

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**



**ÜNİVERSİTE BİNALARINDA ENERJİ TASARRUF
POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI: BALIKESİR
ÜNİVERSİTESİ ÇAĞIŞ KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERVE KOÇYİĞİT

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**



**ÜNİVERSİTE BİNALARINDA ENERJİ TASARRUF
POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI: BALIKESİR
ÜNİVERSİTESİ ÇAĞIŞ KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERVE KOÇYİĞİT

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Yusuf YILDIZ (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA

Doç. Dr. Bedriye ASIMGİL

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Merve KOÇYİĞİT tarafından hazırlanan “**ÜNİVERSİTE BİNALARINDA ENERJİ TASARRUF POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI: BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ ÇAĞIŞ KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 20.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

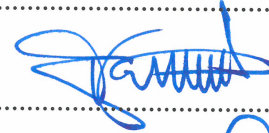
Jüri Üyeleri

İmza

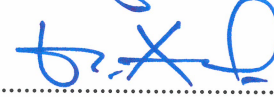
Danışman
Doç. Dr. Yusuf YILDIZ



Üye
Prof. Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA



Üye
Doç. Dr. Bedriye ASIMGİL



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimi tarafından 2017/054 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

**ÜNİVERSİTE BİNALARINDA ENERJİ TASARRUF POTANSİYELİNİN
ARAŞTIRILMASI: BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ ÇAĞIŞ KAMPÜSÜ
ÖRNEĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MERVE KOÇYİĞİT
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. YUSUF YILDIZ)
BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

Üniversite kampüsleri bina sektörü içinde, alışveriş merkezleri, ofis binaları ve oteller ile birlikte başlıca enerji kullanıcıları arasında yer almaktadır. Bu nedenle, önemli sayıda bina ve öğrenciye sahip üniversite kampüsleri enerji tüketimi ve karbon salınımını azaltma stratejilerini incelemek için ideal yerlerdir. Ülkemizde üniversite ve kayıtlı öğrenci sayılarındaki artışa bakıldığında üniversite kampüslerinde enerji planlamasının önemli olduğu ve ilerleyen yıllarda daha da önemli hale geleceği söylenebilir.

Bu çalışma, Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü'nden seçilen binaların mevcut enerji tüketim değerlerini inceleyerek ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimini azaltmaya yönelik stratejiler belirleyip enerji tasarruf potansiyellerini analiz etmeyi hedeflemektedir. Bu doğrultuda, F.E.F, M.M.F, Rektörlük ve B.E.S.Y.O binası, enerji tasarruf potansiyellerini araştırmak için seçilmiştir. Seçilen binalar DesignBuilder simülasyon programı kullanılarak modellenmiş ve gerçek enerji tüketim verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Daha sonra seçilen binalara uygulanacak bireysel enerji tasarruf stratejileri belirlenmiştir. Bunlar; dış duvar ve çatı yalıtımı, pencerelerin değiştirilmesi, gölgelendirme elemanlarının eklenmesi, fan coil fanlarının daha verimli fanlarla değiştirilmesi ve led ampul kullanımınıdır. Bireysel enerji tasarruf önerilerinin seçilen binalara uygulanması sonucunda, ısıtma için en yüksek tasarruf potansiyeline sahip bina Rektörlük'dür. Soğutma için en yüksek tasarruf potansiyeline sahip bina ise F.E.F'dir. Bireysel önerilerin enerji tüketimine olan etkileri incelendikten sonra bu önerilerin 2 farklı şekilde bir araya getirilmesi ile oluşan kombinasyon 1 ve 2'nin etkileri incelenmiştir. Kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda ısıtma, soğutma ve toplam enerji bakımından tasarruf potansiyellerine bakıldığında F.E.F en yüksek, B.E.S.Y.O ise en düşük tasarruf potansiyeline sahip binalar olmuştur.

