş olan mahal tipleri için modele yansıtılan yük yoğunlukları Çizelge 4.7’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.7. Referans bina aydınlatma ve priz yük yoğunlukları

Mahal Tipi	Priz Yük Yoğunluğu (W/m ²)	Aydınlatma Yük Yoğunluğu (W/m ²)
Kafeterya	10.8	9.7
Temiz çalışma odası	1.1	9.7
Konferans odası	21.5	11.8
Koridor	1.1	14.0
Yemekhane	1.1	10.8
Muayene/tedavi odası	1.1	9.7
Yemek hazırlama	10.8	16.2

Çizelge 4.7. (devam) Referans bina aydınlatma ve priz yük yoğunlukları

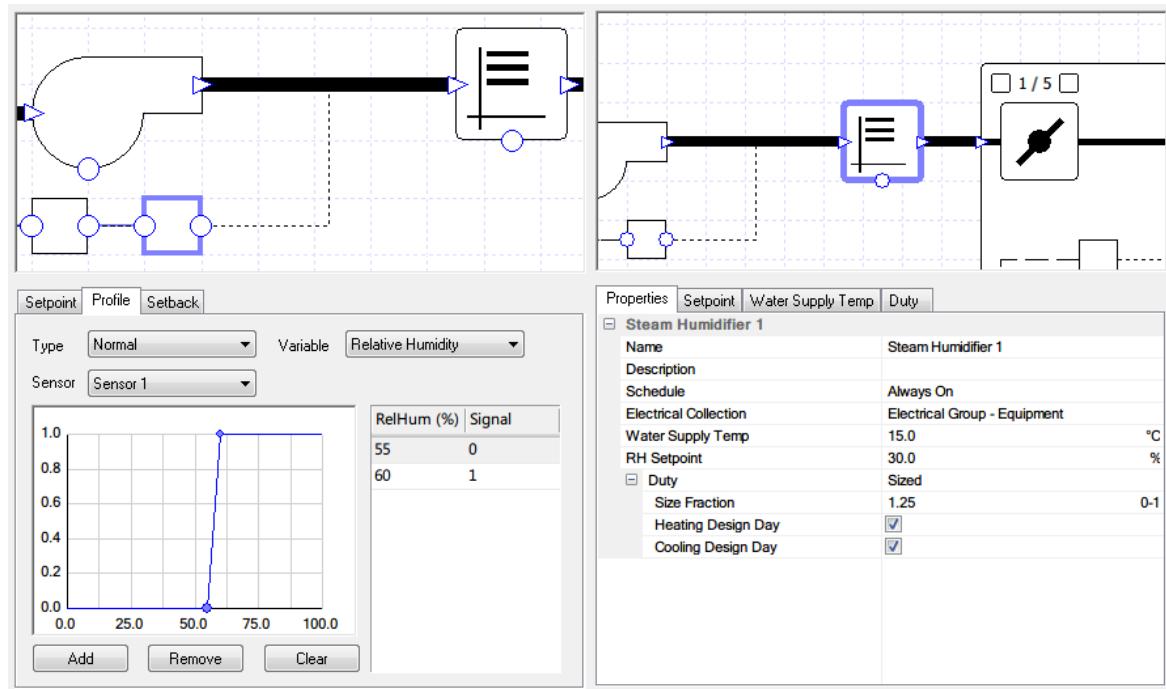
Mahal Tipi	Priz Yük Yoğunluğu (W/m ²)	Aydınlatma Yük Yoğunluğu (W/m ²)
Laboratuvar	199.1	12.9
Çamaşırhane	43.1	15.1
Lobi	5.4	6.5
Soyunma odası	1.1	14.0
Bekleme salonu	2.7	6.5
Mekanik/elektrik/telekomünikasyon odası	1.1	8.6
Tıbbi malzeme/ilaç odası	1.1	16.2
Hemşire odası	10.8	15.1
Çocuk bakım odası	8.1	10.8
Ofis	10.8	6.5
Ameliyathane	5.4	11.8
Hasta odası	43.1	23.7
Eczane	10.8	7.5
Fizik tedavi	10.8	12.9
Ameliyat odası	10.8	9.7
Radyoloji/görüntüleme	43.1	29.1
Resepsiyon/bekleme	96.9	4.3
Uyanma odası	1.1	14.0
WC	21.5	8.6
Topraklanmış oda	1.1	9.7
Sterilizasyon ekipmanları odası	0.0	11.8
Depo/Teslim alma	64.6	9.7
Travma/acil odası	10.8	9.7
Triaj	43.1	29.1
Dinlenme	10.8	29.1
Sınıf	1.1	11.8
Yoğun bakım	5.4	15.0

4.1.7. İklimlendirme sistemleri

Referans bina modelinde ekipman kapasiteleri, su ve hava tarafı için debiler ihtiyaca bağlı olarak otomatik olarak boyutlandırılmıştır. Bunun sebebi binanın farklı iklim bölgelerinde değerlendiriliyor olacağı, dolayısıyla ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının karşılanmasında farklı ısıtma ve soğutma cihaz kapasitelerine ihtiyaç duyulmasıdır. Karşılanmayan yüklerin olduğu saat sayılarının standartların belirlediği üst sınırın altında kalması adına bu otomatik boyutlandırma referans ve iyileştirilmiş bina modellerinde benzer katsayılar ile artırılmıştır. Bu katsayılar ASHRAE 90.1 standardına uygun olarak ısıtmada 1.25, soğutmada ise 1.15 olarak sistem tanımlarına yansıtılmıştır.

Ameliyathane ve hasta odalarında konfor sıcaklık gereksinimlerinin yanı sıra bağıl nem gereksinimleri de bulunduğundan dolayı iklimlendirme sistemlerinde nemlendirme ve nem

alma özellikleri öngörülmüştür. Bunun için bu mahallere hizmet eden sistemlerde soğutma ile nem alma ve buharla nemlendirme özellikleri sistem tanımlarında içerilmiştir. Hastane binalarında fosil yakıtlı kazanlar veya elektrikli sistemler yardımıyla buhar üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Ancak mevcut bina tasarımında buhar kalitesindeki değişimin önüne geçmek ve uygulama/bakım kolaylığı sağlamak adına elektrikli sistemler tercih edilmiştir ve buna uygun olarak da geliştirilen referans ve iyileştirilmiş bina modellerine bu şekilde tanımlanmıştır. Nem alma işlemi ise besleme havası üzerinde nem kontrol sensörleri yerleştirilerek havanın istenilen nem oranına ulaşana kadar soğutulup ve nem alma işlemi tamamlandıktan sonra besleme sıcaklığına gelmesi için tekrar ısıtılması öngörülmüştür. Bu konu hastanelerin iklimlendirme sistemleri açısından özel bir durumu sahip olmasına sebep oluyor. Nem alma işlemi sebebiyle nem kontrolü yapılan mahallerde sıcak sezonlarda bile ısıtma ihtiyacı oluşabilmektedir.



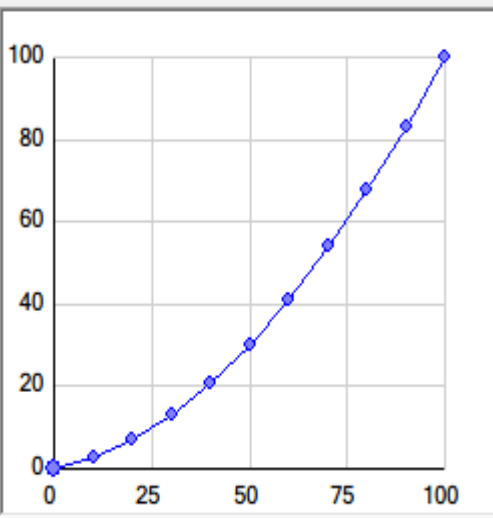
Şekil 4.3. Nem kontrolüne ilişkin modele yansıtılan örnek veriler

Referans binada kullanılan sistem tipi ASHRAE 90.1 referans bina tanımına uygun olarak son ısıtılmalı sabit debili merkezi santral olarak modellenmiştir. Her bir kulede yer alan hasta odalarına bir santraldan, ameliyathaneler bir santraldan ve diğer mahallerde her blok bir santraldan hizmet almaktadır. İklimlendirme santrallerinin yapısı Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. İklimlendirme sistem bileşenleri

Hava Tarafı

The diagram illustrates a climate control system's air handling unit (AHU) and its connections to various components. It features a central mixing box (3) with two main air inlets: 'Taze hava alışı bağlantısı' (1) and 'Egzost atışı bağlantısı' (2). The mixed air (4) is then distributed to different zones. A bypass loop (5) allows air to bypass the mixing box. The system includes a cooling coil (6) and a heating coil (7) for temperature control. A fan (8) provides the necessary airflow. The system is monitored by a temperature sensor (9) and a pressure sensor (10). The air is then distributed to the zones (11, 12, 13, 14, 15, 16, 17) through a series of ducts and valves. The system is controlled by a central unit (18) and a fan (19).

	Sistem Bileşeni	Tanımlanan Parametreler																								
1	Taze hava alışı bağlantısı	-																								
2	Egzost atışı bağlantısı	-																								
3	Isı geri kazanım hücresi	Verimlilik (0.5), enerji kaynağı (-), yük (-)																								
4	Karışım hücresi	Hava debisi, taze hava debisi																								
5	Sıcaklık sensörü	Sapma (-)																								
6	Soğutma serpantini	Soğutma grubu (WC Cooling Group), Baypas oranı (0.1), Kapasite (Sized), Emniyet faktörü (1.15)																								
7	Isıtma serpantini	Isıtma grubu (HW Heating Group), Kapasite (Sized), Emniyet faktörü (1.25)																								
8	Besleme fanı	Enerji kaynağı (Electrical group-fans), hava debisi (All attached zones flow rate), verimlilik (0.75), ısı kazanç faktörü (0.9), Basınç (1200 Pa), Kısmi yük eğrisi (ASHRAE 90.1 fan kısmi yük değerlerine uygun olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır)																								
 <table> <tr> <th>Part Load (...)</th><th>Power (%)</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td>3</td></tr> <tr><td>20</td><td>7</td></tr> <tr><td>30</td><td>13</td></tr> <tr><td>40</td><td>21</td></tr> <tr><td>50</td><td>30</td></tr> <tr><td>60</td><td>41</td></tr> <tr><td>70</td><td>54</td></tr> <tr><td>80</td><td>68</td></tr> <tr><td>90</td><td>83</td></tr> <tr><td>100</td><td>100</td></tr> </table>	Part Load (...)	Power (%)	0	0	10	3	20	7	30	13	40	21	50	30	60	41	70	54	80	68	90	83	100	100		
Part Load (...)	Power (%)																									
0	0																									
10	3																									
20	7																									
30	13																									
40	21																									
50	30																									
60	41																									
70	54																									
80	68																									
90	83																									
100	100																									

Çizelge 4.8. (devam) İklimlendirme sistem bileşenleri

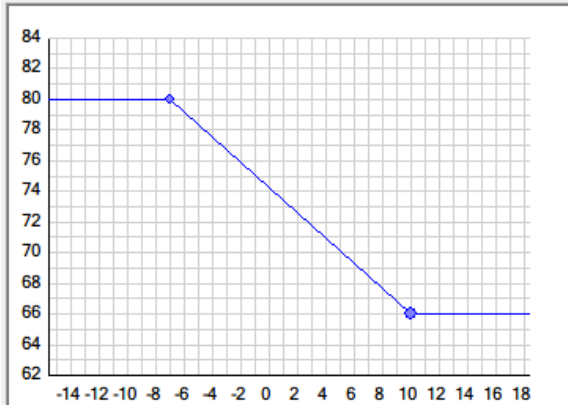
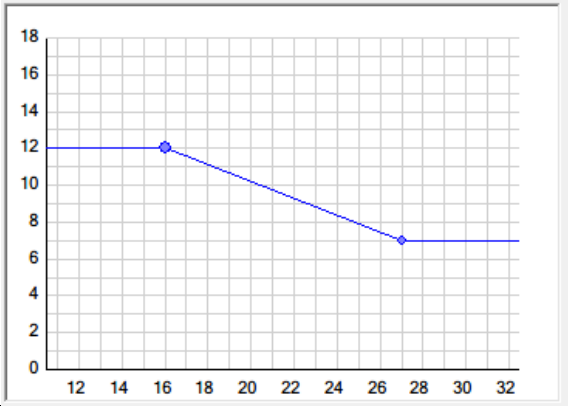
9	Buharlı nemlendirme ünitesi	Enerji kaynağı (Electrical group-equipment), Besleme su sıcaklığı (15 °C), bağlı nem set değeri (%30), kapasite (sized)
10	Damper	Hava debisi (Nearest zone flow rate)
11	Hizmet edilen mahal	Aydınlatma enerji kaynağı (Electrical group-lighting), Ekipmanlar enerji kaynağı (Electrical group-equipment), Toplam ve taze hava debileri (ASHRAE 170 standardı mahal tiplerine bağlı olarak toplam hava değişim gereksinimini sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Örnek olarak ameliyathanelerde 20 ACH/4 ACH)
12	Son ısıtıcı	son ısıtıcı enerji kaynağı (Sıcak su), son ısıtıcı kapasitesi (sized), son ısıtıcı kapasite emniyet faktörü (1.25)
13	Sıcaklık sensörü	Sensör türü (sıcaklık), set değeri (°C), Aralık (°C)
15	En az sensörü	- , bağlı olduğu sensörlerden gelen sinyallerin en düşük olanı geçer
16	En çok sensörü	- , bağlı olduğu sensörlerden gelen sinyallerin en yüksek olanı geçer
17	Dönüş fanı	Enerji kaynağı (Electrical group-fans), hava debisi (All attached zones flow rate), verimlilik (0.75), ısı kazanç faktörü (0.9), Basınç (1000 Pa), Kısmi yük eğrisi (ASHRAE 90.1 fan kısmi yük değerlerine uygun olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır)

Part Load (...)	Power (%)
0	0
10	3
20	7
30	13
40	21
50	30
60	41
70	54
80	68
90	83
100	100

Su Tarafları

1 Fan elektrik grubu Enerji kaynağı (Grid supplied Electricity, Şebeke elektriği)

Çizelge 4.8. (devam) İklimlendirme sistem bileşenleri

2	Aydınlatma elektrik grubu	Enerji kaynağı (Grid supplied Electricity, Şebeke elektriği)						
3	Ekipmanlar elektrik grubu	Enerji kaynağı (Grid supplied Electricity, Şebeke elektriği)						
4	Isıtma kazanı	Kapasite (Sized), Emniyet faktörü (1.25), Set sıcaklığı (ASHRAE 90.1'e uygun olarak dış ortam -7°C ve altında 80°C, 10°C üstünde 66°C ve -7°C ve 10°C aralığında lineer olarak 66°C ve 80°C arasında değişmektedir), Enerji kaynağı (Natural gas)  <table><thead><tr><th>Outdoor Drybulb</th><th>Setpoint (°C)</th></tr></thead><tbody><tr><td>-7.0</td><td>80.0</td></tr><tr><td>10.0</td><td>66.0</td></tr></tbody></table>	Outdoor Drybulb	Setpoint (°C)	-7.0	80.0	10.0	66.0
Outdoor Drybulb	Setpoint (°C)							
-7.0	80.0							
10.0	66.0							
5	Isıtma pompa grubu	Enerji kaynağı (Grid supplied Electricity), Kapasite (sized), Verimlilik (%75), Basma yüksekliği (179 kPa)						
6	Debi ayar sensörü	En yüksek ısıtma ihtiyacına göre lineer değişmektedir.						
7	Isıtma ihtiyaç grubu	-, (İçerilen zonların saatlik toplam ısıtma ihtiyacı verilerini içerir)						
8	Soğutma kulesi	Enerji kaynağı (Grid supplied Electricity), Kapasite (sized), Özgül fan gücü (0.2 W/l/s), Soğutma set sıcaklığı (21°C), Tasarım giriş su sıcaklığı (35°C)						
9	Soğutma kule devresi pompa grubu	Enerji kaynağı (Grid supplied Electricity), Kapasite (sized), Verimlilik (%75), Basma yüksekliği (179 kPa)						
10	Su soğutmalı santrifüj soğutma grubu	Kapasite (Sized), Emniyet faktörü (1.15), Set sıcaklığı (ASHRAE 90.1'e uygun olarak dış ortam 16°C ve altında 12°C, 27°C üstünde 7°C ve 16°C ve 27°C aralığında lineer olarak 12°C ve 7°C arasında değişmektedir), Enerji kaynağı (Grid supplied Electricity),  <table><thead><tr><th>Outdoor Drybulb</th><th>Setpoint (°C)</th></tr></thead><tbody><tr><td>16.0</td><td>12.0</td></tr><tr><td>27.0</td><td>7.0</td></tr></tbody></table>	Outdoor Drybulb	Setpoint (°C)	16.0	12.0	27.0	7.0
Outdoor Drybulb	Setpoint (°C)							
16.0	12.0							
27.0	7.0							
11	Soğutma pompa grubu	Enerji kaynağı (Grid supplied Electricity), Kapasite (sized), Verimlilik (%75), Basma yüksekliği (179 kPa)						
12	Debi ayar sensörü	En yüksek soğutma ihtiyacına göre lineer değişmektedir.						
13	Soğutma ihtiyaç grubu	-, (İçerilen zonların saatlik toplam soğutma ihtiyacı verilerini içerir)						

Çizelge 4.8. (devam) İklimlendirme sistem bileşenleri

14	Kullanım sıcak suyu kazanı	Kapasite (Sized), Emniyet faktörü (1.25), Set sıcaklığı 60, Enerji kaynağı (Natural gas)
15	Kullanım sıcak suyu pompa grubu	Enerji kaynağı (Grid supplied Electricity), Kapasite (sized), Verimlilik (%75), Basma yüksekliği (179 kPa)
16	Debi ayar sensörü	En yüksek sıcak su ihtiyacına göre lineer değişmektedir.
17	Sıcak su ihtiyaç grubu	-, (İçerilen zonların saatlik toplam sıcak su ihtiyacı verilerini içerir)

4.1.8. Taze hava ve dolaşım hava debileri

Her bir zonun taze hava debilerinin belirlenmesi için mahal tiplerine göre ASHRAE 170-2008 ve ASHRAE 62.1-2007 standartlarından yararlanılmıştır. ASHRAE 170 standardı sağlık kurumlarına özel olarak geliştirilmiş olan bir standarttır. Sağlık kurumlarını iklimlendirme yönünden özel kılan konu minimum taze hava gereksinimlerinin yanı sıra minimum toplam besleme hava gereksinimlerinin de mevcut olmasıdır. Oluşturulan modellerde hastanelere özel mahal tiplerinin taze hava ve toplam hava gereksinimlerinin belirlenmesi için bu standarttan yararlanılmıştır. Diğer mahallerin taze hava gereksiniminin hesaplanmasında ise ASHRAE 62.1-2007 standardı kullanılmıştır. Belirlenen debiler referans ve iyileştirilmiş modeller için birebir aynı değerler ile modellenmiştir. Modelde kullanılan mahal tiplerinin ilgili standartta belirtilen mahal tiplerine eşleştirmesi, taze hava ve toplam hava debi gereksinimleri Çizelge 4.9’da paylaşılmıştır.

Çizelge 4.9. Mahal tiplerine bağlı olarak iç ortam kalitesi gereksinimleri (ASHRAE Standard 170-2008)

Mahal Tipi / Parametre	Dış hava (l/s/kisi)	Dış hava (l/s/m ²)	Dış hava (ACH)	Toplam hava debisi (ACH)	Dönüş havasının tamamı dışarı atılma gereksinimi	Mahal hava dolaşımı	Bağıl nem alt limiti (%)	Bağıl nem üst limiti (%)	Isıtma set sıcaklığı (°C)	Soğutma set sıcaklığı (°C)
Anestezi gaz deposu	0	0.6	0	8	Var	NR*	NR	NR	16	23
Kafeterya	3.8	0.9	0	0	NR	NR	NR	NR	20	25
Temiz çalışma odası	2.5	0.3	0	4	NR	No	NR	NR	21	25
Konferans odası	2.5	0.3	0	0	NR	NR	NR	NR	21	25

Çizelge 4.9. (devam) Mahal tiplerine bağlı olarak iç ortam kalitesi gereksinimleri (ASHRAE Standard 170-2008)

Mahal Tipi / Parametre	Dış hava(l/s/kişi)	Dış hava (l/s/m ²)	Dış hava (ACH)	Toplam hava debisi(ACH)	Dönüş havasının tamamı dışarı atılma gereksinimi	Mahal hava dolaşımı	Bağıl nem alt limiti (%)	Bağıl nem üst limiti (%)	Isıtma set sıcaklığı(°C)	Soğutma set sıcaklığı(°C)
Yemekhane	3.8	0.9	0	0	NR	NR	NR	NR	18	25
Koridor	0	0.3	0	2	NR	NR	NR	NR	21	23
Muayene/tedavi odası	2.5	0.3	0	6	NR	NR	NR	60	21	25
Yemek hazırlama	0	0	0	10	NR	No	NR	NR	18	20
Laboratuvar	2.5	0.3	2	6	Var	No	NR	NR	20	25
Çamaşırhane	3.8	0.3	0	10	Var	No	NR	NR	18	-
Lobi	2.5	0.3	0	0	NR	NR	NR	NR	18	25
Soyunma odası	2.5	0.3	0	10	NR	NR	NR	NR	21	25
Bekleme salonu	2.5	0.3	0	0	NR	NR	NR	NR	21	23
Mek./elek./telekom odası	0	0.6	0	0	NR	NR	NR	NR	-	-
Tıbbi malzeme/ilaç odası	0	0.6	0	4	NR	NR	NR	60	16	23
Hemşire odası	2.5	0.3	0	0	NR	NR	NR	NR	21	23
Çocuk bakım odası	n/a	n/a	2	6	NR	NR	30	60	23	25
Ofis	2.5	0.3	0	0	NR	NR	NR	NR	21	25
Ameliyathane	n/a	n/a	4	20	NR	NR	30	60	19.5	20.5
Hasta odası	n/a	n/a	2	6	NR	NR	NR	60	21	23
Eczane	2.5	0.9	0	4	NR	NR	NR	NR	20	25
Fizik tedavi	10	0.3	0	6	NR	NR	NR	65	17	25
Ameliyat odası	n/a	n/a	3	15	NR	NR	30	60	19.5	20.5
Radyoloji/görüntüleme	2.5	0.3	0	6	NR	NR	NR	60	20	25
Resepsiyon/bekleme	2.5	0.3	0	0	NR	NR	NR	NR	21	25
Uyanma odası	n/a	n/a	2	6	NR	No	NR	60	23	25
WC	0	0	0	10	NR	NR	NR	NR	20	-
Topraklanmış oda	n/a	n/a	0	10	Var	No	NR	NR	21	25
Sterilizasyon ekipmanları odası	0	0.6	0	10	Var	No	NR	NR	16	23
Depo/Teslim alma	0	0.6	0	0	NR	NR	NR	NR	-	-
Travma/acil odası	n/a	n/a	3	15	NR	No	NR	65	23	25
Triaj	n/a	n/a	2	12	Var	NR	NR	60	21	25
Dinlenme	2.5	0.3	0	0	NR	NR	NR	NR	21	23
sınıf	3.8	0.3	0	0	NR	NR	NR	NR	20	22
Yoğun bakım	n/a	n/a	2	6	NR	No	30	60	23	25

4.2. Enerji Modelinin Doğrulanması

Binanın enerji performansının iyileştirilmesine yönelik önerilerin incelenmesi öncesinde referans olarak kullanılacak olan bina modeli enerji tüketimleri açısından doğrulanmalıdır. Bu amaçla bu çalışma kapsamında geliştirilen hastane binası modeli aynı iklim bölgesinde yer alan bir hastanenin (Ankara Lösante Hastanesi) bina enerji yönetim sisteminden alınan bağımsız tüketim verileri kullanılarak doğrulanmıştır. Bu amaçla model ve gerçek binanın yıllık tüketim verileri normalize edilerek yan yana getirilmiştir.