Tüm bu iyileştirme önerilerinin uygulanması sonucunda meydana gelen enerji tasarruf potansiyelleri değerlendirildiğinde, Balıkesir Üniversitesi binalarında önemli bir enerji tasarruf potansiyelinin olduğu tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Enerji etkin iyileştirme, simülasyon, üniversite binaları, enerji tasarruf potansiyeli.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF ENERGY SAVING POTENTIAL AT UNIVERSITY BUILDINGS: BALIKESIR UNIVERSITY CAGIS CAMPUS SAMPLE

MSC THESIS

MERVE KOÇYİĞİT

BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

ARCHITECTURE

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. YUSUF YILDIZ)

BALIKESİR, JUNE 2019

University campuses are among the main energy users together with shopping malls, office buildings and hotels in the building sector. Therefore, university campuses with a considerable amount of buildings and students are ideal places to examine the strategies about decreasing energy consumption and carbon emission. When the increase in the numbers of universities and registered students is examined, it can be said that energy planning in university campuses is important and it will become much more important in the following years.

The purpose of this thesis is to analyse energy saving potentials based on the strategies decreasing the heating and cooling energy consumption and to examine current energy consumption ratios of selected buildings from Çağış Campus, Balıkesir University. Accordingly, F.E.F, M.M.F, Rectorship and B.E.S.Y.O buildings were selected to investigate energy saving potentials. These buildings were modelled with DesignBuilder simulation program and calibrated by using real energy consumption values. Then, individual energy saving strategies to be implemented in the selected buildings were determined. These are exterior wall and roof insulation, changing of windows, adding of solar shading, changing fan coil fans with more efficient fans and using led bulbs. As a result of these individual energy saving measures, it is found that the building having the highest energy saving potential for heating is the rectorship. The building having the highest energy saving potential for cooling is F.E.F building. After the impacts of individual strategies on energy consumption were examined, the impacts of the combination 1 and 2 that consisted of combination of individual strategies in two different ways were examined. As a result of the implementation of combination 1 and 2, F.E.F building has the highest energy saving potentials and B.E.S.Y.O building has the least energy saving potentials in terms of heating, cooling and total energy.

When all energy saving potentials are examined, it has been determined that there is an important energy saving potential in the buildings of Balıkesir University.

KEYWORDS: Energy efficient retrofitting, simulation, university buildings, energy saving potential.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	viii
RESİM LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xii
KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
ÖNSÖZ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı	3
1.2 Çalışmanın Amacı	6
1.3 Çalışmanın Kapsamı.....	7
1.4 Çalışmanın Yöntemi	8
2. LİTERATÜR TARAMASI	10
2.1 Sürdürülebilir Mimarlık ve Enerji Verimliliği	10
2.2 Dünyada ve Türkiye’de Enerji Tüketimi.....	11
2.3 Üniversite Kampüsleri ve Enerji Tüketimindeki Rolü	18
2.4 Binalarda Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler	25
2.5 Binalarda Enerji Verimliliği İle İlgili Yasal Düzenlemeler	36
2.5.1 Avrupa’daki Yasal Düzenlemeler.....	36
2.5.2 Türkiye’deki Yasal Düzenlemeler	39
3. UYGULAMA ÇALIŞMASI	44
3.1 Çalışma Alanı ve Binaların Genel Özellikleri.....	44
3.2 Mevcut Enerji Tüketiminin İncelenmesi	49
3.2.1 Yıllık Toplam Doğalgaz ve Elektrik Tüketimleri.....	50
3.2.2 Bina Bazında Doğalgaz ve Elektrik Tüketimleri.....	53
3.2.3 Kampüs Binalarının Toplam Enerji Tüketimine Katkısı.....	61
3.3 Çalışma Kapsamında İncelenecek Binaların Seçilmesi ve Sınıflandırılması	64
3.4 Binaların Mevcut Durumları ile Modellenmesi	68
4. ENERJİ ETKİN İYİLEŞTİRME ÖNERİLERİ VE SONUÇLAR	110
4.1 Enerji Tasarruf Potansiyellerinin Belirlenmesi	116
4.1.1 Enerji Tasarruf Potansiyelinin Belirlenmesi: Mühendislik-Mimarlık Fakültesi.....	116
4.1.2 Enerji Tasarruf Potansiyelinin Belirlenmesi: Fen-Edebiyat Fakültesi.....	130
4.1.3 Enerji Tasarruf Potansiyelinin Belirlenmesi: Rektörlük.....	143
4.1.4 Enerji Tasarruf Potansiyelinin Belirlenmesi: Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu.....	157
4.2 Tasarruf Potansiyellerinin Bina Bazında Karşılaştırılması	169
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	178
6. KAYNAKLAR	182
7. EKLER	199

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Türkiye’de yükseköğretim öğrenci sayısındaki değişim (1994-2018).....	5
Şekil 1.2: İzlenen yöntemin özeti	9
Şekil 2.1: Mimaride sürdürülebilir tasarım ilkeleri	10
Şekil 2.2: Sürdürülebilir bir binanın ilke ve stratejileri	11
Şekil 2.3: Dünya birincil enerji tüketim oranlarının kaynak bazlı dağılımı (%)	12
Şekil 2.4: Türkiye’de toplam birincil enerji tüketimi	13
Şekil 2.5: Türkiye birincil enerji tüketim oranlarının kaynak bazlı dağılımı (%)	14
Şekil 2.6: Dünya nihai enerji tüketiminin sektörel dağılımı (%), 2015	15
Şekil 2.7: Türkiye nihai enerji tüketiminin sektörel dağılımı (%), 2014.....	16
Şekil 2.8: Türkiye’de sektörel enerji tüketiminin yıllara göre değişimi	16
Şekil 2.9: Sıcak-kurak ve sıcak-nemli iklim bölgesinde eğimli arazi parçasına yerleşim	28
Şekil 2.10: Binalar arası uzaklıkların belirlenmesi.....	29
Şekil 3.1: Çağış Kampüs haritası.....	45
Şekil 3.2: Kampüste yıllık bina oranları	46
Şekil 3.3: 2008-2017 yılları arası yıllık toplam tam zamanlı öğrenci sayısı	48
Şekil 3.4: 2017 yılı bina bazında öğrenci sayıları.....	48
Şekil 3.5: 2008-2017 yılları arası yıllık toplam personel sayısı	49
Şekil 3.6: Toplam yıllık doğalgaz tüketimi (m ³)	51
Şekil 3.7: Kişi başına düşen yıllık doğalgaz tüketimi (m ³ /Kişi).....	52
Şekil 3.8: Toplam yıllık elektrik tüketimi (kWh)	52
Şekil 3.9: Kişi başına düşen yıllık elektrik tüketimi (kWh/Kişi)	53
Şekil 3.10: Bina bazında toplam doğalgaz tüketimi-m ³ (2008-2017)	54
Şekil 3.11: 2017 yılı bina bazında toplam doğalgaz tüketimi (m ³)	54
Şekil 3.12: Bina bazında toplam elektrik tüketimi-kWh (2008-2017)	55
Şekil 3.13: 2017 yılı bina bazında toplam elektrik tüketimi (kWh)	56
Şekil 3.14: Birim alan başına düşen doğalgaz tüketimi (m ³ /m ²) (2008-2017)	57
Şekil 3.15: Birim alan başına düşen elektrik tüketimi (kWh/m ²) (2008-2017).....	57
Şekil 3.16: 2017 yılı bina bazında birim alana düşen doğalgaz tüketimi (m ³ /m ²)	58
Şekil 3.17: 2017 yılı bina bazında birim alana düşen elektrik tüketimi (kWh/m ²) ...	59
Şekil 3.18: 2017 yılı bina bazında kişi başına düşen doğalgaz tüketimi (m ³)	60
Şekil 3.19: 2017 yılı bina bazında kişi başına düşen elektrik tüketimi (kWh).....	60
Şekil 3.20: 2018 yılı Balıkesir iline ait aylık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri	71
Şekil 3.21: 2018 yılı Balıkesir ili aylık ortalama yağış miktarı.....	72
Şekil 3.22: 2018 yılı Balıkesir ili aylık maksimum ve ortalama rüzgâr hızı	72
Şekil 3.23: Balıkesir iline ait hâkim rüzgâr yönü	73
Şekil 3.24: 2018 yılı Balıkesir ili aylık ortalama nem ve sis oranı.....	74
Şekil 3.25: M.M.F zemin kat planı ve ısıl bölgeleme.....	76
Şekil 3.26: M.M.F binası DesignBuilder programında tanımlanan HVAC sistemi	81
Şekil 3.27: M.M.F binası gerçek ve teorik doğalgaz tüketimleri	84
Şekil 3.28: M.M.F ve Rektörlük binalarının gerçek ve teorik elektrik tüketimleri ...	86
Şekil 3.29: F.E.F zemin kat planı ve ısıl bölgeleme	88