Ayrıca çalışmanın güvenilirliğini arttırmak adına modelin doğrulanmasında mevcut literatürde aynı iklim bölgesinde yer alan hastane binalarının enerji tüketimlerine ilişkin yayımlanan değerlerden faydalanılmıştır. Bu doğrultuda Türkiye Bina Enerji Performans yönetmeliğinin [24] yanı sıra Amerikan Çevre Koruma Ajansı (Environment Protection Agency, EPA) ve Amerika Enerji Bakanlığı (U.S. Department of Energy, DOE) tarafından yürütülen “Energy Star” programı kapsamında yayımlanan hastane binalarının ortalama referans birincil enerji tüketim yoğunluğu bilgileri kullanılmıştır [3]. Buna ilave olarak Amerikan Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (National Renewable Energy Laboratory, NREL) tarafından hastane binalarının yıllık saha enerji tüketim yoğunluğu için paylaşılan referans değerler incelenmiştir [25].

Bu kaynaklardan elde edilen enerji tüketim yoğunluk değerleri ve çalışma kapsamında geliştirilen modelden elde edilen değerler Çizelge 4.10’da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.10. Hastane binalarının birincil ve saha enerji tüketim yoğunlukları

Yıllık Birinci Enerji Tüketim Yoğunluğu (kWh/m ²)	
Referans Model-Ankara	607
Türkiye BEP Yönetmeliği	600
Energy Star Referans Ortalama	740
Lösante Hastanesi Ankara	587
Yıllık Saha Enerji Tüketim Yoğunluğu (kWh/m ²)	
Referans Model Ankara	333
NREL DOE Yeni Yapılan Hastaneler için Referans Değeri	387

Yıllık enerji tüketim yoğunluk değerlerinin yanı sıra modelin doğrulanması için kullanılan diğer bir parametre ise yıllık enerji tüketiminin son tüketimlere göre dağılım oranlarıdır.

Burada Amerikan enerji bilgileri idaresi (Energy Information Administration, EIA) ve NREL'in aynı iklim bölgesi için hastane binalarının enerji tüketimlerine ilişkin yayımladıkları verilerden faydalanılmıştır. Bu kaynaklardan elde edilen veriler, referans bina enerji modelinden alınan veriler ile Çizelge 4.11'de karşılaştırılmıştır [26, 27].

Referans bina modelinden elde edilen çıktıları aynı iklim bölgesi (3.iklim bölgesi / 4A) için gereken bir hastane binası ve literatürde paylaşılan veriler ile birlikte incelendiğinde geliştirilmiş olan bina enerji modelinin tipik bir hastane binasının enerji tüketim özelliklerini doğru şekilde temsil ettiği teyit edilmiştir. Dolayısıyla bu model, bina enerji sistemlerine uygulanabilecek olası iyileştirmelerin etkisinin incelenmesinde kullanılabilecektir.

Çizelge 4.11. Hastane binalarının yıllık enerji tüketiminin son tüketimlere göre dağılımı (3.iklim bölgesi (4A))

Son tüketim	Referans Model	EIA Referans Verileri	NREL Referans Verileri
Elektrik ekipmanlar	10%	5%	14%
Aydınlatma	9%	14%	6%
HVAC dışı toplam	19%	19%	20%
Mekanik ekipmanlar	33%	27%	33%
Soğutma	9%	7%	13%
Isıtma	39%	47%	34%
HVAC toplam	81%	81%	80%

4.3. Binanın Enerji Performansının İyileştirme Potansiyelleri

Binaların enerji tüketim davranışları birçok etkenden etkilenmektedir. BU etkenlerden bazıları binanın tasarımı aşamasında belirlenen parametrelerdir. Çalışma kapsamında incelenen tasarım parametrelerine ilişkin iyileştirme önerilerinin detayları burada açıklanmıştır.

4.3.1. Bina yönü

Bina tasarımının ilk safhalarında belirlenen özelliklerinden biri binanın yönelimidir. Yöneliminin belirlenmesinde dikkate alınan başlıca parametrelerden arsa yerleşimi, ulaşım, yol erişimi ve zon dağılımıdır. Bu temel parametrelerin yanı sıra enerji ve konfora bağlı kısıtlar da bina yönünün seçilmesinde etkilidir. Hastane binalarının tüketim davranışları çerçevesinde bina yöneliminin etkisinin incelenmesi amacıyla binanın birbirinden 90 derece

farklı yönelimleri oluşturularak, enerji tüketimleri kıyaslanmıştır. Binanın farklı cephelerinde yer alan duvar ve pencere alanları Çizelge 4.2’de listelenmiştir.

4.3.2. Bina cam yüzey oranı

Bina kabuğu pencere alanının duvar alanına oranı binanın enerji performansını etkileyen bir parametredir. Günümüzün modern mimari tasarımlarında bina kabuğunun yüksek oranda saydam yüzeylerden oluştuğu durumlara sıkça rastlanmaktadır. Tüm gerekli enerji ve konfor analizlerinin yapılmaması durumunda yüksek cam yüzey oranı bina performansı açısından istenmeyen sonuçlara yol açabilmektedir. Binaların pencere-duvar-oranı Eş. (4.1)’de de gösterildiği gibi toplam pencere alanı (S_g) toplam bina cephe alanına (S_f) bölünerek hesaplanabilmektedir:

$$WWR = \frac{S_g}{S_f} \quad (4.1)$$

Cam yüzey oranının hastane binalarının enerji performansı üzerindeki etkisini incelemek adına bina cephesinde yer alan pencerelerin yüksekliği iki aşamada %20 ve %40 oranlarında azaltılmıştır. Bu da sırasıyla pencere-duvar-oranının %7 ve %14 azalmasına yol açmaktadır. Her iki durum için güncel bina modeli oluşturularak enerji performansı referans bina modeli ile karşılaştırılmıştır.

Mevcut binanın aydınlatma tasarımında gün ışığı kontrolü öngörülmediğinden dolayı binanın farklı yönelimleri ve cam yüzey alanının aydınlatma tüketimleri üzerindeki etkisi bu çalışma kapsamında dikkate alınmamıştır. Gün ışığı kontrolünün hesaba katılması detaylı gün ışığı analizleri gerektirmektedir ve farklı bir çalışmanın konusu olabilecektir.

4.3.3. Bina kabuğu

Bina kabuğu binanın dış ortamla etkileşimini sağlayan ana bileşenidir. Bu açıdan birçok bina tipinde binanın enerji performansını belirleyen en önemli etkidir. Ancak bu konu yüksek taze hava ve hava dolaşımı ihtiyacı olan veya yüksek oranda iç kazanca sahip bina tipleri için geçerli olmayabilir. Hastane binaları da yüksek taze hava ve hava dolaşımı gereksinimlerine sahiptir. Buna rağmen kabuk özellikleri binanın enerji performansını belirleyen en etkili parametre olmasa da etkili parametrelerden biridir. Bu sebepten dolayı

da bina kabuk özellikleri tüm binalarda olduğu gibi hastane binalarında da tasarım aşamasında detaylı biçimde incelenmelidir.

Bu doğrultuda kabuk sistem özelliklerinin hastane binalarının performansı üzerindeki etkisi çalışma kapsamında incelenmiştir. Referans bina modelinin kabuk bileşenleri yerel TS 825 standardına uygun şekilde oluşturulmuştur. Olası iyileştirmelerin etkisinin incelenmesi adına opak yüzeylerdeki yalıtım kalınlıkları ve pencere sistemleri güncellenerek iyileştirilmiş bina modelleri geliştirilmiş ve performans değerleri referans bina ile kıyaslanmıştır. Bu çerçevede dış duvar yalıtım kalınlıkları 60mm'den dördüncü iklim bölgesinde 200mm ve diğer iklim bölgelerinde 150mm'ye arttırılmıştır. Ayrıca bina çatısı yalıtım oranı 120mm'den, dördüncü iklim bölgesinde 250mm ve diğer tüm iklim bölgelerinde 200mm'ye arttırılmıştır. Referans ve iyileştirilmiş bina modellerinde yansıtılan kabuk özellikleri Çizelge 4.12'de karşılaştırılmıştır. Buradan elde edilecek sonuçlar bina kabuğunun enerji performansı üzerindeki etki oranını değerlendirmek için faydalı olacaktır.

Çizelge 4.12. Referans ve iyileştirilmiş bina kabuk özellikleri

İklim Bölgeleri	U _{duvar} (W/m ² K)		U _{tavan} (W/m ² K)		U _{taban} (W/m ² K)		U _{pencere} (W/m ² K)		Gölgeleme katsayısı	
	Yerel Standard	Önerilen Değer	Yerel Standard	Önerilen Değer	Yerel Standard	Önerilen Değer	Yerel Standard	Önerilen Değer	Yerel Standard	Önerilen Değer
1. İklim Bölgesi (Antalya)	0.70	0.23	0.45	0.19	0.70	0.46	2.4	1.4	-	0.3
2. İklim Bölgesi (İstanbul/Samsun)	0.60	0.23	0.40	0.19	0.60	0.46	2.4	1.4	-	0.3
3. İklim Bölgesi (Ankara)	0.50	0.23	0.30	0.19	0.45	0.46	2.4	1.4	-	0.3
4. İklim Bölgesi (Erzurum)	0.40	0.18	0.25	0.15	0.40	0.29	2.4	1.4	-	0.3

4.3.4. Aydınlatma sistemi

Aydınlatma sistemine yansıtılacak iyileştirmelerin anlamlı şekilde değerlendirilebilmesi için görsel konfor parametrelerinin de aydınlatma analizleri yardımıyla incelenmesi gerekmektedir. Aydınlatma analizleri bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Ancak görsel konfor gereksinimlerinin korunması şartıyla aydınlatma sistemine uygulanacak olası iyileştirmelerin binanın enerji performansı üzerindeki etki oranı burada incelenmiştir. Bu doğrultuda verimli armatür ve mümkün olan yerlerde varlık sensörleri kullanımı varsayılarak ASHRAE 90.1-2007 standardına uygun olarak aydınlatma yük yoğunluklarına %10 düzeltme faktörü uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda oluşan enerji performansı

referans bina performansı ile karşılaştırılmıştır. Farklı mahal tipleri için referans ve iyileştirilmiş bina modellerine yansıtılan aydınlatma yük yoğunlukları ...'da paylaşılmıştır. Buradan elde edilen sonuçlar aydınlatma yükünün doğrudan aydınlatma tüketimlerine olan etkisinin yanı sıra soğutma yük ve tüketimlerine olan etkisini de yansıtmaktadır.

Çizelge 4.13. Mahal tiplerine göre aydınlatma yük yoğunlukları

Mahal Tipi	Referans Bina Aydınlatma Yük Yoğunlukları (W/m ²)	İyileştirilmiş Bina Aydınlatma Yük Yoğunlukları (W/m ²)
Ameliyat odası	23.7	21.3
Hasta odası	7.5	6.8
Bekleme odası	14	12.6
Çamaşırhane	6.5	5.9
Fizik Tedavi	9.7	8.7
Kafeterya	9.7	8.7
Çocuk bakım odası	6.5	5.9
Konferans odası	14	12.6
Hemşire odası	10.8	9.7
Laboratuvar	15.1	13.6
Muayene odası	16.2	14.6
Radyoloji	4.3	3.9
Acil odası	29.1	26.2
Triaj	29.1	26.2
Yoğun bakım	6.5	5.9
Sterilizasyon cihazı odası	9.7	8.7
Tıbbi malzeme/ilaç odası	15.1	13.6
Ofis	11.8	10.6
Koridor	10.8	9.7
Lobi	14	12.6
Soyunma odası	6.5	5.9
WC	9.7	8.7
Mekanik/Elektrik/Telekom. odası	16.2	14.6
Depo	9.7	8.7

4.3.5. İklimlendirme sistemi

Sağlık kurumlarına ait binalar taze havanın yanı sıra hava dolaşımı gereksinimlerine sahip olma açısından özel bir duruma sahiptir. Buna ilave olarak belirli mahal tiplerinde nem kontrolü zorunlu olup, laboratuvar gibi belirli mahallerde ise dönüş havasının tamamı

dışarıya atılmalıdır. Tüm bu zorunluluklar iklimlendirme sistemleri açısından özel bir durum oluşturmaktadır. Bu özel durumla birlikte enerji tasarruf potansiyeli de oluşmaktadır. Çalışma kapsamında iklimlendirme sistemlerine uygulanacak iyileştirmeler, taze hava ve ısıtma soğutma havasının sağlık kurumlarına ait iç ortam standartları açısından müsaade edilen mahallerde ayrıştırılması, mümkün olan mahallerde karbon dioksit sensörü destekli ihtiyaca bağlı havalandırma uygulanması (Demand controlled ventilation, DCV), ısıtma ve sıcak su ihtiyacının karşılanması için kullanılan kazanların verimlilik artışı ve yüksek performans katsayılarına sahip soğutma grubu kullanımını içermektedir. İklimlendir sistemleri için bina modeline yansıtılan iyileştirmeler Çizelge 4.14’de listelenmiştir.

4.3.6. Tüm iyileştirmeler

Çalışma kapsamında incelenen diğer bir durum tüm iyileştirmelerin eş zamanlı olarak referans bina modeline yansıtılması durumudur. Bu durum kapsamında %7 pencere-duvar oranı azalmasının yanı sıra kabuk, aydınlatma ve iklimlendirme sistem iyileştirmeleri değerlendirilmiştir. Çeşitli iklim bölgeleri için elde edilen sonuçların anlamlı karşılaştırılmasını mümkün kılmak adına farklı bina yönelimleri bu değerlendirme kapsamına alınmamıştır.

4.3.7. Fotovoltaik panellerin (PV) kullanımı

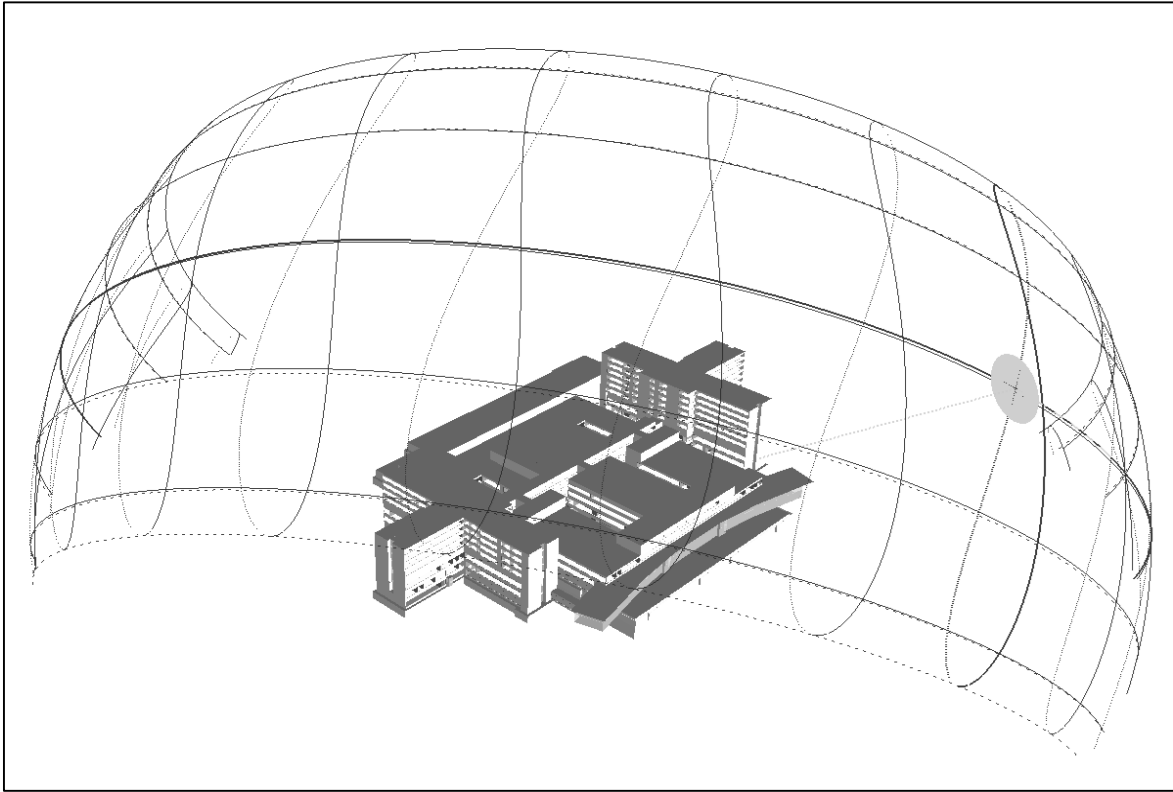
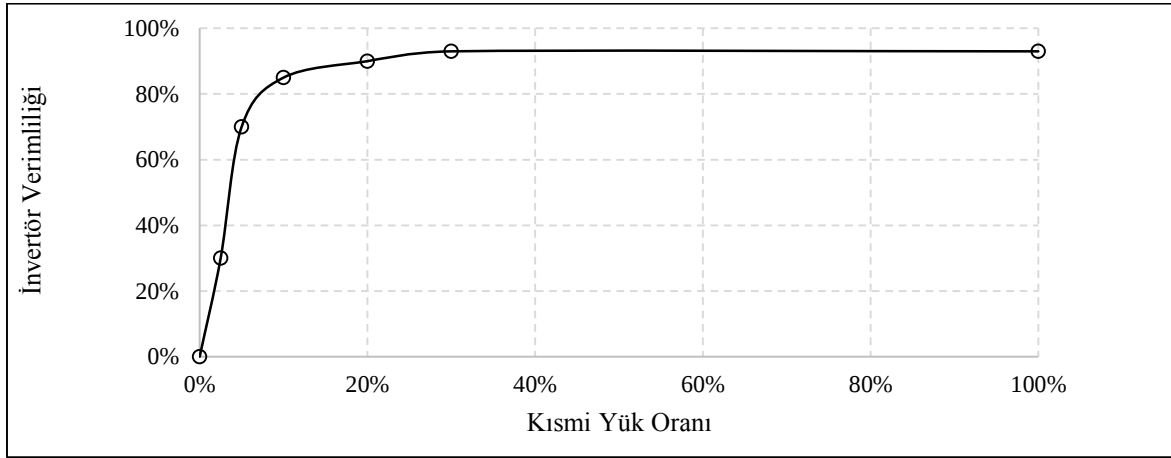
İncelen son durum ise gerçek bina tasarımında öngörülmüş olan kapasitede PV kullanımının değerlendirilmesidir. Bu doğrultuda 2250 m² yüzey alanına sahip PV sistemi tüm iyileştirmelerin eş zamanlı olarak uygulandığı durum için geliştirilen bina modeline ilave edilmiştir. Sabit açılı ve çift eksenli güneş takipli iki farklı PV sistem tipinin enerji üretimi farklı iklim bölgelerinde kıyaslanmıştır. Hesaplamalarda tüm şehirler için doğrudan ve yayınlık güneş ışınlımı ve bulutluluk oranının saatlik verilerini içeren tipik meteorolojik yıl (TMY) verileri kullanılmıştır. Her iki sistem tipi için %20 güneş dönüşüm faktörü, 30 derece eğim açısı ve 0.04 güneş yansıtma oranı tanımlanmıştır. PV sistemi invertörü için modele yansıtılan kısmi yük verimlilik eğrisi Çizelge 4.15’te paylaşılmıştır. Saatlik simülasyonlar yardımıyla PV sisteminin yıllık enerji üretimi hesaplanmıştır. Güneş takipli sisteme ait hesaplamalarda panellerin yönü güneşin hareketini gün boyunca takip edecektir. Güneşin yörüngesi incelenen şehirlerin enlem ve boylamı dikkate alınarak saatlik olarak

hesaplanmaktadır. Örnek bir gün için hesaplanan güneş pozisyonu Çizelge 4.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. Referans ve iyileştirilmiş bina modeline yansıtılan iklimlendirme sistem özellikleri

Sistem özellikleri	Referans bina modeli	İyileştirilmiş bina modeli
Sistem tipi	ASHRAE 90.1-2007 referans bina sistem tanımı ve minimum cihaz verimlilik değerlerine uygun, sabit hava debili, sıcak su son ısıtmalı tüm havalı merkezi iklimlendirme santrali..	Mahal hava dolaşımı müsaade edilen mahallerde ihtiyaca göre havalandırma (DCV) için merkezi 100% taze hava sistemi ve ısıtma/soğutma için fan coil üniteleri. Diğer tüm mahaller için değişken debili sıcak su son ısıtmalı tüm havalı merkezi iklimlendirme santrali.
Fanlar	Besleme fanları 1.2 W/l/s ve dönüş fanları için.1.0 W/l/s	Referans binaya benzer şekilde. İlave olarak İhtiyaca göre havalandırma ve düşük basınçlı fan coil üniteleri.
Isıtma sistemi	Doğal gaz yakıtlı, %80 verimliliğe sahip kazan sistemi. Dış havaya bağlı değişken set sıcaklığı, dış ortam -7°C ve altında 80°C, 10°C üstünde 66°C ve -7°C ve 10°C aralığında lineer olarak 66°C ve 80°C arasında değişmektedir	Doğal gaz yakıtlı %90 verimliliğe sahip yoğunlaşmalı kazan sistemi, Dış havaya bağlı değişken set sıcaklığı, dış ortam -7°C ve altında 80°C, 10°C üstünde 66°C ve -7°C ve 10°C aralığında lineer olarak 66°C ve 80°C arasında değişmektedir
Soğutma grubu	Su soğutmalı santrifüj soğutma grubu, performans katsayısı (COP) 6.1. Dış havaya bağlı değişken set sıcaklığı, dış ortam 16°C ve altında 12°C, 27°C üstünde 7°C ve 16°C ve 27°C aralığında lineer olarak 12°C ve 7°C arasında değişmektedir	Su soğutmalı santrifüj soğutma grubu, performans katsayısı (COP) 7. Dış havaya bağlı değişken set sıcaklığı, dış ortam 16°C ve altında 12°C, 27°C üstünde 7°C ve 16°C ve 27°C aralığında lineer olarak 12°C ve 7°C arasında değişmektedir
Pompalar	%75 verimlilik ve 179 kPa basma yükseliğine sahip değişken hızlı pompa sistemi	Referans binaya benzer şekilde.
Ekipman boyutlandırma	Otomatik boyutlandırma	Referans binaya benzer şekilde.
Nemlendirme	Elektrik kaynaklı buharlı paket tip nemlendirme sistemi	Referans binaya benzer şekilde.
Nem alma	Mahal bağıl nem sensörleri yardımıyla soğutma serpantinleri kontrol edilerek gerekli olan mahal tiplerinde bağıl nem %60'ın altında tutulmaktadır	Referans binaya benzer şekilde.
Dış hava ve besleme hava debileri	ASHRAE 170-2008 ve 62.1-2007 standartlarına uygun taze hava ve hava dolaşım debileri	Referans binaya benzer şekilde.

Çizelge 4.15. PV sistemi invertörüne ait kısmi yük verimlilik eğrisi



Şekil 4.4. Örnek bir gün için hesaplanan güneş pozisyonu (Ankara, 21 Eylül, 9:00)

4.3.8. İyileştirmelerin çeşitli iklim bölgelerinde uygulanması

Hastane binaların enerji performansına ilişkin önerilen iyileştirmelerin hepsi Türkiye dört iklim bölgesinde beş farklı şehirde uygulanarak her bir şehir için toplamda 13 farklı model ve çalışma genelinde 65 bina modeli geliştirilmiştir. Her bir şehir için yapılan incelemelerde

o şehre ait tipik meteorolojik yıl (TMY) verileri kullanılmıştır. Buradan elde edilen sonuçların hepsi 5. Bölümde paylaşılmıştır.

4.4. Enerji Performansının Değerlendirmesinde Kullanılan Göstergeler

Referans bina modelinin oluşturulmasına müteakip iyileştirme önerilerinin her biri bu modele uygulandıktan sonra, saatlik simülasyonlar yürütülerek, yılın tüm saatlerinde enerji tüketimleri elde edilmiş ve toplam yıllık tüketimler hesaplanmıştır. Aynı zamanda bu tüketimlerde hangi enerji kaynağının ne oranda payı olduğu da belirlenmiş ve buradan elde edilen veriler binanın farklı durumlardaki enerji performansının değerlendirilmesi kullanılmıştır. Bina enerji performansının değerlendirilmesinde yıllık enerji tüketimleri, enerji kaynağına göre tüketim oranları, birincil enerji tüketimi, enerji tüketim yoğunluğu, enerji maliyeti ve emisyon miktarları dikkate alınmıştır. Bu endeksler ve her birinin ne şekilde hesaplandığı burada kısaca açıklanmıştır.

4.4.1. Bina yıllık enerji tüketimi

Hastane binaları farklı bileşenlerinde enerji tüketmektedir. Bu tüketimler aydınlatma, elektrik ekipmanları, ısıtma, soğutma, mekanik ekipmanlar ve buhar üretiminde gerçekleşmektedir. Tüketilen enerji kaynağı ısıtmada doğal gaz ve diğer tüm bileşenlerde ise elektrik olmaktadır. Bina yıllık toplam enerji tüketimini, bu bileşenlerde tüketilen enerji miktarlarının toplamı oluşturmaktadır.

$$E_t = E_a + E_e + E_l + E_s + E_m + E_b \quad (4.2)$$

Burada:

E_t = Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)

E_a = Yıllık aydınlatma enerji tüketimi (kWh)

E_e = Yıllık elektrik ekipmanlar enerji tüketimi (kWh)

E_l = Yıllık ısıtma enerji tüketimi (kWh)

E_s = Yıllık soğutma enerji tüketimi (kWh)

E_m = Yıllık mekanik ekipmanlar enerji tüketimi (kWh)

E_b = Yıllık buhar üretimi enerji tüketimi (kWh)

4.4.2. Binanın yıllık birincil enerji tüketimi

Binanın toplam enerji tüketimi doğal gaz ve elektrik enerjisi kaynaklarından oluşmaktadır. Binanın toplam birincil enerji tüketiminin hesaplanması için, bu kaynaklardan her birinin toplam tüketimdeki payının belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra her bir kaynaktan tüketilen enerji miktarı ve ilgili enerji kaynağının birincil enerji dönüşüm katsayısı dikkate alınarak binanın toplam birincil enerji tüketimi hesaplanabilmektedir. Bu çalışma çerçevesinde yapılan hesaplamalarda kullanılan birincil enerji dönüşüm katsayıları Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Birincil Enerji Dönüşüm Katsayıları

Yakıt Tipi	Birincil Enerji Dönüşüm Katsayısı
Doğal Gaz	1
Elektirik	2.36

Yukarıda belirtilen birincil enerji dönüşüm katsayıları dikkate alınarak binanın farklı durumlarda toplam birincil enerji tüketimi bu şekilde hesaplanmıştır:

$$E_{tp} = E_{elek}f_{elek} + E_{dg}f_{dg} \quad (4.3)$$

Burada:

E_{tp} : Binanın toplam birincil enerji tüketimi (kWh)

E_{elek} : Binanın yıllık elektrik enerji tüketimi (kWh)

E_{dg} : Binanın yıllık doğal gaz tüketimi (kWh)

f_{elek} : Elektrik enerjisi için birincil enerji dönüşüm katsayısı (-)

f_{dg} : Doğal gaz için birincil enerji dönüşüm katsayısı (-)

4.4.3. Binanın yıllık enerji tüketim yoğunluğu

Bina tasarımı için yapılan enerji modelleme ve bina enerji performansı değerlendirilmesi çalışmalarında önemli bir endeks sayılan “Bina Enerji Tüketim Yoğunluğu”, bir binanın yıl boyunca tükettiği toplam enerji miktarının, binanın toplam brüt alanına bölünmesinden elde edilebilmektedir.

$$E_{ty} = \frac{E_t}{A_{tb}} \quad (4.4)$$

Burada:

E_{ty} : Bina enerji tüketim yoğunluğu

E_t : Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh)

A_{tb} : Binanın toplam brüt alanı (m²)

Bu değer aynı zamanda gerçek ve referans binalar arasında karşılaştırılarak, binaların enerji performansının sınıflandırmasında kullanılabilir. Bu çalışmada incelenen durumlarda bina enerji tüketim yoğunluğu kullanılarak bina enerji performansı, referans bina performansı ile karşılaştırılmıştır.

4.4.4. Binanın yıllık enerji maliyeti

Önerilen iyileştirmelerin uygulandığı durumlarda bina enerji performansının, referans bina performansı ile kıyaslanmasında kullanılan diğer bir endeks ise binanın yıllık enerji maliyetidir. Binanın yıllık enerji maliyeti yıl boyunca tüketilen doğal gaz ve elektrik miktarları belirlendikten sonra, bu enerji kaynaklarının her birinin birim fiyatları dikkate alınarak hesaplanabilmektedir.

$$E_{tm} = E_{elek}R_{elek} + E_{dg}R_{dg} \quad (4.5)$$

Burada:

E_{elek} : Binanın yıllık elektrik enerji tüketimi (kWh)

E_{dg} : Binanın yıllık doğal gaz tüketimi (kWh)

R_{elek} : Elektrik enerjisi birim fiyatı (\$/kWh)

R_{dg} : Doğal gaz birim fiyatı (\$/kWh) (Bu değer hesaplanmasında birim m³ doğal gaz fiyatı ve bu miktar doğal gazın ısı değeri dikkate alınmıştır)

Çalışma kapsamında kullanılan enerji kaynakları birim fiyatları Çizelge 4.17’de özetlenmiş olan enerji birim fiyatları kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.17. Enerji kaynakları birim fiyatları

Yakıt Tipi	Birim Fiyatı (\$/kWh)
Doğal Gaz	0.048
Elektrik	0.126

4.4.5. Binanın yıllık toplam emisyon miktarı

İyileştirmeler sayesinde binanın çevresel etkilerini ne şekilde değişebileceğinin incelenmesi adına binanın yıllık toplam emisyon miktarı durumlar arasında karşılaştırılmıştır. Binanın yıl boyunca tükettiği elektrik ve doğal gaz miktarları ve bu enerji kaynaklarının her birinin yol açtığı salınım değerleri dikkate alınarak yıllık toplam emisyon miktarları hesaplanabilir.

$$Em_{CO_2} = E_{elek}Em_{elek} + E_{dg}Em_{dg} \quad (4.6)$$

Burada:

E_{elek} : Binanın yıllık elektrik enerji tüketimi (kWh)

E_{dg} : Binanın yıllık doğal gaz tüketimi (kWh)

Em_{elek} : Birim elektrik enerjisi tüketiminden kaynaklı CO₂ emisyonu (kg/kWh)

Em_{dg} : Birim doğal gaz enerji tüketiminden kaynaklı CO₂ emisyonu (kg/kWh)

Enerji kaynaklarından oluşa emisyon oranları bir çok parametreye göre değişkenlik gösterebilir. Ancak bu çalışma kapsamında incelenen tüm durumlarda yıllık toplam emisyon miktarlarının hesaplanması için kullanılan birim enerji tüketiminden kaynaklı emisyon değerleri Çizelge 4.18’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.18. Yakıt tiplerinin birim enerji tüketimi başına sebep olduğu emisyon miktarları

Yakıt Tipi	Birim tüketim başına oluşan CO ₂ emisyonu (kg/kWh)
Doğal Gaz	0.198
Elektrik	0.517

4.5. Bina Enerji Modeli Simülasyon Çıktıları

Hastane binalarında uygulanabilecek enerji tasarrufu önlemlerinin incelenmesi adına oluşturulmuş olan referans ve iyileştirilmiş bina modelleri için yılın tüm saatlerinde

kapsamında simülasyonlar yürütülmüştür. Burada çalışma konusu olan tüm durumlarda bina enerji modelinin saatlik simülasyon çıktıları ayrı başlıklar altında paylaşılmıştır. Bu doğrultuda her bir durum için paylaşılan çıktılar referans bina çıktıları ile karşılaştırılmıştır. Söz konusu referans bina modeli standart ve yönetmeliklerde yer alan minimum gereksinimlere uygun olarak geliştirilmiş ve enerji tüketimleri ve emisyon miktarları hesaplanmıştır. Araştırılan durumlarda ise önerilen iyileştirmeler referans bina modeline uygulandıktan sonra güncel model için simülasyonlar tekrarlanarak binanın enerji performansı, referans bina ile kıyaslanmıştır. Bu sonuçlar ve kıyaslamalar, önerilen iyileştirmelerden her birinin binanın enerji performansı üzerinde olan etkisini göstermektedir. Ayrıca önerilen muhtemel iyileştirmelerin tesir oranları Türkiye'nin çeşitli iklim bölgeleri arasında kıyaslanmıştır. Referans bina ve incelenen diğer tüm durumlar için elde edilen sonuçlar Bölüm 5.9'da özetlenmiş ve irdelenmiştir.

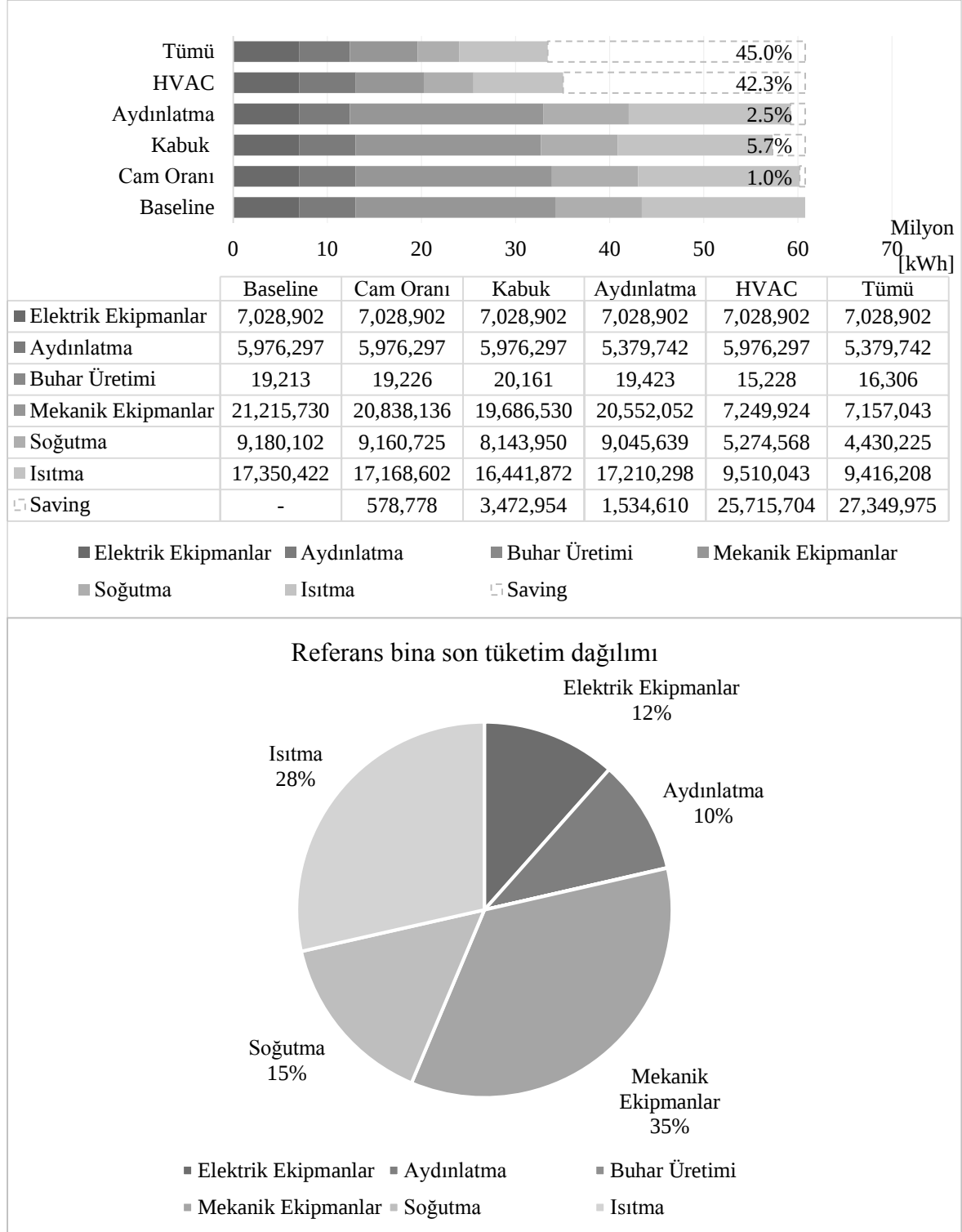
Tüm bu aşamalarda, binanın enerji performansının incelemesinde, enerji kaynağına göre yıllık tüketimler, enerji tüketim yoğunluğu, enerji maliyetleri ve emisyon oranları değerlendirmeye alınmıştır.

4.5.1. İyileştirmelerin etki oranı

Burada her bir iklim bölgesinde incelenen tüm iyileştirmelerin etki oranını incelemek ve karşılaştırmak adına, araştırılan durumlarda yıllık toplam enerji tüketiminin dağılımı ve referans binaya göre azalma oranı grafikler üzerinde yansıtılmıştır.

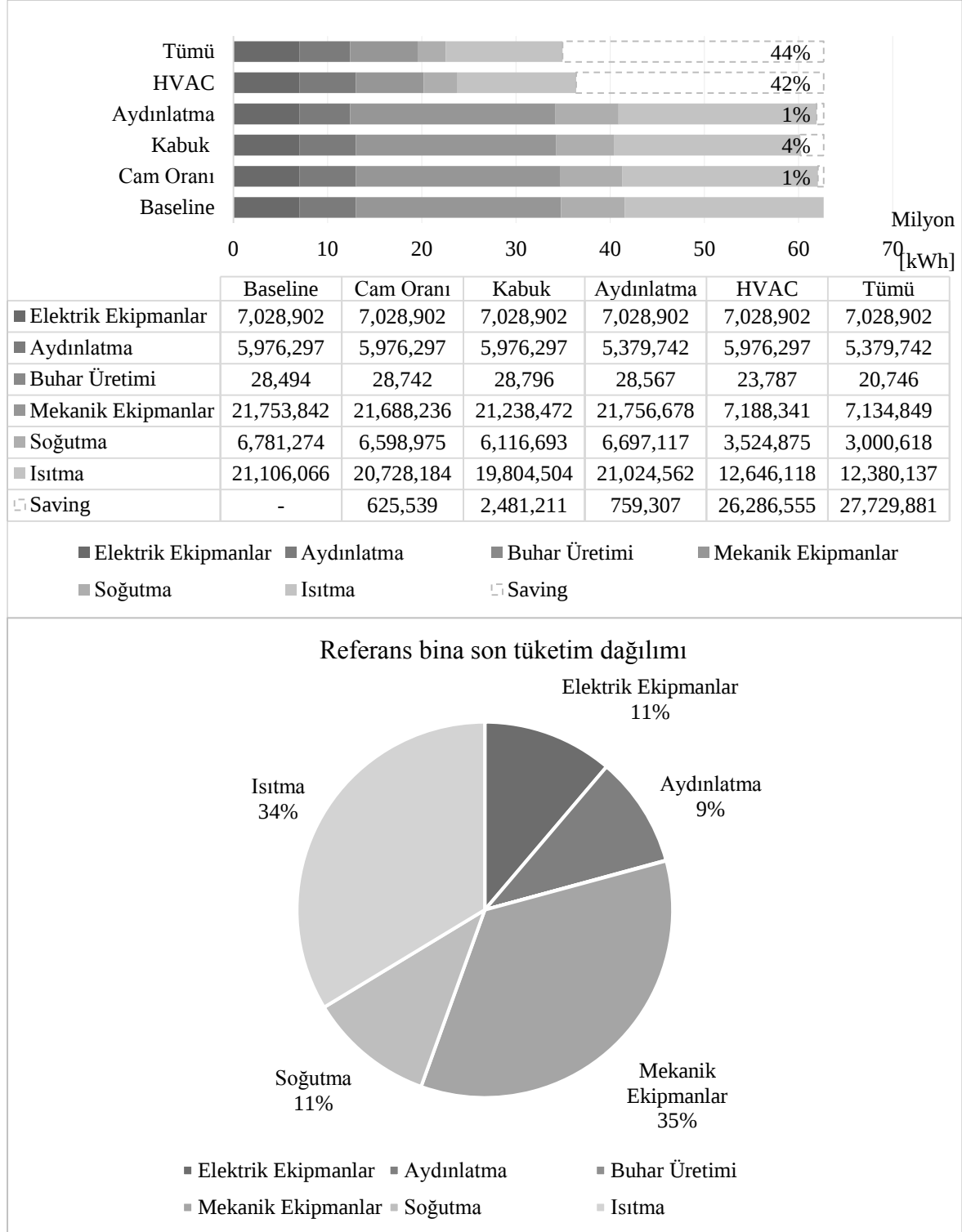
Birinci iklim bölgesi (Antalya)

Çizelge 4.19. Birinci iklim bölgesinde iyileştirmelerin son tüketimlere etki oranı



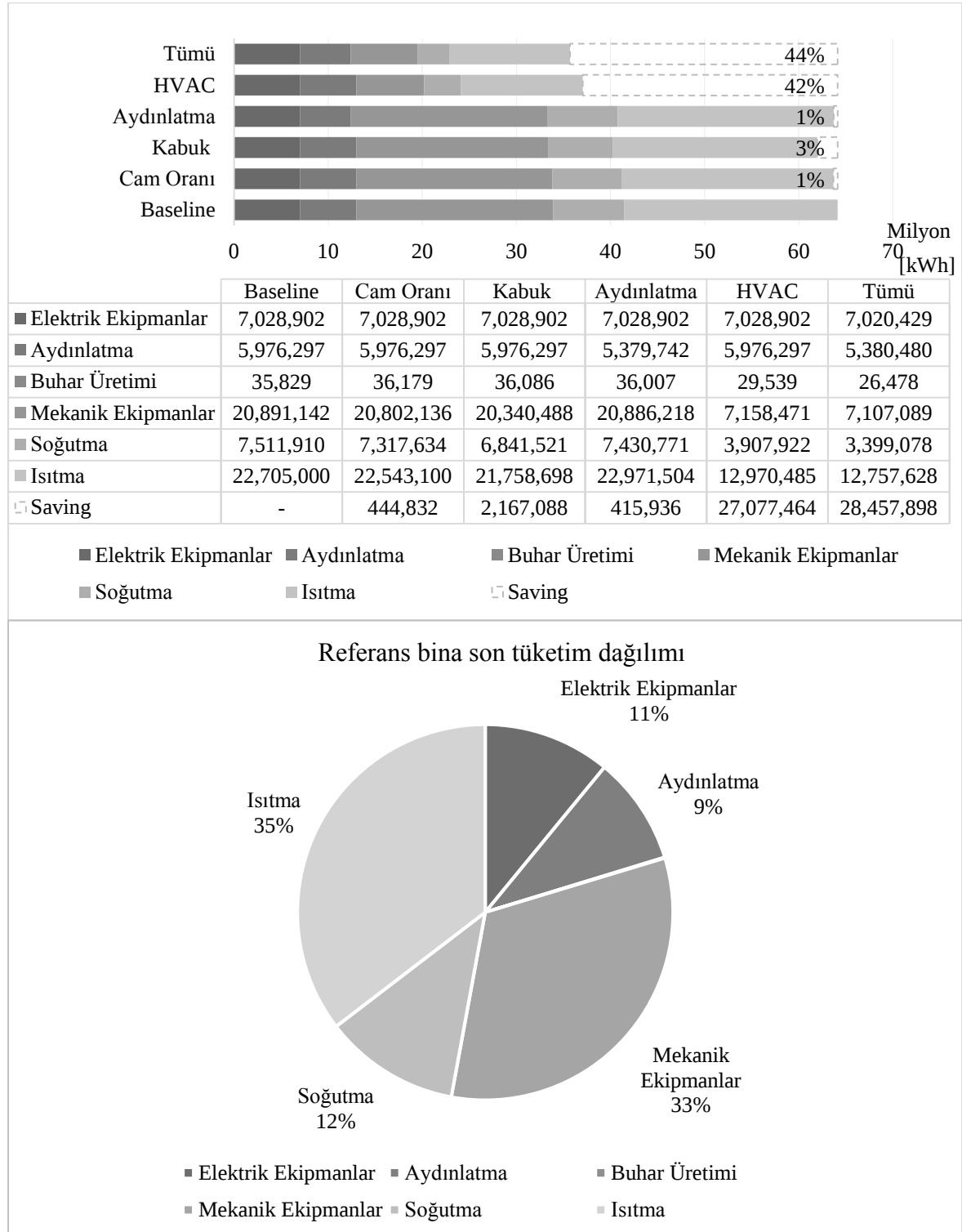
İkinci iklim bölgesi (İstanbul)

Çizelge 4.20. İkinci iklim bölgesinde (İstanbul) iyileştirmelerin son tüketimlere etki oranı



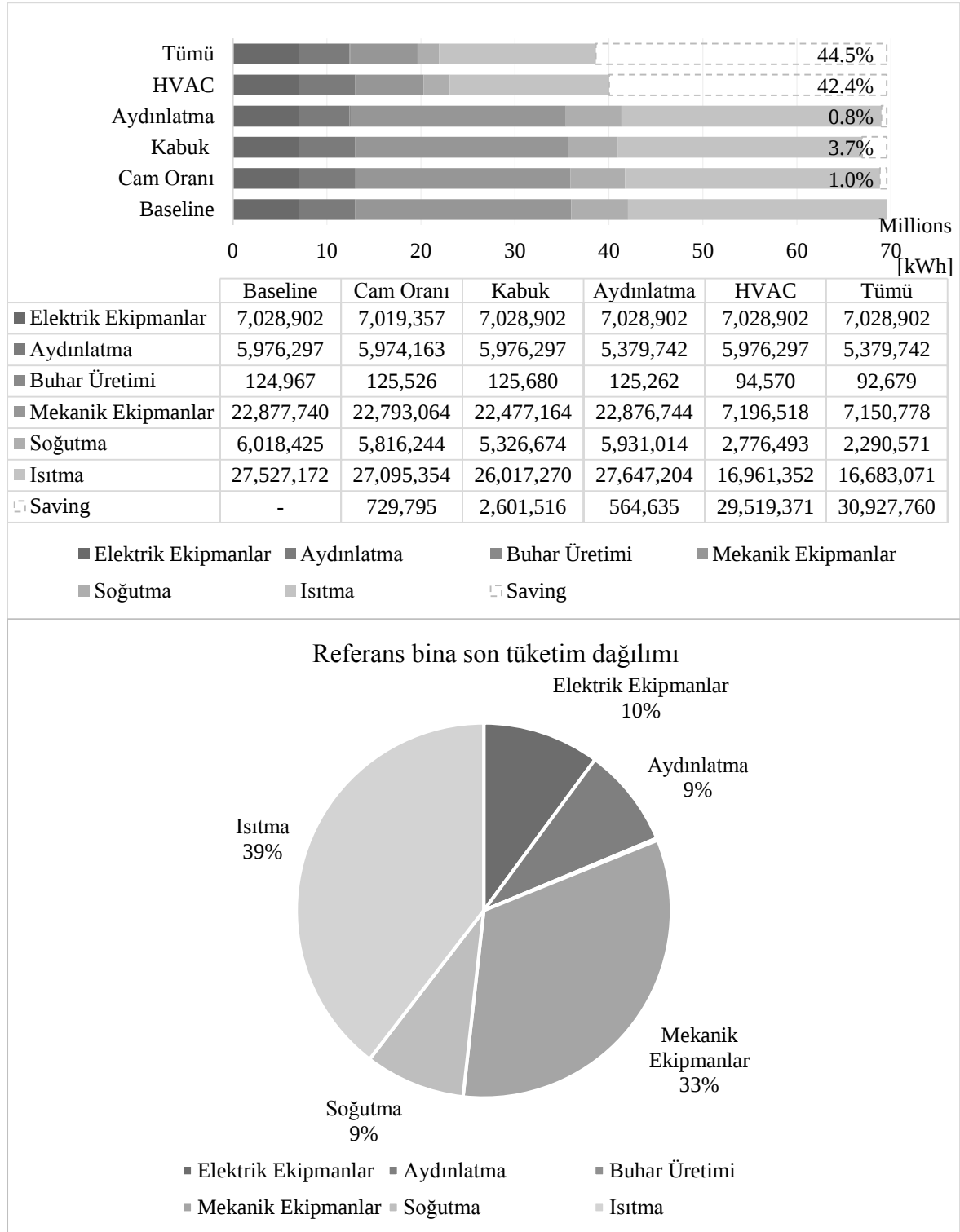
İkinci iklim bölgesi (Samsun)