Şekil 3.30: F.E.F binasının DesignBuilder programında tanımlanan HVAC sistemi	91
Şekil 3.31: F.E.F binası gerçek ve teorik doğalgaz tüketimleri.....	92
Şekil 3.32: F.E.F binası gerçek ve teorik elektrik tüketimleri.....	93
Şekil 3.33: Rektörlük zemin kat planı ve ısı bölgeleme	95
Şekil 3.34: Rektörlük binasının DesignBuilder programında tanımlanan HVAC sistemi	99
Şekil 3.35: Rektörlük binası gerçek ve teorik doğalgaz tüketimleri.....	100
Şekil 3.36: B.E.S.Y.O zemin kat planı ve ısı bölgeleme	102
Şekil 3.37: B.E.S.Y.O binasının Design Builder programında tanımlanan HVAC sistemi	107
Şekil 3.38: B.E.S.Y.O binasının gerçek ve teorik doğalgaz tüketimleri	108
Şekil 3.39: B.E.S.Y.O binasının gerçek ve teorik elektrik tüketimleri.....	109
Şekil 4.1: Çeşitli fan verimleri ve boyutları	115
Şekil 4.2: M.M.F binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık ısıtma enerjisi tasarruf oranları	117
Şekil 4.3: M.M.F binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları	118
Şekil 4.4: M.M.F binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık ısıtma enerjisi tasarruf oranları.....	119
Şekil 4.5: M.M.F binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları	120
Şekil 4.6: M.M.F binası pencere iyileştirme önerileri sonucunda yıllık ısıtma enerjisi tasarruf oranları.....	121
Şekil 4.7: M.M.F binası pencere önerileri sonucunda yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları	122
Şekil 4.8: M.M.F binası gölgelendirme elemanı önerileri sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranları	123
Şekil 4.9: M.M.F binası LED ampul kullanımı önerisi sonucunda aydınlatma enerjisi tasarruf oranı.....	124
Şekil 4.10: M.M.F binası fan iyileştirme önerisi sonucunda ısıtma için harcanan enerjiden tasarruf oranı	125
Şekil 4.11: M.M.F binası fan iyileştirme önerisi sonucunda soğutma için harcanan enerjiden tasarruf oranı	125
Şekil 4.12: M.M.F binası hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranı.....	126
Şekil 4.13: M.M.F binası hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranı	127
Şekil 4.14: M.M.F binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranı	128
Şekil 4.15: M.M.F binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranı	129
Şekil 4.16: F.E.F binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık ısıtma enerjisi tasarruf oranları.....	131
Şekil 4.17: F.E.F binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları	132
Şekil 4.18: F.E.F binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık ısıtma enerjisi tasarruf oranları.....	133
Şekil 4.19: F.E.F binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları	133