Çizelge 4.21. İkinci iklim bölgesinde (Samsun) iyileştirmelerin son tüketimlere etki oranı



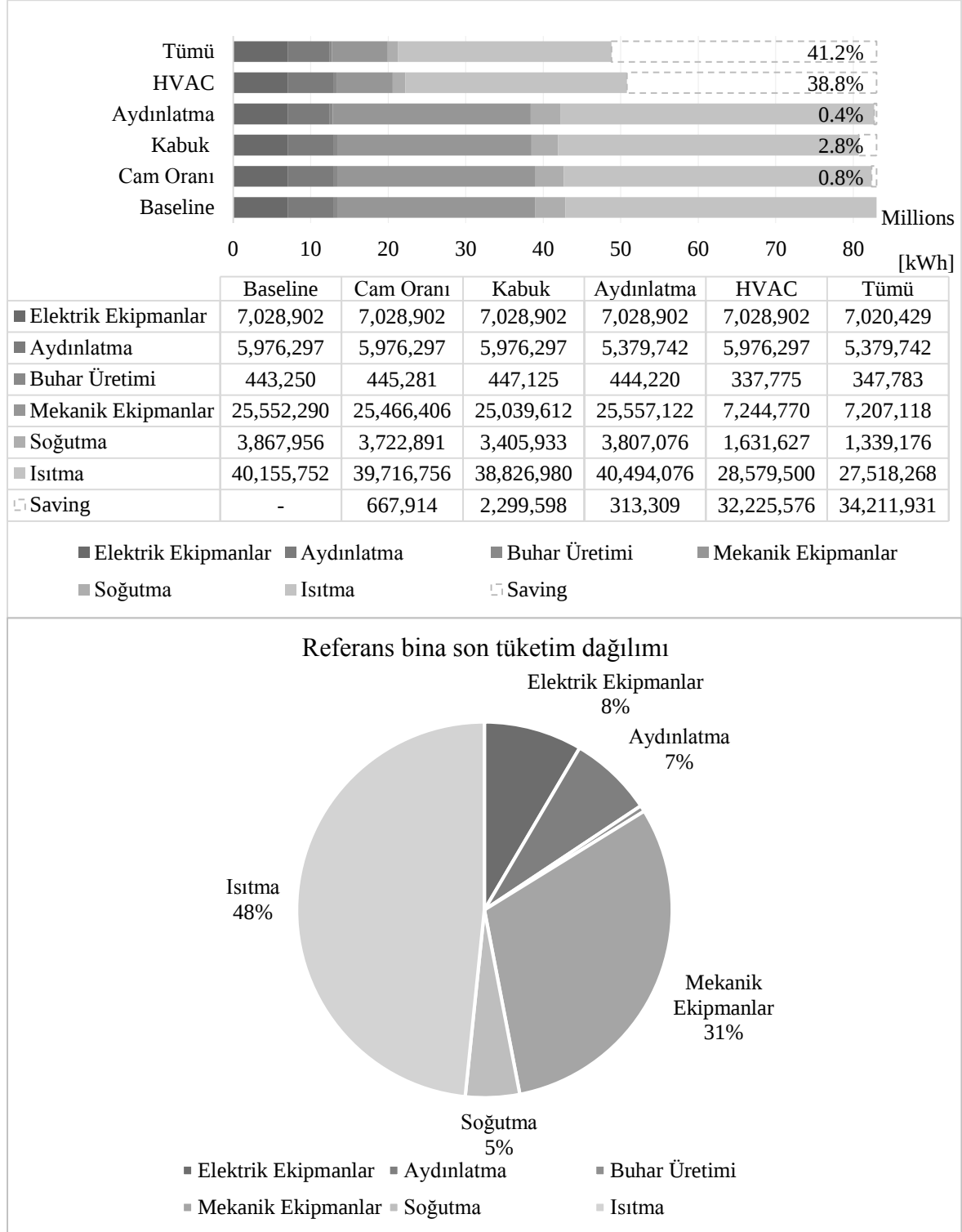
Üçüncü iklim bölgesi (Ankara)

Çizelge 4.22. Üçüncü iklim bölgesinde iyileştirmelerin son tüketimlere etki oranı



Dördüncü iklim bölgesi (Erzurum)

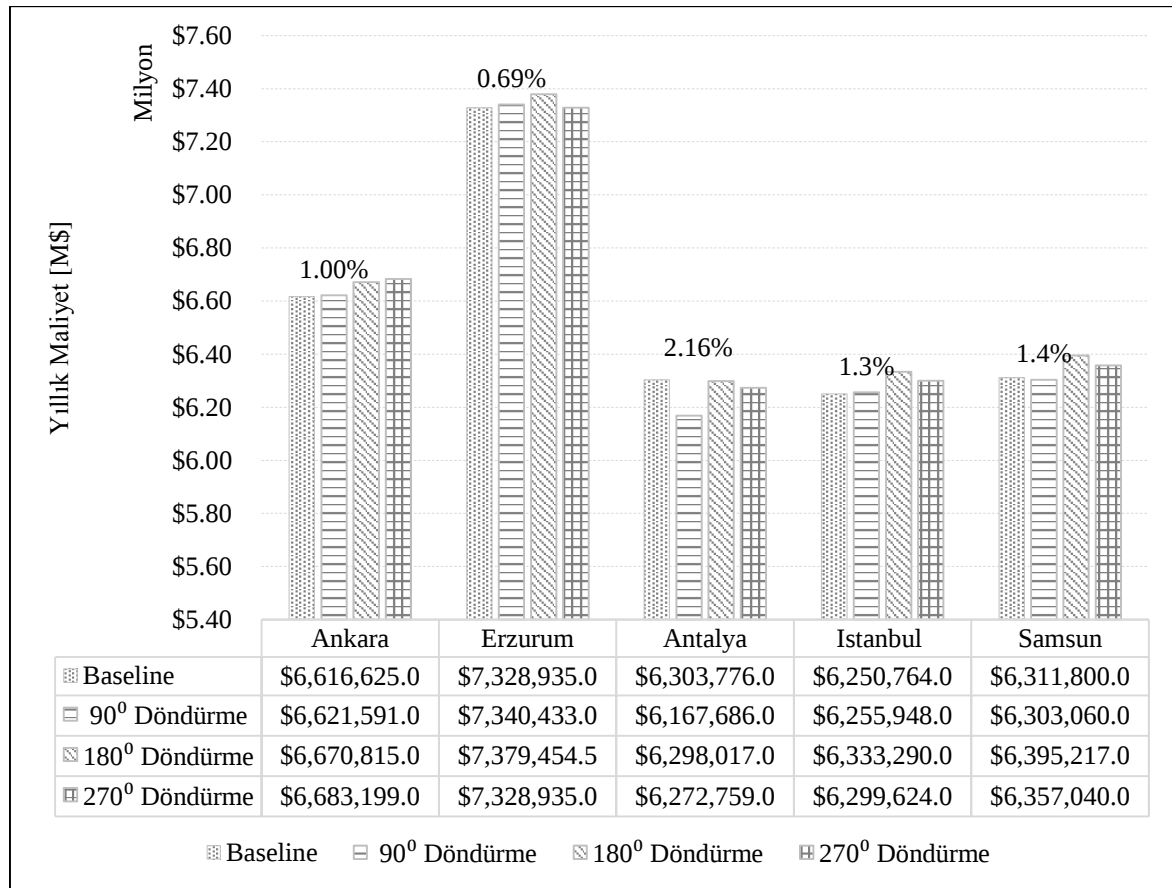
Çizelge 4.23. Üçüncü iklim bölgesinde iyileştirmelerin son tüketimlere etki oranı



4.5.2. Bina yönü

Bir birinden 90 derece farklı bina yönelimi için elde edilen yıllık toplam enerji tüketimleri Çizelge 4.24'te karşılaştırılmıştır. Binanın yönü ilk yatırım maliyeti ve aydınlatma tüketimlerine etkileyebilmektedir. Ancak bu etkiler bu çalışma kapsamına alınmamıştır. Daha kolay karşılaştırılabilmesi adına yıllık enerji maliyetleri tüm yönelimler ve iklim bölgeleri için Çizelge 4.24'te özetlenmiştir. Burada ayrıca her bir şehir için en yüksek ve en düşük enerji tüketim maliyetlerinin arasındaki fark yüzde olarak belirtilmiştir.

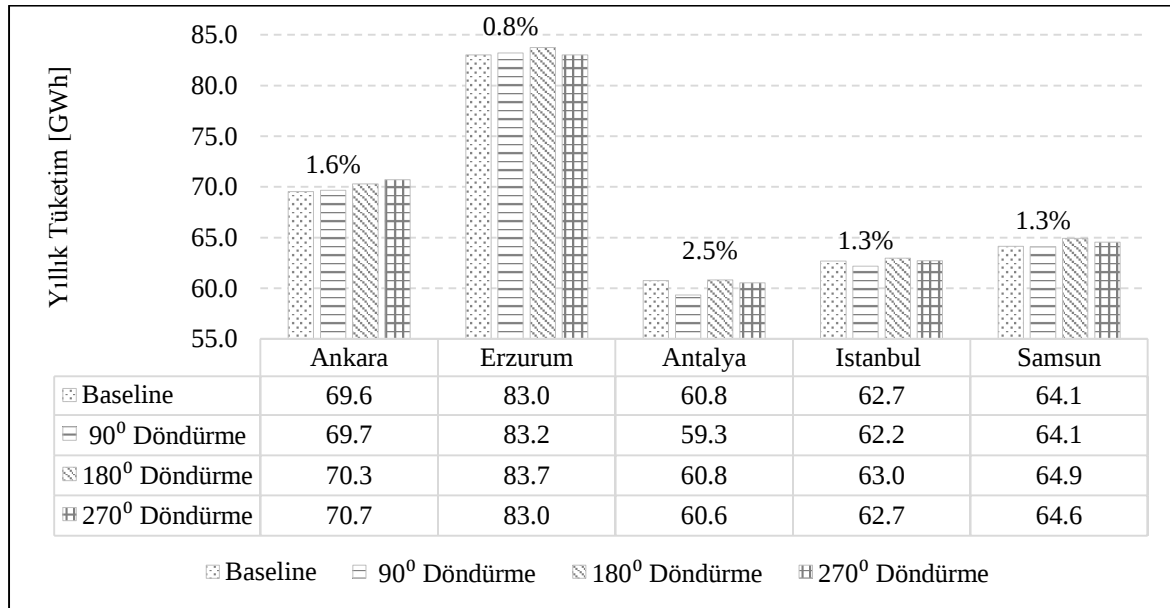
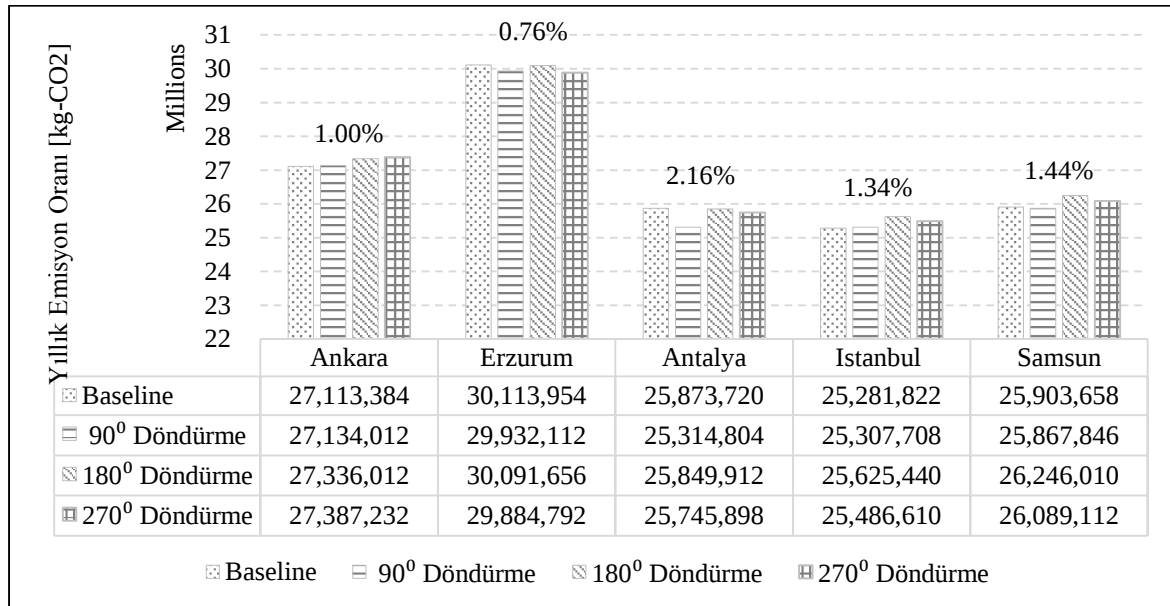
Çizelge 4.24. Bina oryantasyonlarının yıllık enerji maliyetleri



Buna ilaveten Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde farklı bina oryantasyonları için yıllık toplam enerji tüketimi Çizelge 4.25'te karşılaştırılmıştır.

Çevresel etkiler açısından bakıldığında bina yönünün binanın yıllık emisyonuna olan etkisini değerlendirebilmek adına farklı oryantasyonlar için yıllık karbon dioksit salınımı Çizelge 4.26'da Türkiye'nin iklim bölgelerini temsil eden şehirlerde karşılaştırılmıştır.

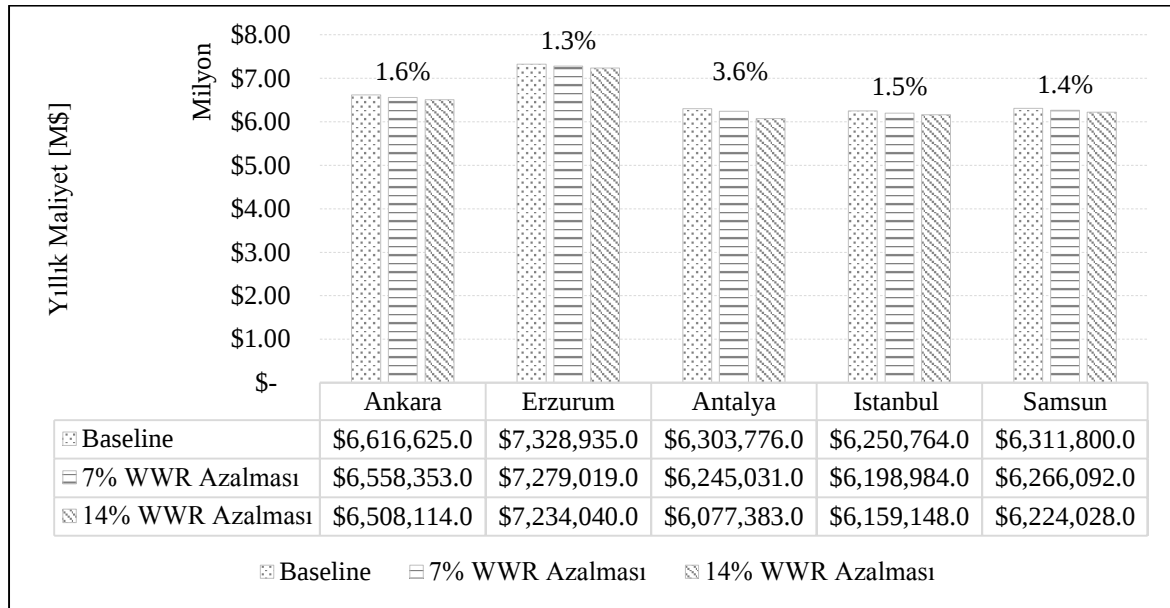
Çizelge 4.25. Bina oryantasyonlarının yıllık enerji tüketimleri

Çizelge 4.26. Bina oryantasyonlarının yıllık CO₂ emisyonu

4.5.3. Pencere duvar oranı

Bina cephesinde yer alan pencere alanlarının toplam duvar alanına oranı bina tüketimlerini farklı yollardan etkilemektedir. Pencere duvar oranının enerji tüketim üzerinde etkisini inceleyebilmek adına mevcut durum dışında iki farklı oran için yıllık enerji maliyetleri Çizelge 4.27’de paylaşılmıştır.

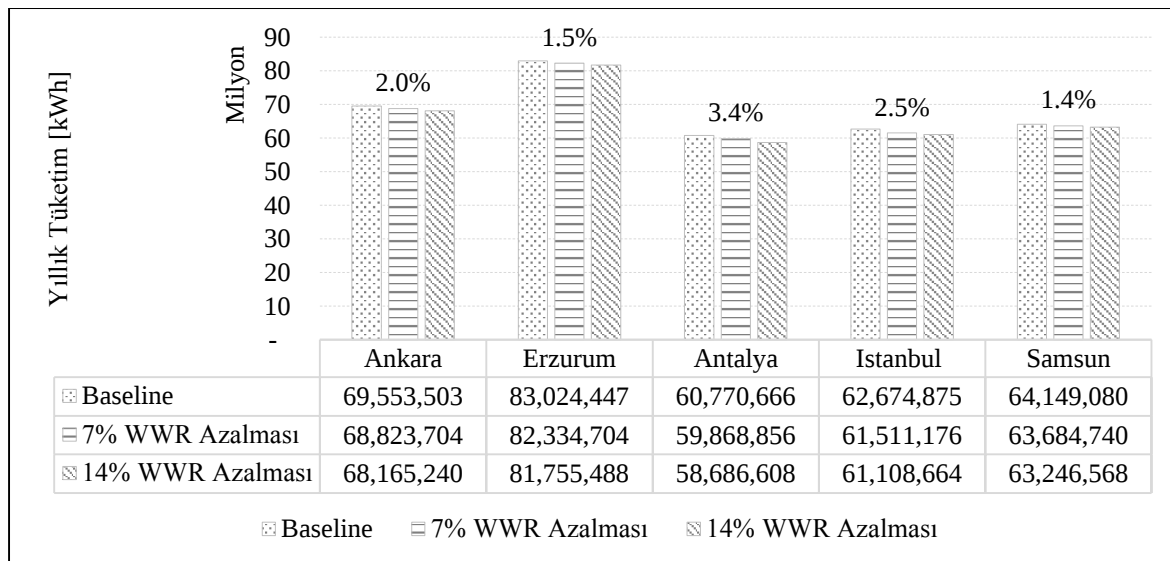
Çizelge 4.27. Cephe Pencere Oranının Azaltılmasının Yıllık Enerji Maliyetlerine Etkisi



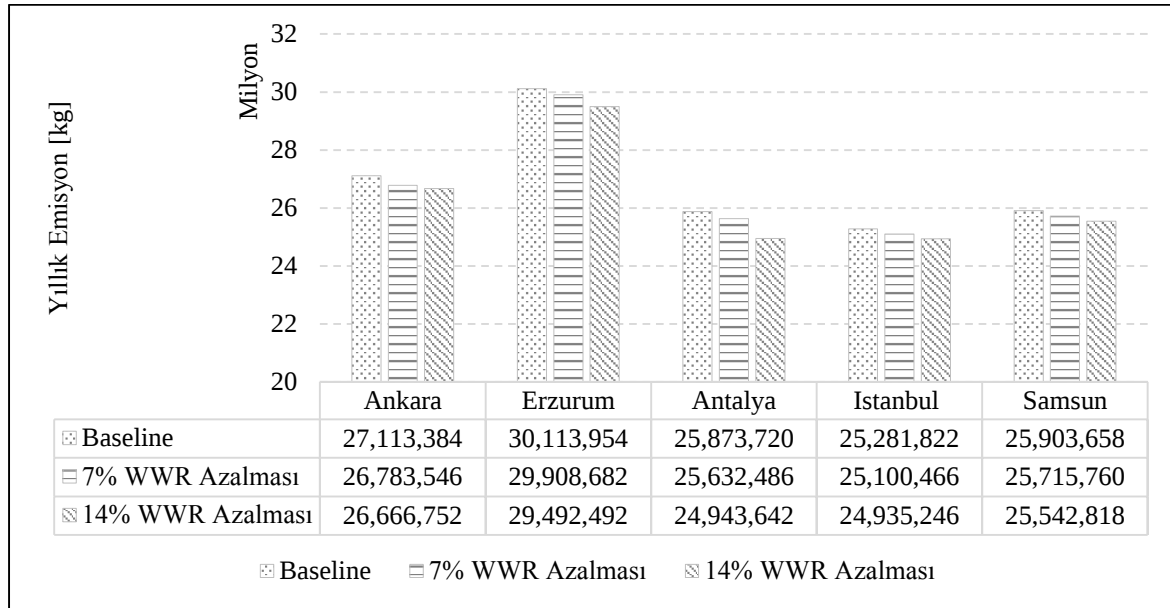
Buna ilaveten Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde farklı cephe cam oranları için yıllık toplam enerji tüketimi Çizelge 4.28'de karşılaştırılmıştır.

Çevresel etkiler açısından bakıldığında bina cephesinin cam oranı binanın yıllık emisyonlarına olan etkisini değerlendirebilmek adına farklı cephe cam oranları için yıllık karbon dioksit salınımı Çizelge 4.29 'da Türkiye'nin iklim bölgelerini temsil eden şehirlerde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.28. Cephe pencere oranının azaltılmasının yıllık enerji tüketimlerine etkisi



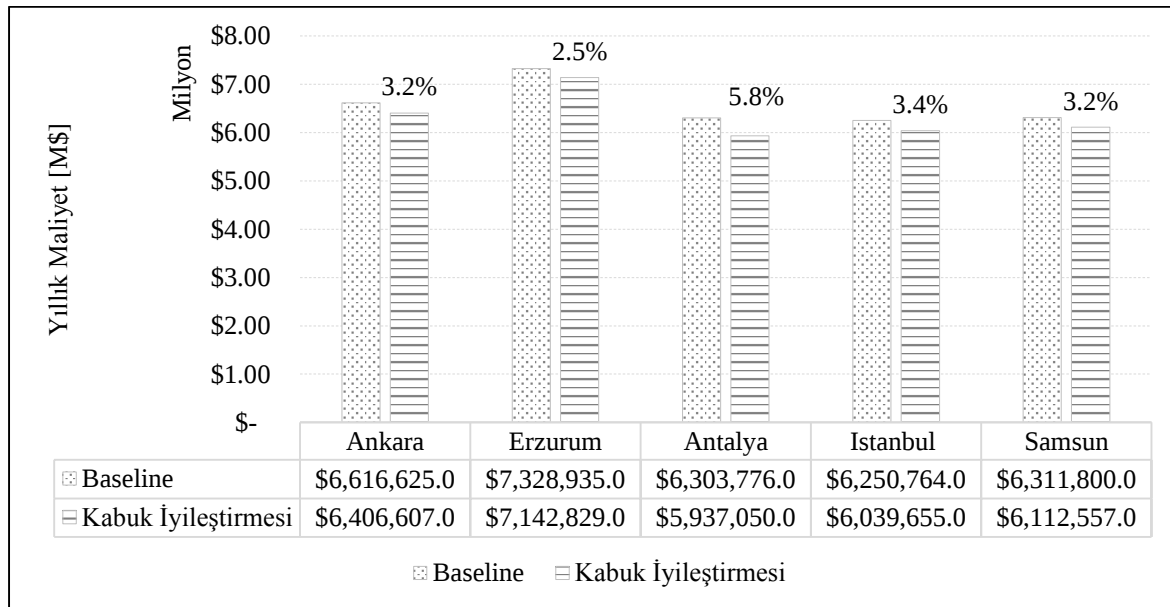
Çizelge 4.29. Cephe pencere oranının azaltılmasının yıllık emisyonlar üzerinde etkisi



4.5.4. Bina kabuğu

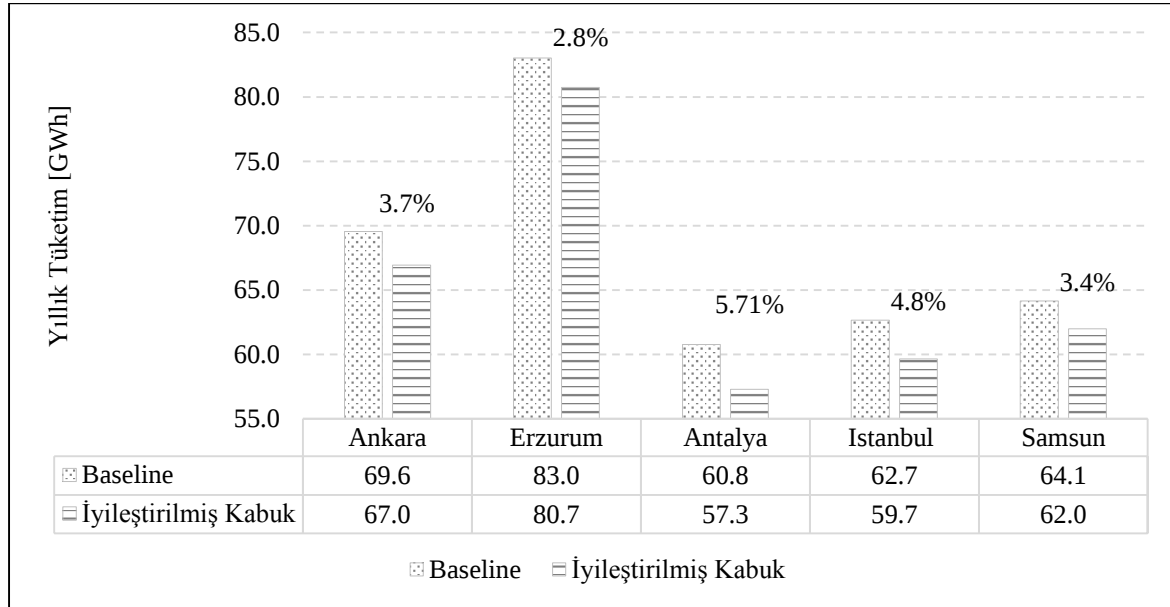
Bina kabuğunun çeşitli bileşenlerinde yapılacak olası iyileştirmelerin yıllık enerji tüketimi üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Kabuk iyileştirmeleri sonrasında binanın enerji modelinden hesaplanan yıllık enerji maliyetleri Çizelge 4.30'da listelenmiştir.

Çizelge 4.30. Bina kabuğu iyileştirmelerinin yıllık enerji maliyetine etkisi



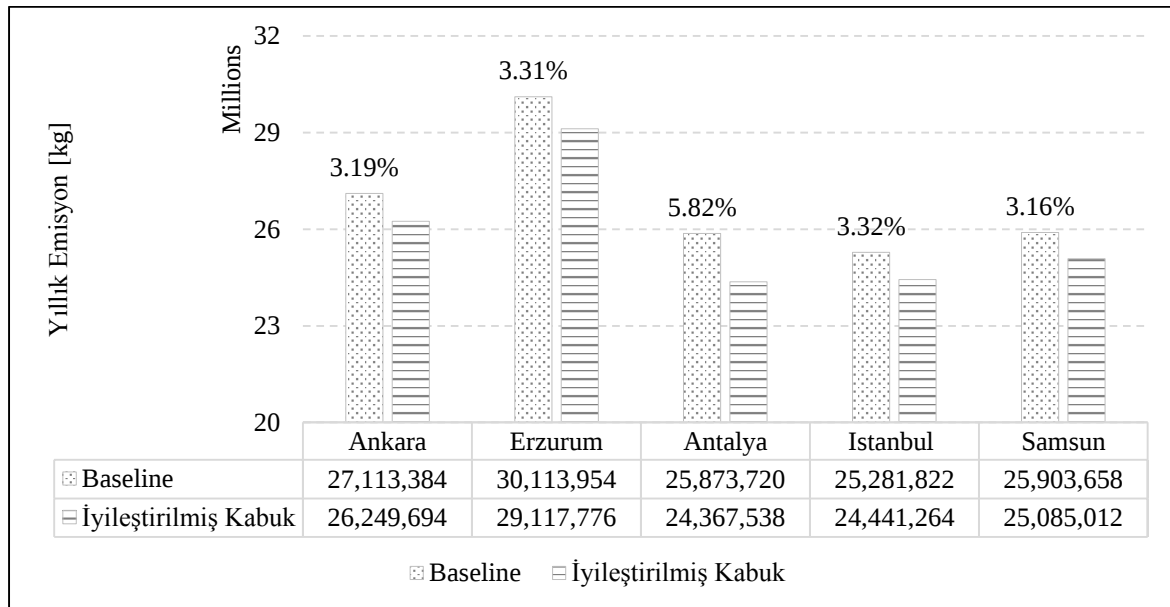
Bu enerji maliyetlerini oluşturan toplam enerji tüketimleri Çizelge 4.31’de paylaşılmış ve karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.31. Bina kabuğu iyileştirmelerinin yıllık enerji tüketimlerine etkisi



Ayrıca kabul iyileştirmeleri sonrasında oluşan enerji tüketimlerinin yol açtığı emisyon oranları için enerji modelinden hesaplanan sonuçlar Çizelge 4.32’de gösterilmiştir.

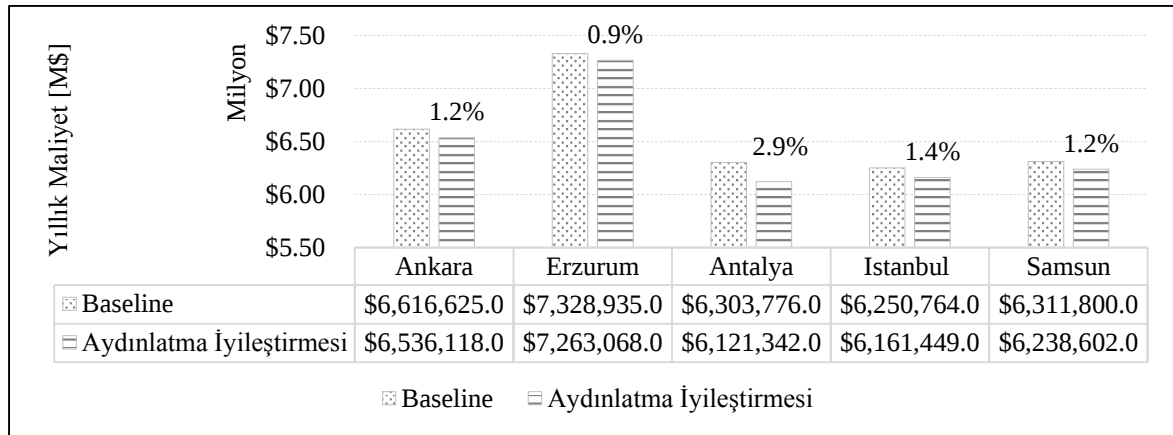
Çizelge 4.32. Bina kabuğu iyileştirmelerinin yıllık emisyon oranlarına etkisi



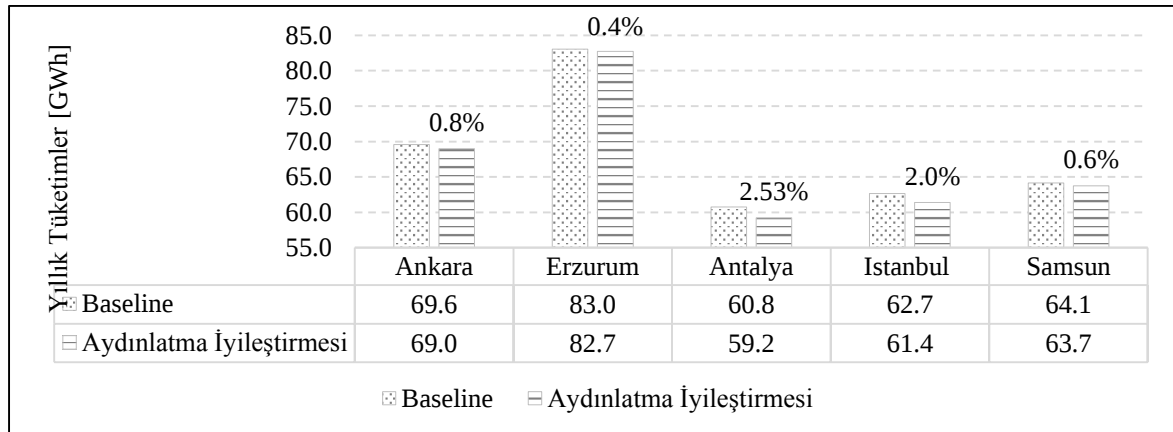
4.5.5. Aydınlatma sisteminin iyileştirilmesi

Aydınlatma sisteminde uygulanabilecek iyileştirmeler doğrudan elektrik tüketimlerini etkilemenin yanı sıra, ısı kazançlarını artırarak, soğutma yükleri ve tüketimlerini de aynı zamana etkilemektedir. Verimli armatürler kullanılarak mahallerdeki aydınlatma güç yoğunluğunun önemli oranda azaltılabilmektedir. Ayrıca varlık sensörleri veya zaman sensörleri kullanımı eşdeğer tam yük çalışma saatini azaltarak yıllık tüketimleri düşürebilmektedir. Bu ve benzeri iyileştirmeler sonucu aydınlatma güç yoğunluklarında elde edilebilecek %10'luk bir düşüşün yıllık enerji tüketimleri üzerinde etkisini inceleyebilmek için saatlik simülasyon yardımıyla hesaplanan yıllık enerji maliyetleri Çizelge 4.33'te listelenmiştir. Bu enerji maliyetlerine yol açan yıllık toplam enerji tüketimleri Çizelge 4.34'te paylaşılmıştır.

Çizelge 4.33. Aydınlatma sistemi iyileştirmeleri sonrasında yıllık enerji maliyetleri

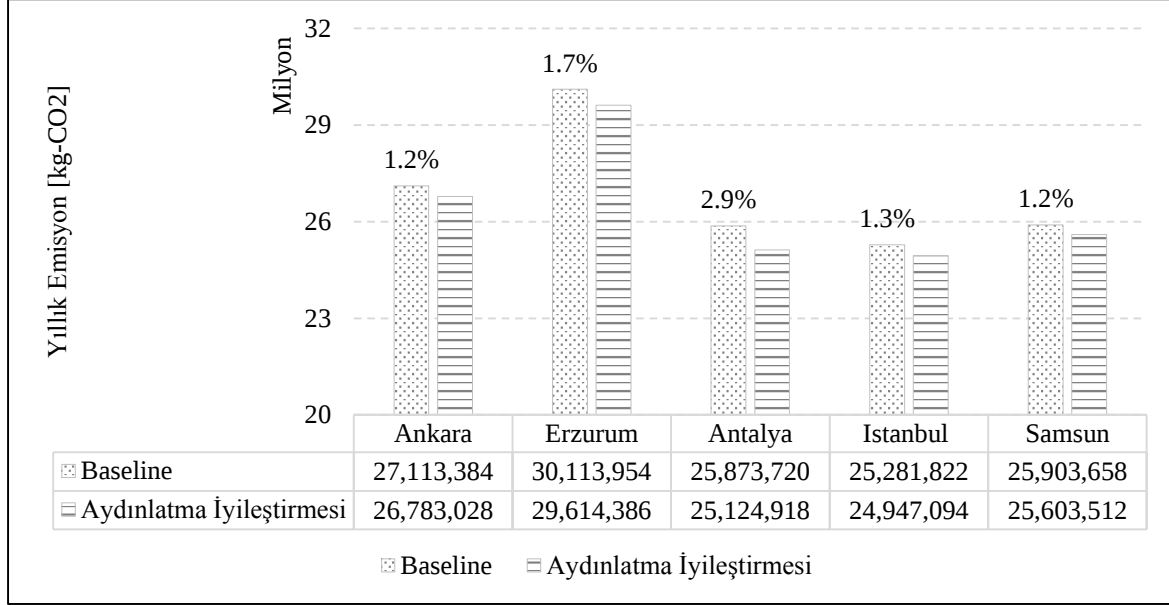


Çizelge 4.34 Aydınlatma sistemi iyileştirmeleri sonrasında yıllık enerji tüketimleri



Bu enerji tüketimler sonucunda oluşan emisyon oranlarının yıllık değerleri ise Çizelge 4.35’te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.35. Aydınlatma sistemi iyileştirmeleri sonrasında yıllık emisyon oranları

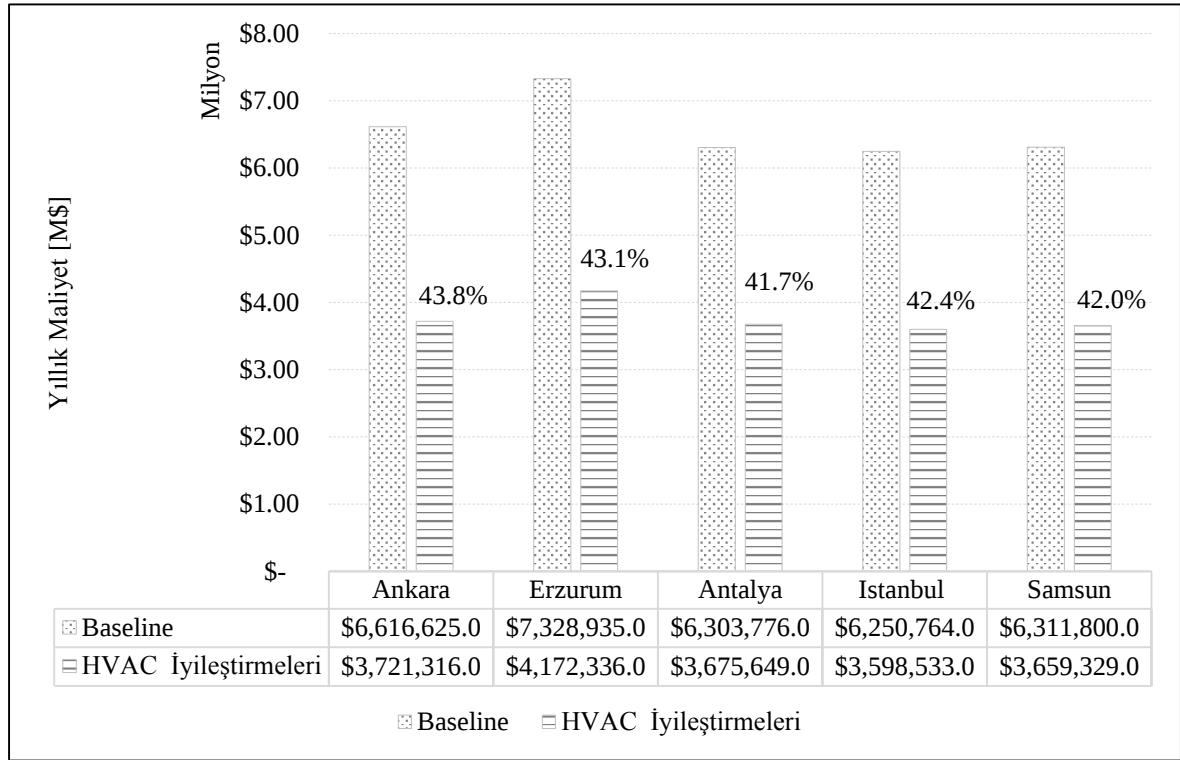


4.5.6. İklimlendirme sistemleri iyileştirmeleri

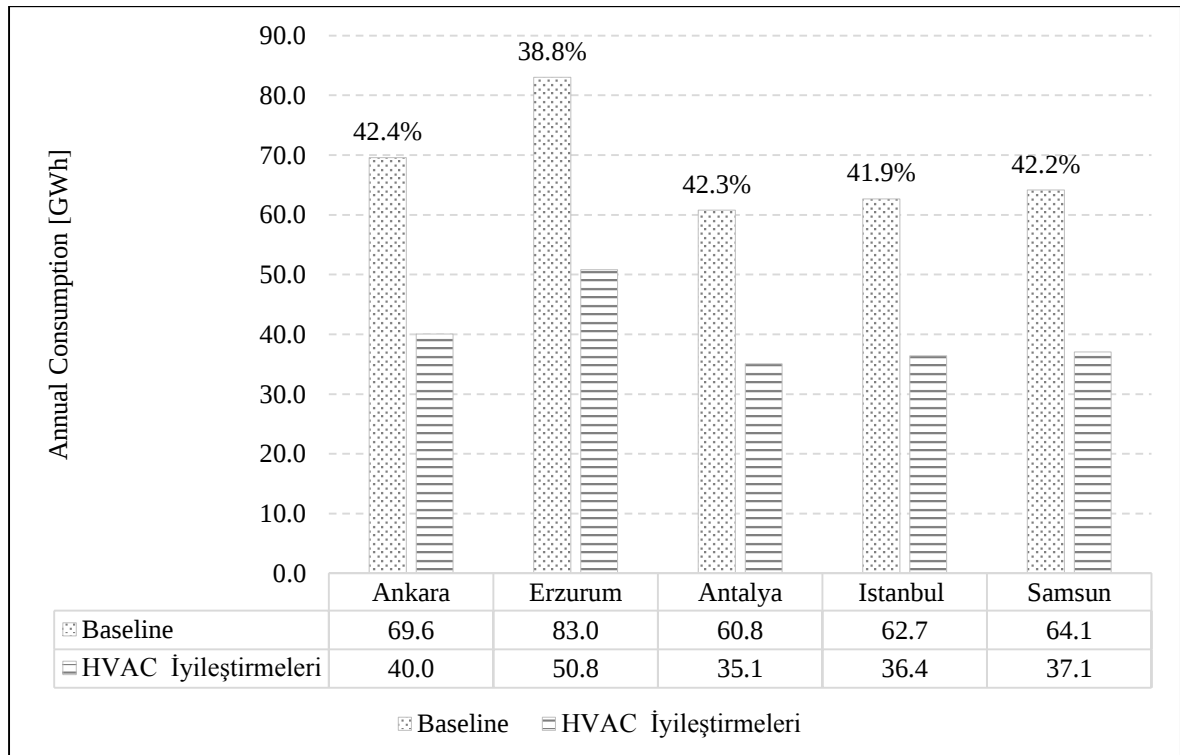
Özel iç ortam gereksinimlerden dolayı hastane binalarında iklimlendirme sistemleri enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olmaktadır. Dolayısıyla bu sistemlerden uygulanacak olan olası iyileştirmeler yıllık enerji tüketim ve maliyetlerini ve aynı zamanda emisyon oranlarını ciddi oranda etkilemesi beklenebilir. İklimlendirme sistemim iyileştirmelerinin sonucu olarak oluşan enerji maliyetleri Çizelge 4.36’da listelenmiştir.

Bu enerji maliyetlere yol açan enerji tüketim değerleri Çizelge 4.37’de paylaşılmış ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu tüketimler sonucu ortaya çıkan emisyon oranları için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.38’de incelenebilmektedir.