Şekil 4.20: F.E.F binası pencere iyileştirme önerileri sonucunda yıllık ısıtma enerjisi tasarruf oranları.....	135
Şekil 4.21: F.E.F binası pencere iyileştirme önerileri sonucunda yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları	136
Şekil 4.22: F.E.F binası gölgelendirme elemanı önerileri sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranları.....	136
Şekil 4.23: F.E.F binası gölgelendirme elemanı önerileri sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranları	137
Şekil 4.24: F.E.F binası LED ampul kullanımı önerisi sonucunda aydınlatma enerjisi tasarruf oranı.....	138
Şekil 4.25: F.E.F binası fan iyileştirme önerisi sonucunda ısıtma için harcanan enerjiden tasarruf oranı	139
Şekil 4.26: F.E.F binası fan iyileştirme önerisi sonucunda soğutma için harcanan enerjiden tasarruf oranı	139
Şekil 4.27: F.E.F binası hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranı.....	140
Şekil 4.28: F.E.F binası hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranı	141
Şekil 4.29: F.E.F binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranı	142
Şekil 4.30: F.E.F binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranı	143
Şekil 4.31: Rektörlük binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranları	145
Şekil 4.32: Rektörlük binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranları	146
Şekil 4.33: Rektörlük binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranları	147
Şekil 4.34: Rektörlük binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranları	147
Şekil 4.35: Rektörlük binası pencere iyileştirme önerileri sonucunda yıllık ısıtma enerjisi tasarruf oranları.....	149
Şekil 4.36: Rektörlük binası pencere iyileştirme önerileri sonucunda yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları.....	150
Şekil 4.37: Rektörlük binası gölgelendirme elemanı önerileri sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranları.....	150
Şekil 4.38: Rektörlük binası gölgelendirme elemanı önerileri sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranları.....	151
Şekil 4.39: Rektörlük binası LED ampul kullanımı önerisi sonucunda aydınlatma enerjisi tasarruf oranı	152
Şekil 4.40: Rektörlük binası fan iyileştirme önerisi sonucunda ısıtma için harcanan enerjiden tasarruf oranı	153
Şekil 4.41: Rektörlük binası fan iyileştirme önerisi sonucunda soğutma için harcanan enerjiden tasarruf oranı	153
Şekil 4.42: Rektörlük binası hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranı	154
Şekil 4.43: Rektörlük binası hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranı	155
Şekil 4.44: Rektörlük binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranı.....	156

Şekil 4.45: Rektörlük binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranı	157
Şekil 4.46: B.E.S.Y.O binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları.....	158
Şekil 4.47: B.E.S.Y.O binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan soğutma enerjisi tasarruf oranları	159
Şekil 4.48: B.E.S.Y.O binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları.....	160
Şekil 4.49: B.E.S.Y.O binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan soğutma enerjisi tasarruf oranları	161
Şekil 4.50: B.E.S.Y.O binası pencere iyileştirme önerileri sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları	162
Şekil 4.51: B.E.S.Y.O binası pencere iyileştirme önerileri sonucunda oluşan soğutma enerjisi tasarruf oranları	163
Şekil 4.52: B.E.S.Y.O binası gölgelendirme elemanı önerileri sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları	164
Şekil 4.53: B.E.S.Y.O binası LED ampul kullanımı önerisi sonucunda aydınlatma enerjisi tasarruf oranı	164
Şekil 4.54: B.E.S.Y.O binası fan iyileştirme önerisi sonucunda ısıtma için harcanan enerjiden tasarruf oranı	165
Şekil 4.55: B.E.S.Y.O binası fan iyileştirme önerisi sonucunda soğutma için harcanan enerjiden tasarruf oranı	166
Şekil 4.56: B.E.S.Y.O binasının sadece hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi ile oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranı	166
Şekil 4.57: B.E.S.Y.O binasının sadece hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi ile oluşan soğutma enerjisi tasarruf oranı.....	167
Şekil 4.58: B.E.S.Y.O binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranı.....	168
Şekil 4.59: B.E.S.Y.O binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranı	169
Şekil A.1: M.M.F binası bodrum kat planı ve ısı bölgeleme	200
Şekil A.2: M.M.F binası 1. ve 2. katlar planı ve ısı bölgeleme	201
Şekil A.3: M.M.F binası 3. kat planı ve ısı bölgeleme	201
Şekil A.4: M.M.F binası 4.,5.,6. ve 7. katlar planı ve ısı bölgeleme	202
Şekil B.1: F.E.F binası bodrum kat planı ve ısı bölgeleme	203
Şekil B.2: F.E.F binası 1.,2. ve 3. katlar planı ve ısı bölgeleme.....	204
Şekil B.3: F.E.F binası 4.kat planı ve ısı bölgeleme.....	204
Şekil B.4: F.E.F binası 5. ve 6. katlar planı ve ısı bölgeleme.....	205
Şekil C.1: Rektörlük binası bodrum kat planı ve ısı bölgeleme.....	206
Şekil C.2: Rektörlük binası 1. kat planı ve ısı bölgeleme	206
Şekil C.3: Rektörlük binası 2. kat planı ve ısı bölgeleme	207
Şekil C.4: Rektörlük binası 3.kat planı ve ısı bölgeleme	207
Şekil C.5: Rektörlük binası 4.kat planı ve ısı bölgeleme	208
Şekil C.6: Rektörlük binası 5.kat planı ve ısı bölgeleme	208
Şekil C.7: Rektörlük binası 6.kat planı ve ısı bölgeleme	209
Şekil D.1: B.E.S.Y.O binası bodrum kat planı ve ısı bölgeleme	210
Şekil D.2: B.E.S.Y.O binası 1.kat planı ve ısı bölgeleme	211
Şekil D.3: B.E.S.Y.O binası 2.kat planı ve ısı bölgeleme	211

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Türkiye’de yıllara göre yükseköğretim kurumu sayılarının değişimi (1984-2018).....	4
Tablo 2.1: Yeşil ölçümde dereceye giren üniversiteler.....	21
Tablo 2.2: Farklı iklim bölgelerine göre bina formları ve yönlendiriliş durumları	30
Tablo 3.1: Çağış Kampüs binalarına ait temel bilgiler.....	47
Tablo 3.2: Kampüs binalarının yıllık toplam doğalgaz tüketimine katkısı (%)	61
Tablo 3.3: Kampüs binalarının yıllık toplam elektrik tüketimine katkısı (%)	63
Tablo 3.4: Kampüs binalarının toplam (2008-2017) doğalgaz ve elektrik tüketimine katkısı (%)	64
Tablo 3.5: Doğalgaz tüketimine göre kümeleme analizi aracılığıyla binaların sınıflandırılması.....	65
Tablo 3.6: Doğalgaz tüketimine göre oluşturulan gruplar.	65
Tablo 3.7: Elektrik tüketimine göre kümeleme analizi aracılığıyla binaların sınıflandırılması.....	66
Tablo 3.8: Elektrik tüketimine göre oluşturulan gruplar.....	67
Tablo 3.9: ANOVA analizleri	67
Tablo 3.10: Mühendislik Mimarlık Fakültesi yapı elemanları malzeme bileşenleri.....	77
Tablo 3.11: Bina enerji simülasyon modelinin kalibrasyonu için kriter kabulleri	83
Tablo 3.12: M.M.F binası elektrik tüketimi 1 yıllık simülasyon sonuçları.....	85
Tablo 3.13: Rektörlük binası elektrik tüketimi 1 yıllık simülasyon sonuçları.....	85
Tablo 3.14: F.E.F binası elektrik tüketimi 1 yıllık simülasyon sonuçları	93
Tablo 3.15: Rektörlük binası yapı elemanları malzeme bileşenleri	96
Tablo 3.16: Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu yapı elemanları malzeme bileşenleri	103
Tablo 3.17: B.E.S.Y.O elektrik tüketimi simülasyon sonuçları.....	108
Tablo 4.1: Enerji tasarrufu stratejileri	110
Tablo 4.2: Derece gün bölgelerine göre önerilen U değerleri.....	111
Tablo 4.3: Duvar ve çatı önerilerine ait U değerleri	112
Tablo 4.4: Önerilen cam tipleri ve termofiziksel özellikleri	113
Tablo 4.5: Ampullerin güç tüketimi ve minimum parlaklık değerleri	114
Tablo 4.6: Mühendislik-Mimarlık Fakültesi toplam enerji tüketimi değişimi.....	129
Tablo 4.7: Fen-Edebiyat Fakültesi toplam enerji tüketimi değişimi.....	143
Tablo 4.8: Rektörlük binası toplam enerji tüketimi değişimi.....	157
Tablo 4.9: Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu toplam enerji tüketimi değişimi	169
Tablo 4.10: Duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması	170
Tablo 4.11: Çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması	171
Tablo 4.12: Pencere iyileştirme önerileri sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması	173