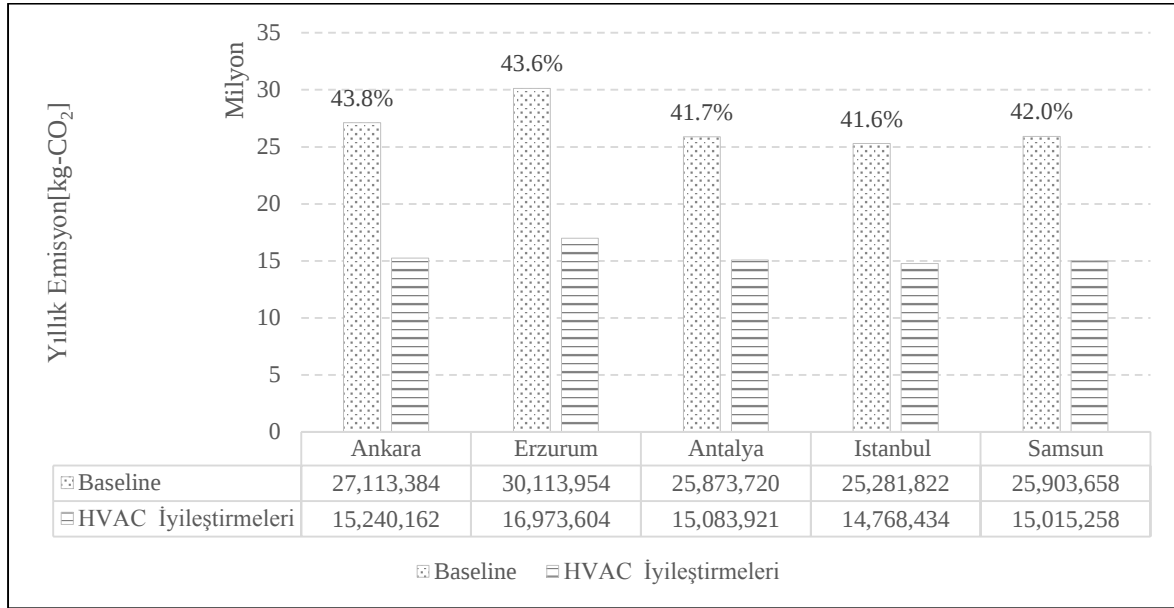
Çizelge 4.36. İklimlendirme sistemlerinin iyileştirilmesi durumunda yıllık enerji maliyet sonuçları



Çizelge 4.37. İklimlendirme sistemlerinin iyileştirilmesi durumunda yıllık enerji tüketim sonuçları



Çizelge 4.38. İklimlendirme sistemlerinin iyileştirilmesi durumunda yıllık emisyon değerleri



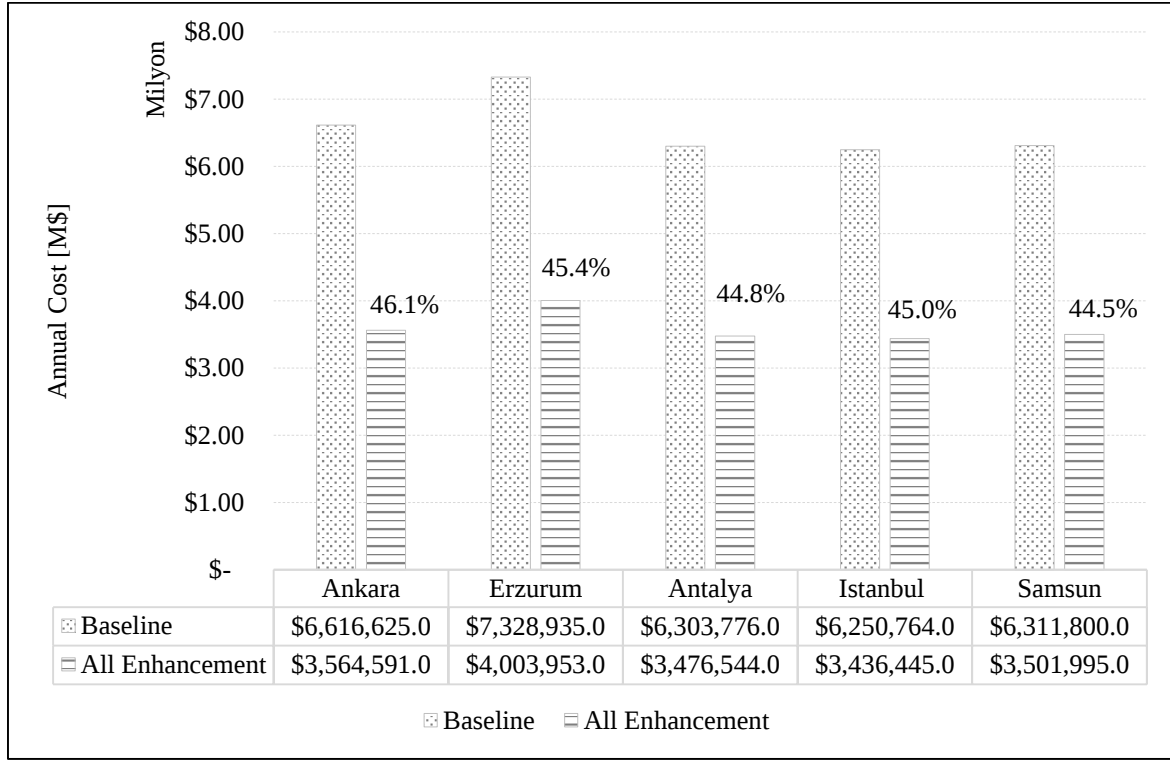
4.5.7. İyileştirmelerin eşzamanlı uygulanması

Standart ve yönetmeliklere uygun olarak geliştirilmiş olan referans bina modeline, uygulanabilecek iyileştirmelerin her birisinin enerji tüketimi, enerji maliyetleri ve karbondioksit emisyonu üzerinde etkisi bu bölümün önceki başlıklarında paylaşılmıştır. Burada yeni hastane binalarının tasarımının yanı sıra mevcut binalarda da uygulanabilecek olan iyileştirmeler bir arada tek bir iyileştirme paketi olarak baseline bina modeline yansıtılmıştır. Bu iyileştirme paketi dış cephe pencere oranının düşürülmesi, kabuk performansının artırılması, aydınlatma sisteminin verimlilik artışı ve İklimlendirme sistemleri ile ilgili iyileştirmeleri içermektedir. Bina yönünün değişmesi mevcut binalarda söz konusu olmadığı için bu paketin dışında bırakılmıştır. İyileştirmelerin toplu şekilde uygulandığı durum için yıllık enerji maliyetleri ve iklim bölgelerinde karşılaştırması sırasıyla Çizelge 4.39’da Paylaşılmıştır.

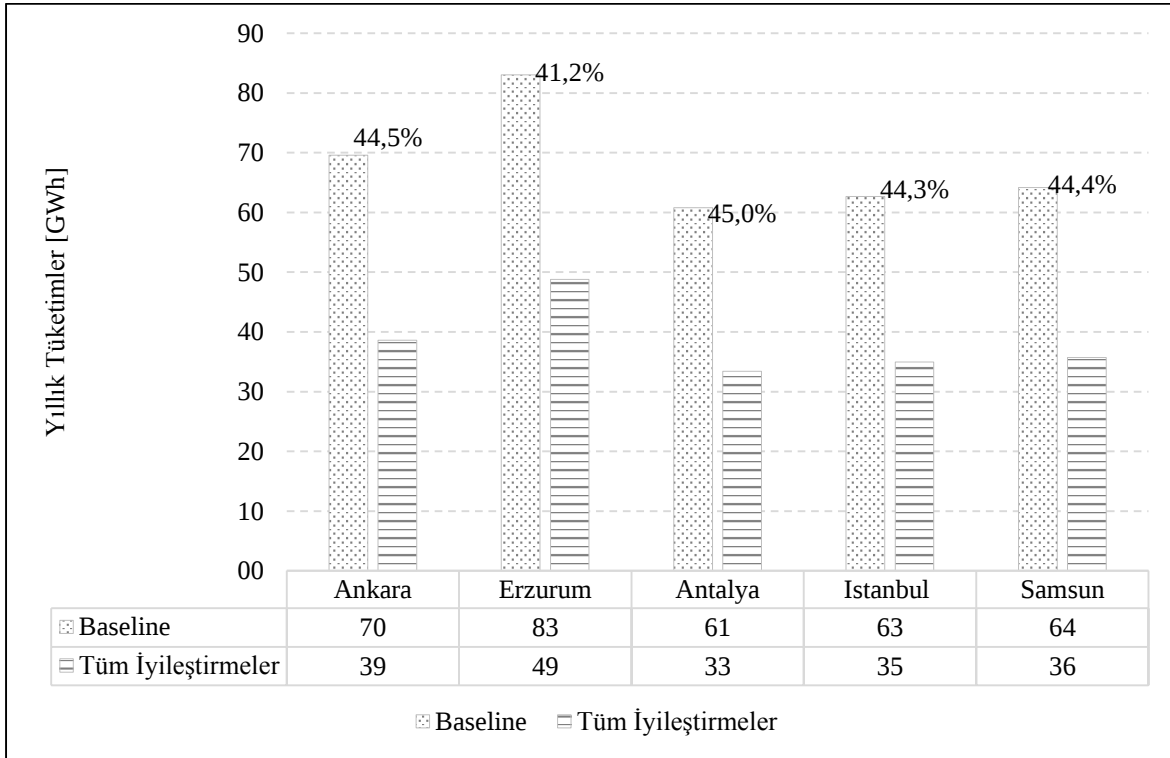
Bu maliyetleri oluşturan toplam yıllık enerji tüketimleri Çizelge 4.40’ta referans bina ile farklı iklim bölgelerinde yer alan şehirler için karşılaştırılmıştır.

Ayrıca bu tüketimlerin neticesinde ortaya çıkan emisyon oranları enerji modelinden hesaplanarak Çizelge 4.41’de listelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

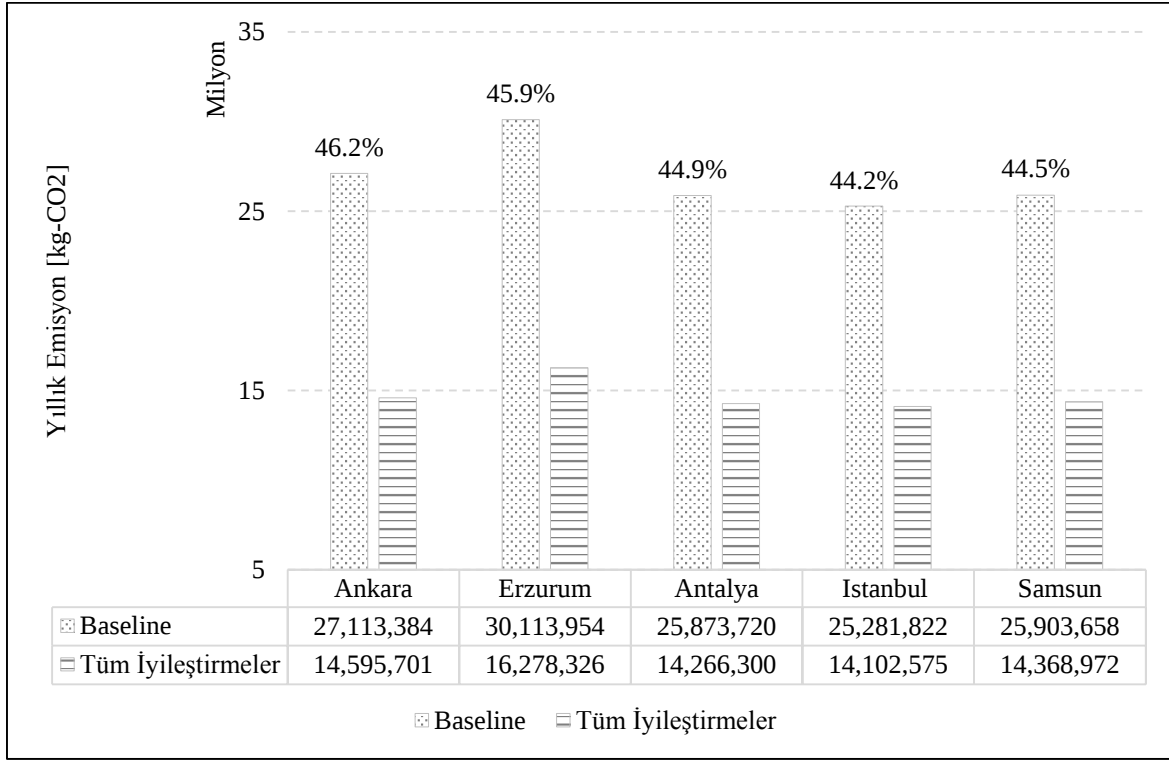
Çizelge 4.39. İyileştirmelerin toplu uygulandığı durumda enerji maliyetleri karşılaştırması



Çizelge 4.40. İyileştirmelerin toplu uygulandığı durumda enerji tüketimleri karşılaştırması



Çizelge 4.41. İyileştirmelerin toplu uygulandığı durumda emisyon oranları karşılaştırması



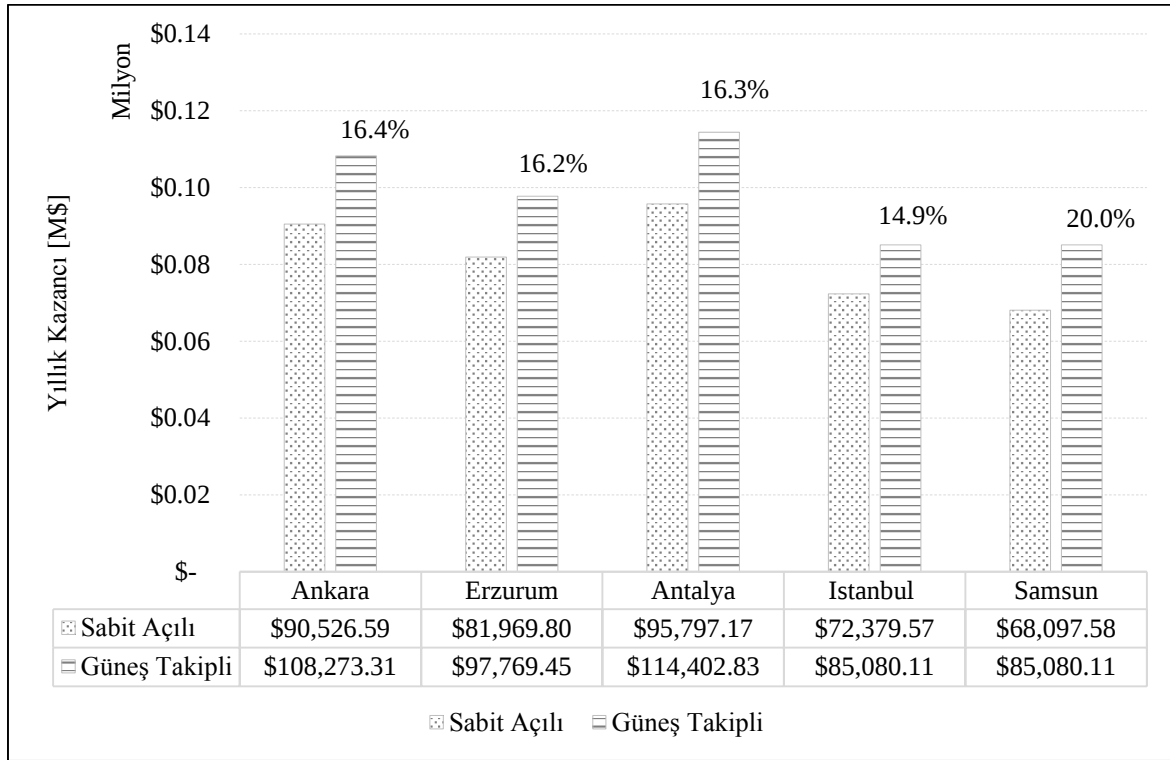
4.5.8. Fotovoltaik sistem uygulaması

Binanın enerji tüketimi ve enerji maliyetlerinin azaltılması adına paylaşılmış olan enerji tasarruf önlemlerine ilave diğer bir seçenek yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmaktır. Güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yerinde enerji üretimi binaların fosil tabanlı yakıt tüketimini azaltılabilmesi için önemli bir adım olmaktadır. Özellikle günümüzde fotovoltaik ve solar kollektör gibi sistemlerin ilk yatırım maliyetleri düşük ve geri dönüş süreleri kısa olduğundan dolayı projelerin bütçesi çerçevesinde mümkün olan en yüksek oranda bu kaynaklardan faydalanılmalıdır. Ayrıca binanın çevresel etkilerini azaltmak adına bu uygulamalar önem arz etmektedir.

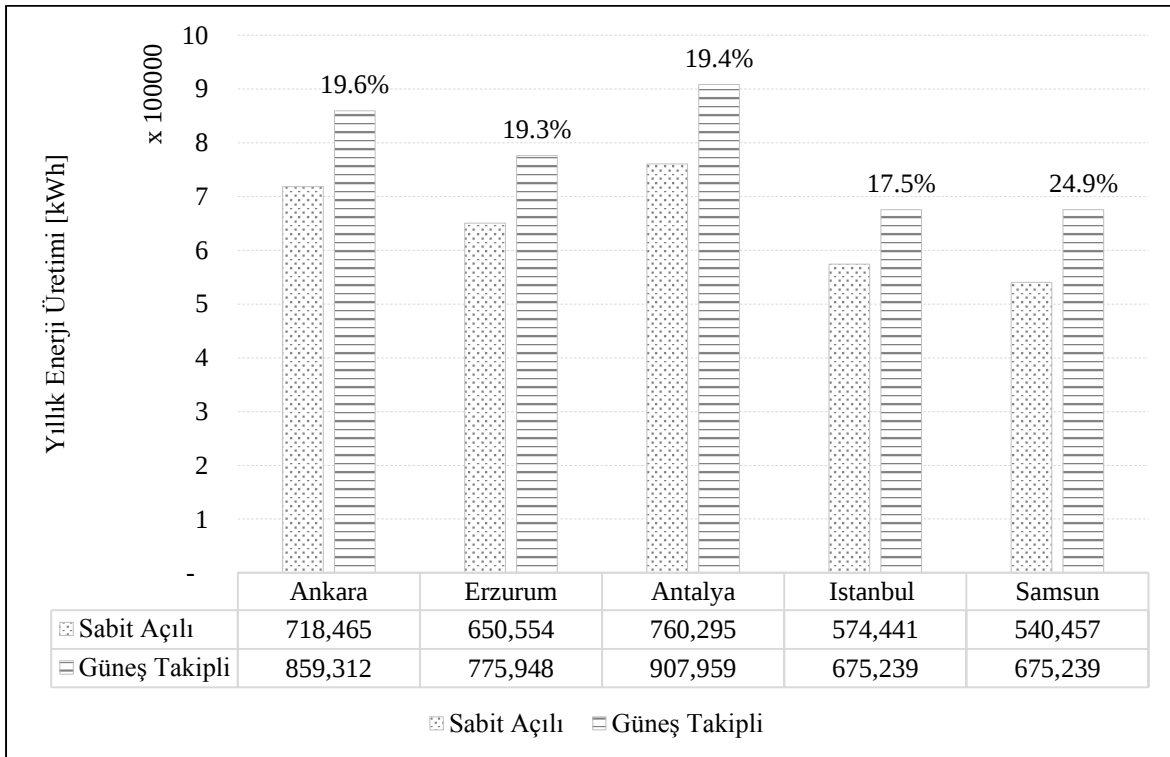
Bu bölümde çalışma konusu olan hastane binasında PV kurulumu için müsait olan alanlarda uygulama yapıldığı durumda üretilen enerji miktarı incelenmiştir. 2250 m² yüzey alanına sahip bir PV sisteminin yıllık maliyet getirisi Çizelge 4.42’de özetlenmiştir.

PV sistemi tarafından üretilen enerji miktarları Çizelge 4.43’de sabit ve güneş takipli sistemleri için paylaşılmıştır.

Çizelge 4.42. PV sisteminin yıllık maliyet getirisi

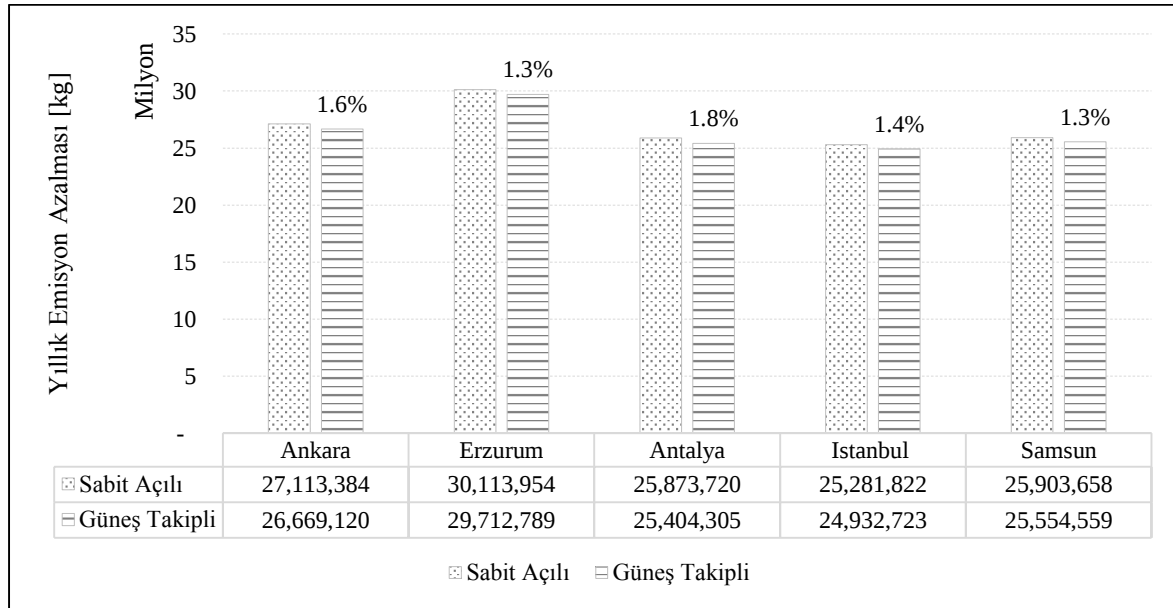


Çizelge 4.43. PV sistemi yıllık enerji üretimi



Bu oranda bir enerji üretimi sonucu kaçınılmış olan emisyon oranları Çizelge 4.44'te sunulmuş ve kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.44. PV sistemlerinin önlediği co2 emisyon oranı

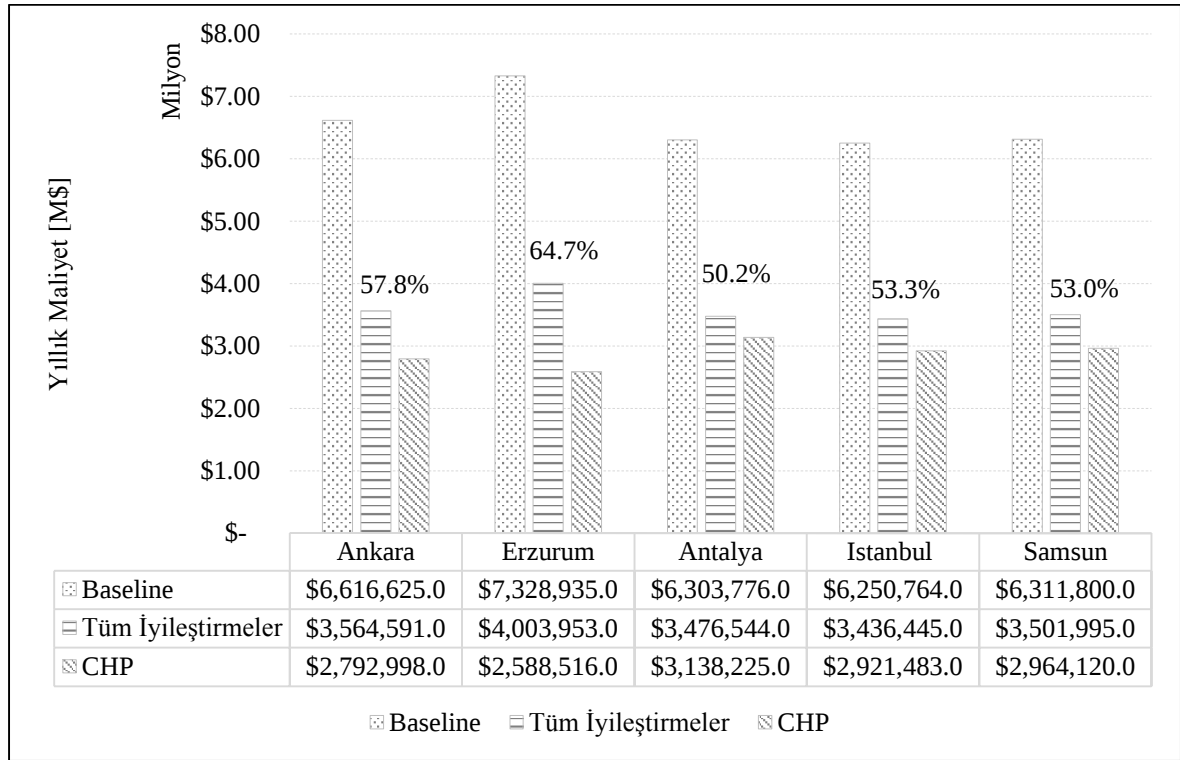


4.5.9. Birleşik ısı-güç (CHP) sistemi uygulanması

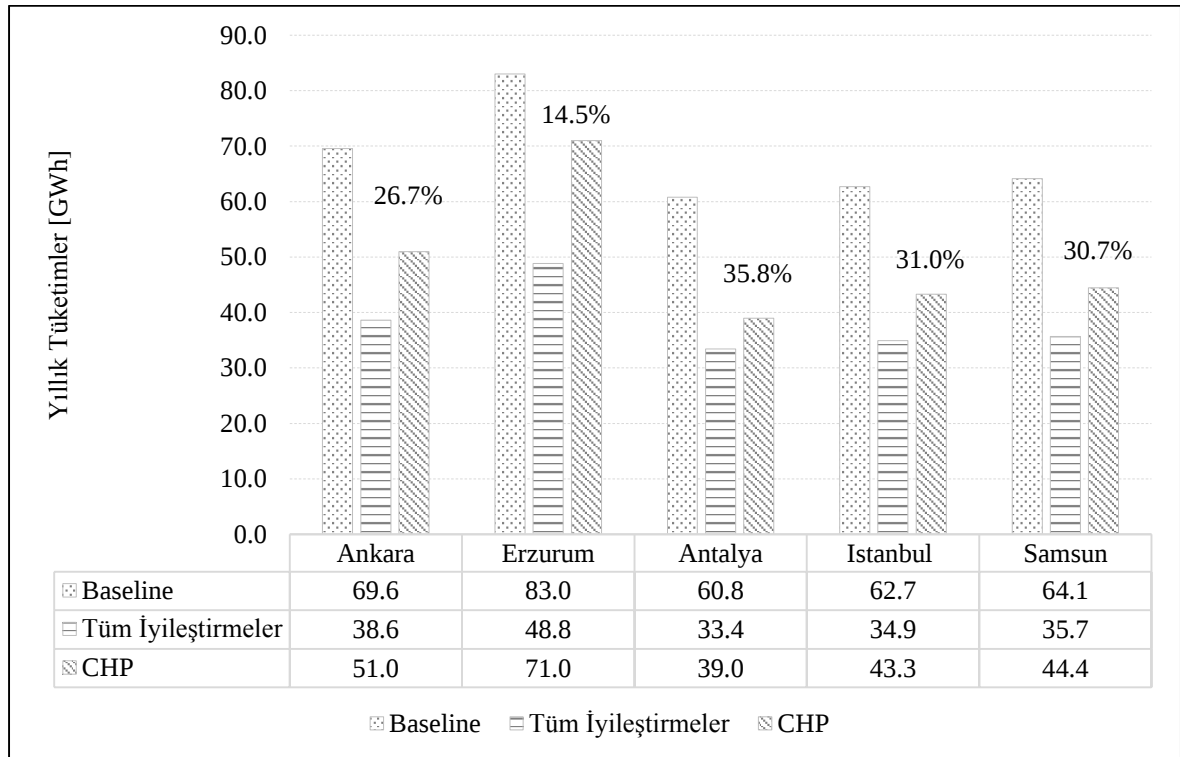
Hastanelerin kesintisiz kullanım saatleri göz önünde bulundurulunca birleşik ısı-güç sistemlerinin uygulanması için çok uygun bina tipleri olduklarını anlayabiliriz. Hastanelerde bu sistemlerin yardımıyla enerji maliyetleri çevresel etkilere paralel olarak azaltılabilmektedir. Ayrıca elektrik enerjisi binaya daha güvenilir ve kesintisiz şekilde sağlanmış olacaktır. Bu artıların yanı sıra buradan gerçekleşecek olan tasarruf sayesinde elde edilecek gelir, hastalara daha iyi bir hizmet sunulmasına yönelik kullanılabilir.