Tablo 4.13: Gölgeleme elemanı önerileri sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması.....	174
Tablo 4.14: Aydınlatma elemanı iyileştirme sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması.....	174
Tablo 4.15: Fan iyileştirme önerisi sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması	175
Tablo 4.16: Hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması	176
Tablo 4.17: Kombinasyonların uygulanması sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması.....	177

RESİM LİSTESİ

Sayfa

Resim 3.1: Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü.....	44
Resim 3.2: Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binası genel görünüşü.	75
Resim 3.3: M.M.F binasının DesignBuilder programında oluşturulan 3D modeli	76
Resim 3.4: M.M.F binasında bulunan mevcut aydınlatma elemanları.....	79
Resim 3.5: M.M.F binasında bulunan mevcut radyatör ve fan coil.	80
Resim 3.6: Fen-Edebiyat Fakültesi binası genel görünüşü	87
Resim 3.7: F.E.F binasının DesignBuilder programında oluşturulan 3D modeli	88
Resim 3.8: F.E.F binasında bulunan mevcut aydınlatma elemanları	90
Resim 3.9: F.E.F binasında bulunan radyatör ve fancoil	91
Resim 3.10: Rektörlük binası genel görünüşü.....	94
Resim 3.11: Rektörlük binasının DesignBuilder programında oluşturulan 3D modeli.....	96
Resim 3.12: Rektörlük binasında bulunan aydınlatma elemanı	98
Resim 3.13: Rektörlük binasında bulunan mevcut fan coil.....	99
Resim 3.14: Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binası genel görünüşü.....	101
Resim 3.15: B.E.S.Y.O binasının DesignBuilder programında oluşturulan 3D modeli	103
Resim 3.16: B.E.S.Y.O binasında bulunan aydınlatma elemanları.....	105
Resim 3.17: B.E.S.Y.O binasında bulunan radyatör ve fan coil	106
Resim 4.1: Derece gün bölgelerine göre illerimiz.....	111

SEMBOL LİSTESİ

CO₂	: Karbondioksit
kWh	: Kilowatt saat
m³	: Metreküp
m²	: Metrekare
S	: Toplam tüketime katkısı
B_{toplam}	: Bir binanın doğalgaz/elektrik tüketimi
n	: İncelenen bina sayısı
m_i	: Ölçülen gerçek değer
s_i	: Simüle edilmiş değer
N_p	: “p” aralığındaki verilerin sayısı
M_p	: Ölçülen gerçek değerlerin ortalaması
°C	: Santigrat
k	: Isıl iletkenlik katsayısı
U	: Toplam ısıl geçirgenlik değeri
D1	: Duvar 1
D2	: Duvar 2
D3	: Duvar 3
Ç1	: Çatı 1
Ç2	: Çatı 2
Ç3	: Çatı 3
P1	: Pencere 1
P2	: Pencere 2
P3	: Pencere 3
P4	: Pencere 4
P5	: Pencere 5
A1	: Aydınlatma sistemi
H1	: Fan coil sistemi
E1	: Gölgeleme elemanları 1
E2	: Gölgeleme elemanları 2
E3	: Hava sızdırmazlık değerinin düşürülmesi
Lümen	: Işık akısı