BIG sistemlerinin çalışma konusu olan hastane binasında uygulanması durumunda bunun yıllık enerji tüketim ve maliyetlerine ve ayrıca emisyon oranlarına ne şekilde yansıtacağını anlayabilmek adına bu durum incelenmiş ve sonuçlar aşağıdaki çizelge ve şekillerde paylaşılmıştır. Burada daha önce önerilen tüm iyileştirmeler sonrasında, binanın ısıtma ihtiyacının tamamını karşılayabilecek bir BIG sistemi kurulması durumunda yıllık enerji maliyetleri, tüketimleri ve ayrıca emisyon oranları için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

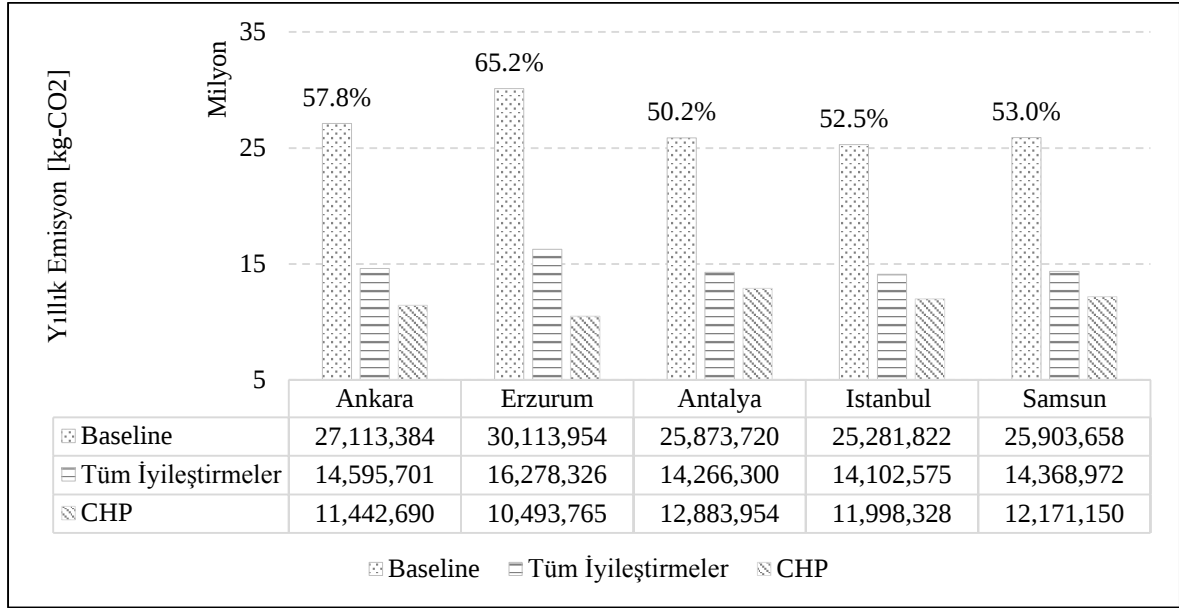
Çizelge 4.45. CHP sistemi uygulanması durumunda yıllık enerji maliyetleri



Çizelge 4.46. CHP sistemi uygulanması durumunda yıllık toplam enerji tüketimleri



Çizelge 4.47. CHP sistemi uygulanması durumunda yıllık emisyon oranları



4.5.10. İncelenen tüm durumların sonuç özeti

Referans bina ve iyileştirme durumlarında yıllık enerji maliyetleri, enerji tüketim yoğunluğu ve yıllık emisyon miktarları **Error! Reference source not found.**'de özetlenmiş ve incelenen durumlar çerçevesinde oluşan etkiler ayrıca değerlendirilmiştir.

Bina yönü ve bina kabuğunun cam yüzey oranı

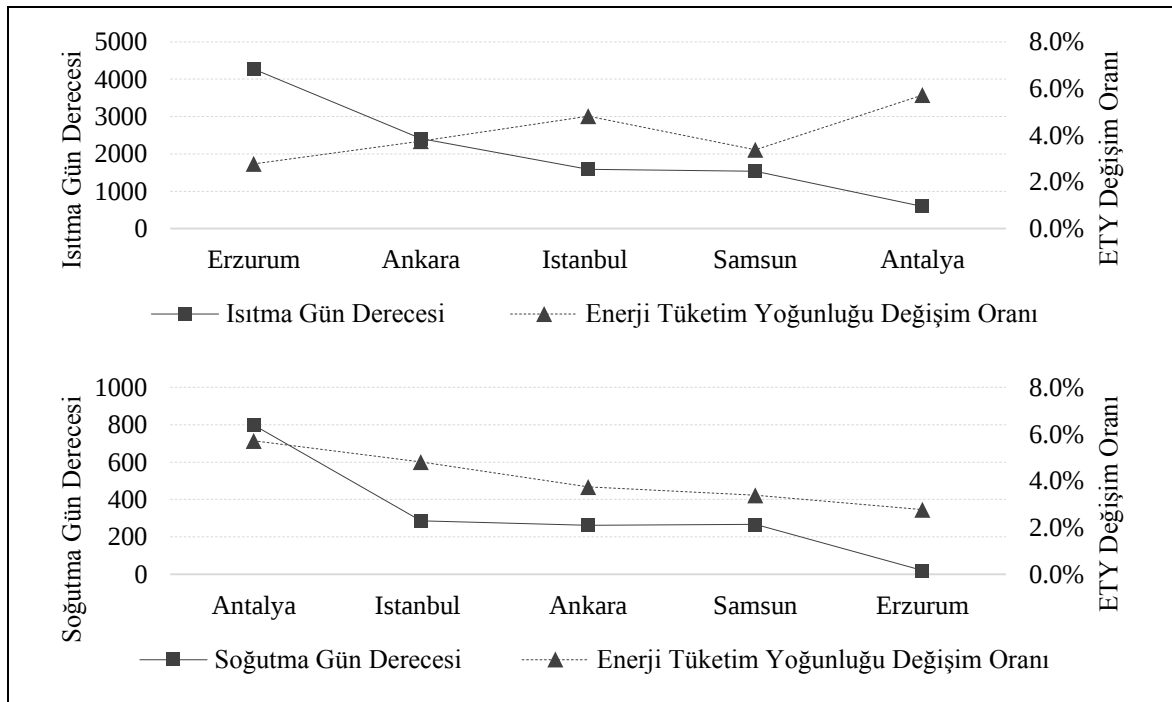
Çalışmada incelenen ilk iki durum bina yönü ve bina kabuğunun cam yüzey oranı olmaktadır. Binaya giren gün ışığı ve güneşten olan ısı kazancı bu değişikliklerden etkilenen temel parametreler olmaktadır. Bu iyileştirmelerin inceleme kapsamına alınmasında bütüncül tasarım yaklaşımının etkisini gözlemlemek amaçlanmıştır. Başka bir deyişle bu parametrelerin tasarım ilk aşamalarında değerlendirilmesi ve sonuçların, mahallerin binadaki dağılımı ve binanın yönünün belirlenmesinde dikkate alınmasının ne oranda etkili olabileceği incelenmiştir.

Bu iki parametre ile ilgili enerji tasarruf oranlarına bakılırsa, ilk tasarım aşamasında sadece bu parametrelerin dikkate alınması durumunda enerji tüketim yoğunluğu, yıllık enerji maliyeti ve yıllık karbon dioksit emisyonu tüm iklim bölgelerinde en az %2 oranda azaltılabilmektedir. Bu oran farklı iklim bölgelerinde ele alınırsa birinci iklim bölgesinde (Antalya) %5,7 'e kadar yükselebilmektedir. Yıllık enerji maliyetinde bu oranda bir azalma

yıllık enerji maliyetlerinde 365000\$ ve yıllık karbon dioksit emisyon miktarında 1474 ton düşüş anlamına gelmektedir. Ayrıca hastane binalarının özel iç ortam gereksinimlerinden dolayı iyileşme yüzdesi bölgeler arasında binanın ısıtma ihtiyacı ile ters oranda değişmektedir.

Bina kabuğu iyileştirmesi

Binanın cephe performansının bölüm 4.4.3’de anlatıldığı şekilde yükseltilmesi durumu için elde edilen sonuçlara bakılırsa, incelenen tüm endekslerde %2.5 üzerinde bir iyileşme gözlemlenmektedir. Bu oran yıllık maliyetlerde en az 186.000\$ (4. iklim bölgesi, Erzurum’da) ve yıllık karbon dioksit emisyonları bakımından en az 818 ton (2. iklim bölgesi, Samsun’da) bir azalma anlamına gelmektedir. Şekil 4.5 binanın enerji tüketim yoğunluğu değişimini iklim bölgelerinin ısıtma ve soğutma gün derecelerine karşı göstermektedir. Buradan görülebildiği gibi enerji tüketim yoğunluğunda diğer parametrelere benzer bir şekilde %2,8-%5,7 aralığında bir iyileşme söz konusu olmuştur.



Şekil 4.5. Kabuk performans iyileştirmesinin ısıtma ve soğutma gün derecelerine göre etki oranı

Çizelge 4.48. Tüm çalışılan durumlarda yıllık enerji maliyetleri, enerji tüketim yoğunlukları ve CO₂ emisyonlarının özeti

Şehirler	Endeks / İyileştirme	Referans	Yön	Cam Oranı	Cephe	Aydınlatma	HVAC	Tümü	PV	CHP
Ankara	Enerji Maliyeti (M\$)	6,62	6,62	6,51	6,41	6,54	3,72	3,56	6,51	2,79
	Tüketim Yoğunluğu (kWh/m ² .yıl)	480	480	471	463	477	277	267	475	352
	CO ₂ Emisyonu (ton)	27113	27113	26667	26250	26783	15240	14596	26669	11443
Erzurum	Enerji Maliyeti (M\$)	7,33	7,33	7,23	7,14	7,26	4,17	4,00	7,23	2,59
	Tüketim Yoğunluğu (kWh/m ² .yıl)	574	574	565	558	571	351	337	568	490
	CO ₂ Emisyonu (ton)	30114	29885	29492	29118	29614	16974	16278	29713	10494
Antalya	Enerji Maliyeti (M\$)	6,30	6,17	6,08	5,94	6,12	3,68	3,48	6,19	3,14
	Tüketim Yoğunluğu (kWh/m ² .yıl)	420	410	405	396	409	242	231	414	269
	CO ₂ Emisyonu (ton)	25874	25315	24944	24368	25125	15084	14266	25404	12884
İstanbul	Enerji Maliyeti (M\$)	6,25	6,25	6,16	6,04	6,16	3,60	3,44	6,17	2,92
	Tüketim Yoğunluğu (kWh/m ² .yıl)	433	429	422	412	424	251	241	428	299
	CO ₂ Emisyonu (ton)	25282	25282	24935	24441	24947	14768	14103	24933	11998
Samsun	Enerji Maliyeti (M\$)	6,31	6,30	6,22	6,11	6,24	3,66	3,50	6,23	2,96
	Tüketim Yoğunluğu (kWh/m ² .yıl)	443	443	437	428	440	256	247	439	307
	CO ₂ Emisyonu (ton)	25904	25868	25543	25085	25604	15015	14369	25581	12171

Buradan incelenebileceği üzere iklim bölgelerinin genelinde bina kabuk performansı iyileştirmesinin enerji tüketim yoğunluğu üzerinde etkisi iklim bölgelerinin ısıtma gün derecesi ile ters ve soğutma gün derece değerleri ile doğru orantılıdır. Bu da kabuk iyileştirmelerinin soğutma ihtiyaç ve tüketiminin yüksek olduğu bölgelerde güneş kazançlarını azaltmak yoluyla etkili olabileceğini göstermektedir. Ayrıca iklim bölgeleri arasında yüksek taze hava ihtiyacının getirdiği ısıtma termal yükü düştükçe kabuk performansı iyileştirmesi etki oranının enerji tüketim yoğunluğunun azaltılması adına daha yüksek olduğunu göstermektedir. Samsun için Şekil 4.5'te görünen eğriden sapma iklim şartlarına bağlı olan iki parametreden kaynaklanmaktadır. Birincisi dış havanın yüksek nem oranı özellikle nem alma süreçlerinde enerji tüketiminin artışı anlamına gelmektedir ve bu da sırasıyla toplam enerji tüketiminde HVAC sistemlerinin payını artırarak kabuk

performansının etkisini azaltmaktadır. İkinci olarak yüksek bulutluluk oranı ve güneşten gelen ısı kazançlarının düşük olması camlarda uygulanan gölgeleme faktörü artışının etkisini azaltmaktadır.

Burada elde edilen sonuçlar bina kabuğunun hastane binalarının enerji performansı üzerinde yaratacak olumlu etkiyi gösterse de, her bir iklim bölgesinde en iyi sonucu elde etmek için bina kabuğu optimizasyon çalışması ekonomik parametreler dikkate alınarak gerçekleştirilmelidir.

Aydınlatma sistemi iyileştirmesi

Aydınlatma sisteminin enerji verimliliğini arttıracak uygulamaların incelenmesi bu çalışmanın kapsamına değildir. Ancak mahallerdeki aydınlatma yoğunluğunun %10 azaltılması durumunda binanın enerji tüketiminin ne şekilde etkileneceği değerlendirilmiştir. Aydınlatma güç yoğunluğunun azaltılması aydınlatma kaynaklı tüketimlerin yanı sıra, soğutma ihtiyaç ve tüketimlerini de düşürmektedir. Bu iyileştirme sayesinde enerji tüketim yoğunluğu, yıllık enerji maliyet ve emisyon oranlarında tüm iklim bölgeleri %1-%2,9 aralığında bir azalma gözlemlenmiştir. Bu da enerji giderlerinde 65.000\$-180.000\$ aralığında bir azalma anlamına gelmektedir. Kaçınılmış olan yıllık karbondioksit emisyonu ise bu durumda birinci iklim bölgesinde 748 ton değerine kadar çıkabilmektedir.

Aydınlatmadan kaynaklı enerji tüketimlerinin azaltılması için gün ışığı kontrolü, varlık sensörleri, programlanabilir anahtarlar, kademeli aydınlatma armatürleri ve düşük güç yoğunluğuna sahip LED armatürlerin kullanılması gibi çeşitli uygulamalar gerçekleştirilebilir.

İklimlendirme sistemlerinin iyileştirmesi

İklimlendirme sistemleri için önerilen iyileştirmeler Bölüm 4.4.5’de açıklanmıştır. Bu iyileştirmeler sonucu iklim bölgelerinde enerji giderlerinin %41,7-%43,8 aralığında düşüş gösterdiği görülmüştür. Aynı zamanda karbon dioksit emisyonları da benzer şekilde %41,6-%43,8 oranda azalma göstermektedir. Enerji tüketim yoğunluğunda en yüksek düşüş %42,4 azalma ile üçüncü iklim bölgesinde (Ankara) ve en düşük yüzde ise %38.8 oran ile dördüncü iklim bölgesi (Erzurum)’da gerçekleşmiştir.

Bu iyileşme oranlarından kaynaklı rakamsal değerlere bakıldığında en yüksek yıllık enerji maliyeti düşüşü dördüncü iklim bölgesinde (Erzurum) 3,15M \$ olarak gerçekleşmiştir. Yine aynı iklim bölgesinde karbon dioksit emisyonunda 13.140 ton azalma elde edilebilmiştir. Buna karşı en düşük rakamlar birinci iklim bölgesinde gerçekleşerek, enerji giderlerinde 2,62M \$ ve emisyon miktarında ise 10.513 ton azalma oluşmuştur.

Çalışma kapsamında ele alınan iyileştirmelerin arasından İklimlendirme sistemlerinin performans artışı en büyük etkiye sahip olmaktadır. Bu değerlendirme tüm iklim bölgeleri için geçerlidir. Uygun sistem seçimi ve mahal tiplerine göre en verimli sistemlerin kullanılması sayesinde, maliyet, tüketim yoğunluğu ve çevresel etkilerde %40'ın üzerinde bir azalma elde edilebileceği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, mümkün olan her alanda ısı geri kazanım sistemlerinin kullanımı, müsaade edilen mahallerde dış hava ve re-sirkülasyon havasının ayrıştırılması, mahal sıcaklıkların dolu ve boş saatlerde kontrol edilmesi ve uygun olan mahallerde ihtiyaca göre havalandırma uygulanması gibi yöntemler yardımıyla ısı yüklerin azaltılması bu oranda bir iyileşmeye ulaşabilmek için atılabilecek adımlardan bazılarıdır.

Tüm iyileştirmelerin eşzamanlı uygulanması

Bölüm 4.4.6'da açıklandığı şekilde buraya kadar değerlendirilen iyileştirmelerin aynı zamanda uygulanması durumunda, enerji tüketim yoğunluğunda tüm iklim bölgelerinde elde edilen iyileşmeler %41,2-%45 aralığında değişmektedir. Yıllık toplam enerji maliyeti ve emisyon miktarında ulaşılan en yüksek iyileşme oranları ise sırasıyla % 46,1 ve % 46,2 olarak hesaplanmıştır.

Ulaşılan enerji performansının rakamsal değerlerine bakıldığında ise tüm iklim bölgelerinde yıllık enerji maliyetleri en az 2,80M \$ ve en fazla 3,24M \$ düşüş göstermektedir. Emisyon miktarlarında ise en az 11.719 ton ve en fazla 13.835 ton karbon dioksit salınımı engellenmiştir.

Fotovoltaik sistem uygulaması

Yenilenebilir enerji sistemlerinden bu çalışmada PV sistemlerinin binada uygulanması incelenmiştir. Uygun olan çatı alanın kurulacak PV sisteminden tüm iklim bölgelerinde

yıllık 500 MWh'in üzerinde elektrik üretimi mümkün olmaktadır. Bu rakam bazı iklim bölgelerinde 900 MWh'e kadar çıkabilmektedir. Güneş takipli sistemlerinin kullanımı yıllık enerji üretimini yaklaşık %20 oranında etkilediği görülmektedir.

Bu oranda enerji üretiminin yıllık mali getirisi sabit açılı sistemlerde 68.097\$ ile 95.797\$ arasında ve güneş takipli sistemlerde ise 85.080\$ ile 114.402\$ arasında değişmektedir. Engellenmiş olan emisyon miktarları ise sabit açılı sistemlerde 279 ton ile 393 ton arasında ve güneş takipli sistemlerde 349 ton ile 469 ton arasında değişmektedir.

Birleşik ısıtma güç sistemi uygulaması

Tüm diğer iyileştirmelerin devamında BIG sistemi uygulaması yıllık enerji maliyetlerini tüm iklim bölgelerinde referans binaya göre en az %50 azaltabilmektedir. Bu değerin ısıtma ağırlıklı iklim bölgelerinde %60'ın üzerine çıkabildiği gözlemlenmiştir.

Elde edilen rakamsal iyileşme değerlerine bakıldığında tüm iyileştirmeler sonrasında birleşik ısıtma güç sistemlerinin uygulanması durumunda tüm iklim bölgelerinde referans binaya kıyasla yıllık enerji maliyetlerinde 3,16M \$ ve 4,74M \$ arasında tasarruf potansiyeli mevcuttur. Bununla birlikte karbon dioksit emisyon miktarlarında ise 12.989 ton ile 19.260 ton azalma elde edilebilmektedir.

5. SONUÇ, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Dünyanın fosil tabanlı enerji tüketiminin %40'a yakın bir oranı binalarda gerçekleşmektedir. Bu da binaların enerji tasarrufu açısından yüksek potansiyele sahip olduğu anlamına gelmektedir. Binaların enerji tüketim yoğunluğunu belirleyen başlıca etkenlerden binanın kullanım amacıdır. Çeşitli amaçlar için kullanılan binaların arasından hastane binaları en yüksek enerji tüketim yoğunluğuna sahip binalardan olmaktadır. Hastane binalarının enerji tüketimlerinin azaltılması enerji ekonomisi ve çevresel etkilerin azaltılmasının yanı sıra, hastalara daha iyi bir hizmet sunma ve tedavi maliyetlerini düşürmek adına önem arz etmektedir.

Bu amaç doğrultusunda alınabilecek önlemler hakkında öneride bulunabilmek için ilk adım bina sistemlerinden her birinin enerji tüketim oranının belirlenmesi olacaktır. Daha sonrasında enerji tüketiminde etkisi olan her bir sistemde uygulanabilecek muhtemel iyileştirmelerin ne oranda etkili olacağının öngörülmesi gerekmektedir. Buradan elde edilecek veriler her bir iklim bölgesinde iyileştirmelerin enerji tüketimi, karbon dioksit salınımı ve işletmeye maliyetleri açısından sağlayacağı tasarruf ve önceliklerinin belirlenmesi adına önem taşımaktadır.

Yapılan çalışmada bir hastane binası örnek (prototip) olarak kullanılarak binanın enerji modeli EDSL TAS paket programı yardımıyla oluşturulmuştur. Söz konusu binanın mevcut tasarımında dikkate alınan yönetmelikler ve standartlarda belirtilen minimum gereksinimler oluşturulan modele yansıtılarak bir referans bina modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu referans bina modelinin doğrulanması sonrasında önerilen tasarruf önlemlerin etkisinin kıyaslanması için kullanılmıştır. Bir sonraki adımda enerji tüketimlerini etkileyen alanlarda uygulanacak olası iyileştirmelerin tesir oranı farklı durumlar çerçevesinde incelenmiştir. İncelenen durumlar, bina yönü seçimi, cam cephe oranı azalımı, kabuk iyileştirmeleri, aydınlatma yük yoğunluğu azaltılması, iklimlendirme sistemlerine ilişkin iyileştirmeler, PV uygulaması ve birleşik ısı güç sistemler (CHP) kullanımından oluşmaktadır. Bu çalışma Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için tekrarlanarak, iyileştirmelerin etki oranı enerji tüketim yoğunluğu, yıllık enerji maliyetleri ve karbon dioksit emisyonları açısından karşılaştırılmıştır. Burada yıllık tüketim yoğunluğu binanın yıllık son tüketimi ve toplam kapalı alanı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Yıllık enerji maliyeti ve emisyon miktarı tüketimlerin hangi enerji kaynağından ve ne oranda oluştuğu ve enerji kaynaklarının birim

fiyatları ve özgül emisyon oranları dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenmiş olan tüm durumlar için elde edilen sonuçlar bölüm 4.5’de özetlenmiş ve bu bölümün devamında irdelenmiştir.

Binanın yönü ve duvar-pencere oranı

Çalışmada incelenen ilk iki durum bina yönü ve bina kabuğunun cam yüzey oranı olmaktadır. Bu parametrelerin inceleme kapsamına alınmasında bütüncül tasarım yaklaşımının etkisini gözlemlemek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda binanın bir birinden 90° farkı yönelimleri ve ayrıca pencere-duvar-oranının %7 ve %14 azalımı için bina modeli güncellenmiş ve her bir durumda oluşan tüketimler hesaplanmıştır. Bu parametrelerin değişiminden kaynaklı enerji tasarruf oranlarına bakılırsa, ilk tasarım aşamasında sadece bu değerlendirmelerin dikkate alınması durumunda enerji tüketim yoğunluğu, yıllık enerji maliyeti ve yıllık karbon dioksit salınımı tüm iklim bölgelerinde en az %2 oranda azaltılabilmektedir. Bu oran birinci iklim bölgesinde (Antalya’da) %5,9’a kadar yükselebilmektedir. Dolayısıyla bu ve enerji tüketiminde etkili olabilecek benzer mimari tasarım parametrelerinin ilk tasarım aşamasında değerlendirmeye alınması, yüksek enerji tasarruf oranlarına ulaşabilmek adına temel taş niteliğindedir.

Bina kabuğu

Binalar cepheleri vasıtasıyla dış ortam ile etkileşimde olmaktadır. Dolayısıyla dış ve iç ortam arasında olan tüm ısı kayıp ve kazançları cephe yoluyla gerçekleşmektedir. Bu yüzden de cephe performansı, binaların enerji tüketimleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu doğrultuda her bir iklim bölgesinde TS 825 standardına uygun olarak oluşturulan referans bina modelinde, Çizelge 4.12’de özetlenen kabuk iyileştirmelerinin uygulanması örnek hastane binası için ele alınmıştır. Çalışmanın sonuçlarına bakılırsa sadece bina cephesinde yapılacak bu iyileştirmeler binanın enerji tüketim yoğunluğunu farklı iklim bölgelerinde en az (4. iklim bölgesi, Erzurum için) %2,8’den (1. iklim bölgesi, Antalya için) %5,7’ye kadar azaltılabilmektedir.

Ancak bu etki oranı tüm bina tipleri için aynı değildir. Örnek olarak bu çalışmada incelenen hastane binaları için cephe iyileştirmeleri binanın enerji performansını olumlu yönde etkilemesine rağmen, bu etkinin oranı başka bina tiplerine göre daha düşük olmaktadır.

Bunun sebebi ise hastane binaların özel iç ortam gereksinimleridir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar bina kabuk performansının belli mertebede iyileştirilmesinin etki oranını belirlese de her bir iklim bölgesinde en uygun cephe tasarımının geliştirilmesi için bina kabuğu optimizasyon çalışması ekonomik parametreler dikkate alınarak ayrıca gerçekleştirilmelidir.

Aydınlatma sistemi

Aydınlatma sisteminde uygulanabilecek iyileştirmelerden bu çalışmada armatürlerin güç yoğunluğunun %10 azaltılması durumu incelenmiştir. Bu iyileştirmeler sayesinde enerji tüketim yoğunluğu, yıllık enerji maliyet ve emisyon oranlarında tüm iklim bölgeleri için %1'in üzerinde bir azalma gözlemlenmiştir.

Aydınlatma kaynaklı enerji tüketimlerinde yüksek tasarruf oranlarına ulaşabilmek adına, aydınlatma güç yoğunluğunun azaltılması, varlık sensörlerinin kullanılması ve ortamın aydınlık seviyesini göre gerekli olmadığında aydınlatmayı kısacak veya kapatacak gün ışığı kontrollü otomatik aydınlatma kontrol sistemi uygulanması gerekmektedir. Ayrıca gece aydınlatmasında kullanılan acil durum aydınlatma sistemlerinin, tüketimleri mümkün mertebe düşük olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Özellikle doğal ışıktan mümkün mertebe yararlanıp ve yapay aydınlatma kullanımını azaltabilmek için detaylı gün ışığı analizlerinin gerçekleştirilmesi faydalı olacaktır. Böylece mahal tiplerin yerleşiminde aydınlatma ihtiyaçları göz önünde bulundurularak sürdürülebilirlik adına daha uygun bir tasarım oluşturulabilecektir. Dinamik gün ışığı analizleri bu çalışmanın kapsamında olmadığından gün ışığı kontrollü aydınlatma sistemlerinin etkisi farklı senaryolar kapsamında incelenmemiştir.

Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri

Sağlık kurumlarına ait binalar taze havanın yanı sıra hava dolaşımı gereksinimleri ve nem kontrolü zorunluluklarından dolayı iklimlendirme sistemleri açısından özel bir duruma sahiptir. Bu konu iklimlendirme sistemlerinin payını binanın toplam enerji tüketiminde arttırmaktadır. Bununla birlikte bu sistemlere uygulanacak olası iyileştirmelerin etkisinin daha yüksek olması beklenebilir. Bu doğrultuda çalışma kapsamında iklimlendirme sistemleri için Çizelge 4.14'te özetlenmiş olan iyileştirme önerileri bina enerji modeline yansıtılarak enerji tüketimlerine olan etkileri ele alınmıştır. Bu iyileştirmeler başlıca hava

tarafı sistem yapısı, özgül fan güçleri ve ısıtma ve soğutma sistem verimliliklerine ile ilgili olmaktadır.

Elde edilen sonuçlara göre iklimlendirme sistemlerinin iyileştirilmesinden enerji giderleri ve çevresel etkiler açısından farklı iklim bölgelerinde %41.8 (birinci iklim bölgesi) ile %43.8 (üçüncü iklim bölgesi) arasında bir azalma elde edilebileceği gözlemlenmiştir. Enerji tüketim yoğunluğu açısından ise farklı iklim bölgelerinde 178 - 223 kWh/m².yıl aralığında enerji tasarrufu mümkün olmaktadır.

Bu enerji performans seviyelerine ulaşabilmek adına dikkat edilmesi gereken en temel konulardan merkezi iklimlendirme sistemleri için seçilecek ısıtma ve soğutma santrallerinin (kazan ve soğutma grupları) verimlilikleridir. Ayrıca bu sistemlerin en yüksek verimlilik oranının elde edilebileceği, kısmi yük aralığında çalışacak şekilde boyutlandırılması ve seçilmesi aynı oranda önemlidir. Aynı yaklaşım sistemlerin yapısında öngörülen fan ve pompalar için de geçerli olmaktadır. Bu bileşenler frekans kontrollü ve ihtiyaca göre kısmi yük eğrileri dikkate alınarak en verimli çalışma noktasında yer alacak şekilde tasarlanmalıdır. İklimlendirme sistemlerinin tasarımında göz önünde bulundurulması önerilen bazı diğer hususlar ise müsaade edilen mahallerde ısı geri kazanım sistemlerinin kullanımı, dış hava ve re-sirkülasyon havasının ayrıştırılması, mahal sıcaklıklarının dolu ve boş saatlerde kontrol edilmesi ve uygun olan mahallerde ihtiyaca göre havalandırma uygulanmasıdır.

Bunların yanı sıra hava dağıtım sisteminde gerçekleşen enerji tüketimleri iç ortam hava kalitesi standartlarında belirtilen hava değişim sayılarıyla kısıtlansa da, besleme hatlarındaki basınç düşümü tasarım ekibi tarafından azaltılabilmektedir. Kanal ve santral ebatlarının doğru seçilmesi, dirsek ve redüksiyonların en aza indirilmesi ve düşük basınç düşümlü bileşenlerden tasarımda faydalanılması hat üzerindeki basınç düşümü ve neticesinde fanlarda tüketilen enerjiyi azaltmak adına başlıca alınabilecek önlemlerden sayılmaktadır. Ayrıca hava kanallarının doğru ölçülendirmesi gürültü seviyelerinin azaltılması ve hastaların konfor seviyesinin yükseltilmesi adına önem arz etmektedir.

Benzer bir yaklaşım su dağıtım sisteminde yer alan boru hatları için de geçerlidir. Isı dağıtımı için kullanılan akışkanın merkezi santrale dönmeden mümkün mertebe içerdiği ısıdan faydalanılması gerekmektedir. Boru hatlarının tasarımında uygun boru çapı seçimi ve hat

üzerindeki basınç kaybının mümkün mertebe azaltılmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca boru hatlarında gerçekleşecek ısı kayıplarının en aza indirilmesi için uygun boru yalıtımı tasarımıda öngörülmelidir.

Aynı oranda önemli olan bir diğer konu ise sistemlerin otomatik kontrolüdür. Özellikle bina kullanıcılarının günlük çalışmalarına odaklanmışken enerji tasarrufu yönünden bilinçli davranmaları beklenemez ve bu yüzden uygun otomasyon sistemlerinin kullanılması, hedeflenen enerji tasarruf oranlarına ulaşmak adına kaçınılmazdır. Burada işletme yönetimi tarafından doğru şekilde anlaşılabilir ve çalıştırılabilir bir sistem seçimi, verimli sistem tasarımıda önem arz etmektedir.

İklimlendirme sistemleri hastalar için en uygun tedavi ortamını sağlayıp ve her günün her saatinde güvenilir bir şekilde bu gayeye hizmet etmesi gerekmektedir. Tasarım kriterleri verilen sağlık hizmetinin içeriğine göre değişebilmektedir. Burada önemli olan tedavi ortamının tüm gereksinimlerini yerine getirirken daha az enerji tüketen sistemlerin tasarlanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda ispatlanmış teknolojilerin yaratıcı şekilde kullanılması, güvenilir cihaz seçimi, tesisin bakım kabiliyeti mertebesinde karmaşık olan sistemlerin tasarlanması ve doğru kontrol senaryolarının geliştirilmesi kaçınılmazdır.

Fotovoltaik sistem

Yenilenebilir enerji sistemlerinden bu çalışmada PV sistemlerinin binada uygulanması incelenmiştir. Uygun olan çatı alanın kurulacak PV sisteminden tüm iklim bölgelerinde yıllık 500 MWh 'in üzerinde elektrik üretimi mümkün olmaktadır. Bu rakam bazı iklim bölgelerinde 900 MWh 'e kadar çıkabilmektedir. Güneş takipli sistemlerinin kullanımı yıllık enerji üretimini yaklaşık %20 oranında etkilediği görülmektedir.

PV sistemlerinin düşük bakım maliyet ve gereksinimi ve uzun ömürleri yenilenebilir enerji sistemleri arasında öne çıkmalarına sebep olmaktadır. Çatı, zemin, açık otoparkların üstü, gölgeleme elemanları ve bina cephesine yerleştirilebilmeleri bu sistemlere uygulama esnekliği kazandırmaktadır. Son yıllarda gerçekleşen PV sistem fiyatlarının azalması ve devlet teşvikleri bu sistemlerden bütçe çerçevesinde mümkün mertebe faydalanılmasını ekonomik açıdan önemli kılmaktadır. Her iklim bölgesinde ekonomik sürdürülebilirliğin

sağlanması için ilk yatırım maliyetleri ve o bölgedeki üretim potansiyeli göz önünde bulundurularak en uygun sistem kapasitesinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bunun dışında, solar termal sistemler (sıcak su ve hava ısıtıcıları), rüzgâr türbinleri ve jeotermal enerji değerlendirilebilecek diğer yenilenebilir enerji sistemleridir.

Birleşik ısı güç sistemi

Tüm diğer iyileştirmelerin devamında birleşik ısı güç (CHP) sistemi uygulaması yıllık enerji maliyetlerini tüm iklim bölgelerinde referans binaya göre en az %50 azaltabilmektedir. Bu değerin ısıtma ağırlıklı iklim bölgelerinde %60'ın üzerine çıkabildiği gözlemlenmiştir.

CHP sistemleri elektrik enerji ihtiyacını kendi karşılaması istenilen binalar için uygun bir uygulama olmaktadır. Bu binalarda ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının da karşılanması gerektiğini düşünürsek, elektrik üretiminden oluşan atık ısı ısıtma ve/veya soğutma ihtiyacının tamamı olmasa da bir kısmını karşılayabilecektir. Oluşan atık ısının kullanılmadığı durumunda çevreye atılması gerektiğini göz önünde bulundurursak termal ihtiyaçları karşılama maliyetleri sıfırlanmasa da büyük ölçüde azaltılmış olacaktır. CHP sistemlerinin ekonomik sürdürülebilirliği adına oluşan atık ısı kullanılabilecek mertebede olacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Doğru bir tasarım ve boyutlandırma yüksek mertebelerde olan ilk yatırım maliyetlerinin geri dönüş sürelerini kısaltacaktır. En uygun CHP sistem boyutunun belirlenmesi için her bir hastane binasının ihtiyaçları doğrultusunda ve her bir iklim bölgesinde özgün bir çalışma gerçekleştirilmelidir. Ayrıca çevre ile ilgili yönetmeliklerin getirdiği sınırlamalardan etkilenmemek adına elektrik üretiminden kaynaklı baca gazı salınımları ve gürültü problemi için tasarımın ilk aşamalarında gerekli çözümlerin üretilmesi gerekmektedir. Bunların yanı sıra sistemin şebeke ile irtibatla olacağından dolayı şebeke düzenlemelerinden etkilenme konusu dikkate alınmalıdır.

Bu çalışma Türkiye'nin tüm iklim bölgelerinde hastane binaları için gerçekleştirilmiştir. Ancak sistemlerin değişken kurulum maliyetleri ve sistem bileşenlerinin ürün çeşitliliği nedeniyle ekonomik analizler bu çalışmanın kapsamına alınmamıştır. Benzer çalışmalar farklı kullanım amacı olan binalar için gerçekleştirilebilir. Ayrıca fiyatlardaki değişkenliğin göz ardı edilebileceği bir zaman dilimi ve belirli ürün kalite aralığı için ekonomik değerlendirmeler yapılabilecektir. Bunların yanı sıra bu çalışmanın kapsamına alınmayan

bina sistem tipleri ve yenilenebilir enerji sistemleri için benzer çalışmalar yürütülmesi ve sonuçların karşılaştırılması en uygun sistem tasarımına yaklaşabilmek adına faydalı olacaktır.

Öneriler

Bu çalışma hastane binaları için Türkiye'nin çeşitli iklim bölgelerinde gerçekleştirilmiştir. Benzer çalışmalar okul, ofis ve konut binaları gibi farklı kullanım amaçlarına sahip binalarda tekrarlanabilir. Bu kapsamda, ileride yapılacak çalışmaların çeşitli bina kabuk teknolojilerinin yanı sıra gün ışığı kontrollü aydınlatma, ısı depolama ve ısı pompaları gibi teknolojileri içermesi önerilebilir.

Ayrıca her bir iklim bölgesinde, çalışmaya konu olan bina tipinin gereksinimleri çerçevesinde iyileştirme olanaklarının her biri için ekonomik kısıtlar göz önünde bulundurularak optimizasyon çalışması yapılması, optimum tasarım parametrelerinin belirlenmesi adına faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Laustsen, J. (2008). Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings: IEA information paper. Sweden: International Energy Agency, 1-85.
2. Internet: Energy Information Administration. (2012). *Energy Use in commercial buildings - energy explained*. Your Guide To Understanding Energy. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.eia.gov%2Fenergyexplained%2Findex.php%3Fpage%3Dus_energy_commercial&date=2019-02-19, Accessed : 22.01.2019.
3. Internet: Energy Star. (2016, September). Technical reference U. S. energy use intensity by property type. *Energy Star Portf. Manag.*, , 1–6, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fportfoliomanager.energystar.gov%2Fpdf%2Freference%2FUS%2520National%2520Median%2520Table.pdf&date=2019-02-19>, Accessed : 22.01.2019.
4. Internet: The Economist. (2016). *Green around the edges - Energy efficiency*. U. N. E. Programme, D. Dispatch, T. International, E. Agency, and P. Gas, <https://www.economist.com/international/2015/04/11/green-around-the-edges>. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.economist.com%2Finternational%2F2015%2F04%2F11%2Fgreen-around-the-edges&date=2019-02-19>, Accessed : 22.01.2019.
5. Internet: International Energy Agency. (2017). *Energy technology perspectives*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.iea.org%2Fetp%2F&date=2019-02-19>, Accessed : 22.01.2019.
6. Chung, M., Park, H. C. (2015). Comparison of building energy demand for hotels, hospitals, and offices in Korea. *Energy*, 92, 383-393.
7. Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. and Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394-398.
8. Xie, H., Yu, Z., and Wu, J. (2011). The current situation and problems in china's building energy efficiency. *Procedia Engineering*, 21, 1145-1151.
9. Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Coronel, J. F. and Maestre, I. R. (2011). A review of HVAC systems requirements in building energy regulations. *Energy and Buildings*, 43(2-3), 255-268.
10. Szklo, A. S., Soares, J. B. and Tolmasquim, M. T. (2004). Energy consumption indicators and CHP technical potential in the Brazilian hospital sector. *Energy Conversion and Management*, 45(13-14), 2075-2091.
11. Saidur, R., Hasanuzzaman, M., Yogeswaran, S., Mohammed, H. A., and Hossain, M. S. (2010). An end-use energy analysis in a Malaysian public hospital. *Energy*, 35(12), 4780-4785.
12. Bizzarri, G., Morini, G. L. (2006). New technologies for an effective energy retrofit of hospitals. *Applied Thermal Engineering*, 26(2-3), 161-169.

13. Bujak, J. (2010). Heat consumption for preparing domestic hot water in hospitals. *Energy and Buildings*, 42(7), 1047-1055.
14. Vakiloroya, V., Samali, B., Fakhar, A., and Pishghadam, K. (2014). A review of different strategies for HVAC energy saving. *Energy Conversion and Management*, 77, 738-754.
15. Bizzarri, G., Morini, G. L. (2004). Greenhouse gas reduction and primary energy savings via adoption of a fuel cell hybrid plant in a hospital. *Applied Thermal Engineering*, 24(2-3), 383-400.
16. Bhaskoro, P. T., Gilani, S. I. U. H., and Aris, M. S. (2013). Simulation of energy saving potential of a centralized HVAC system in an academic building using adaptive cooling technique. *Energy Conversion and Management*, 75, 617-628.
17. Trčka, M., Hensen, J. L. (2010). Overview of HVAC system simulation. *Automation in Construction*, 19(2), 93-99.
18. Čongradac, V., Prebiračević, B., Jorgovanović, N. and Stanišić, D. (2012). Assessing the energy consumption for heating and cooling in hospitals. *Energy and Buildings*, 48, 146-154.
19. Cengel, Y. A. (2002). *Heat transfer a practical approach* (2nd Edition). New York: McGraw-Hill.
20. Internet: Carrier Corporation. (2016)., “Hourly Analysis Program Reference Guide.” Software Systems Network Carrier Corporation, URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ahi-carrier.gr%2Fmedia%2F154466%2Fe20s-HAP50_manual.pdf&date=2019-02-19, Accessed : 22.01.2019.
21. Environmental Design Solutions Limited. *EDSL TAS Reference Guide*. URL: <http://edsl.myzen.co.uk/manuals/>
22. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S., ve Yamankaradeniz, N. (2012). *İklimlendirme esasları ve uygulamaları*. Bursa: Dora Yayın Dağıtım.
23. Internet: Communities and Local Government. (2008). National Calculation Methodology (NCM) modelling guide (for buildings other than dwellings in England and Wales). *Communities local Gov.*, 1-34, URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fassets.publishing.service.gov.uk%2Fgovernment%2Fuploads%2Fsystem%2Fuploads%2Fattachment_data%2Ffile%2F7762%2F1016185.pdf&date=2019-02-20, Accessed : 22.01.2019.
24. Internet: Ministry of Public Works and Settlement. (2008). *Building energy performance regulation in Turkey*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.resmigazete.gov.tr%2Feskiler%2F2008%2F12%2F20081205-9.htm&date=2019-02-20>, Accessed : 22.01.2019.
25. Torcelini, P., Deru, M., Griffith, B., Benne, K., Halverson, M., Winiarski, D., and Crawley, D. B. (2008, August). *DOE commercial building benchmark models*. The 2008 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, California, 1-12.

26. Internet: NREL. (2010). *AEDG 50 % Energy Savings : Technical Support Document*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nrel.gov%2Fdocs%2Ffy10osti%2F49213.pdf&date=2019-02-20>, Accessed : 22.01.2019.

27. Internet: U.S. Energy Information Administration. (2002). Managing Energy Costs in Hospitals. *E Source*, URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww9.nationalgridus.com%2Fnon_html%2Fshared_energyeff_hospitals.pdf&date=2019-02-20, Accessed : 22.01.2019.

EKLER

(Ekler Tezin arka kapağında CD ortamında verilmiştir.)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : POOYANFAR, Mırparham
 Uyruğu : İran
 Doğum tarihi ve yeri : 09.06.1986, Tebriz
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (531) 322 76 13
 Faks : -
 e-mail : p.pooyanfar@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makina Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Tahran Amir Kabir Teknik Üniversitesi / Makina Mühendisliği	2008
Lise	NODET, Tebriz	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	Ekodenge A.Ş.	Uzman Makine Mühendisi
2013-2018	Olimpos Enerji Ltd. Şti.	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, Azerice, Farsça, Arapça

Yayınlar

- Amirabedin, E., Pooyanfar, M., Rahim, M. A., and Topal, H. (2014). Techno-environmental assessment of co-gasification of low-grade Turkish lignite with biomass in a trigeneration power plant. *Environmental and Climate Technologies*, 13(1), 5-11.
- Coşar, G., Pooyanfar, M., Amirabedin, E., and Topal, H. (2013). Design and economic analysis of a heating/absorption cooling system operating with municipal solid waste digester: A case study of Gazi University. *Scientific Journal of Riga Technical University. Environmental and Climate Technologies*, 11, 12-18.

Pooyanfar, M. and Topal, H. (2019). Assessing effectiveness of integrated building design parameters on energy performance and emissions in health care facilities by means of building energy modelling. *Journal of Thermal Science and Technology*.

Hobiler

Spor, Sinema, Okuma



GAZİ GELECEKTİR..