KISALTMALAR LİSTESİ

IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
GHG	: Sera Gazı Salımları
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
AB	: Avrupa Birliği
OECD	: The Organisation for Economic Co-Operation and Development
EIA	: Energy Information Administration
BREEAM	: Building Research Establishment's Environmental Assessment Method
USGBC	: United States Green Building Council
FAU	: Florida Atlantik Üniversitesi
STARS	: Sürdürülebilirlik İzleme Değerlendirme ve Derecelendirme Sistemi
AASHE	: Kuzey Amerika'da Yükseköğretimde Sürdürülebilirliğin Geliştirilmesi Derneği
CHP	: Combined Heat and Power
EPBD	: Energy Performance of Buildings Directive
BİT	: Bilgi ve İletişim Teknolojisi
TS825	: Türk Standartları 825
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
BEP	: Binalarda Enerji Performansı
EKB	: Enerji Kimlik Belgesi
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
M.M.F	: Mühendislik Mimarlık Fakültesi
F.E.F	: Fen Edebiyat Fakültesi
İ.İ.B.F	: İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
B.E.S.Y.O	: Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu
M.Y.O	: Meslek Yüksek Okulu
ANOVA	: Analysis of Variance
SPSS	: Sosyal Bilimler İçin İstatistik Programı
HVAC	: Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme
ASHRAE	: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers
MBE	: Ortalama Sapma Hatası
CVRMSE	: Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error
RMSE	: Root Mean Squared Error
SHGC	: Güneş enerjisi toplam geçirgenliği
FEG	: Fan Efficiency Grades

ÖNSÖZ

Öncelikle, zorlu tez sürecimde her zaman bana yol gösteren danışman hocam sayın Doç. Dr. Yusuf Yıldız'a göstermiş olduğu ilgi ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Binaların DesignBuilder programında HVAC sistemlerinin tanımlanması ve mevcut enerji tüketimlerine kalibrasyonu konusunda yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. İsmail Caner'e teşekkür ederim.

Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü binalarının mevcut doğalgaz ve elektrik tüketim değerlerine ulaştığım, AKSA Balıkesir Doğalgaz Dağıtım Şirketi ve Uludağ Elektrik Dağıtım Şirketi Balıkesir İşletme Müdürlüğü çalışanlarına teşekkür ederim.

Sadece tez sürecimde değil hayatımın tüm sürecinde desteklerini hep hissettiğim, bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan sevgili annem Münevvere Koçyiğit'e ve sevgili babam Muhittin Koçyiğit'e maddi ve manevi katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 2019

Merve KOÇYİĞİT

1. GİRİŞ

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC) göre, binalar 2010 yılında toplam küresel enerji kullanımının %32'sinden ve enerji ile ilgili sera gazı (GHG) salınımlarının %19'undan (elektrikle ilgili) sorumludur (IPCC, 2014, s. 675). Avrupa'da ise binalar toplam enerji kullanımının yaklaşık %40'ından ve sera gazı salınımlarının %36'sından sorumludur (European Commission, 2018).

Dünya genelinde toplam birincil enerji tüketimi, sanayileşme, teknolojinin gelişmesi ve nüfus artışı ile birlikte artmaya devam etmektedir (Şahin, 2013). Artan enerji talebi çoğunlukla fosil kökenli yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı hava kirliliği ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunlara neden olmaktadır (Perera, 2018). 1970'lerin başında yaşanan petrol kriziyle birlikte fosil kaynakların kullanımı endişe vermeye başlamıştır (Güçyeter, 2010). Bu yüzden artan enerji talebini karşılayabilmek için alternatif bir yol bulmak önemli hale gelmiştir. Gelişmiş ülkeler enerjinin verimli kullanılmasına yönelik çalışmalarında fosil kökenli yakıtların yerine rüzgâr, güneş, biyoyakıt gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı arttırmayı hedeflemektedirler (Şahin, 2013).

Dünya çapında toplam nihai enerji tüketiminin yaklaşık olarak üçte biri bina sektöründen (konut, ticari, kamu binaları, vb.) kaynaklanmaktadır. Enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan binalar, enerji ihtiyacını genellikle fosil kökenli yakıtlardan sağladığı için fosil yakıt kullanımında da önemli bir paya sahiptir (Güçyeter, 2010). Fosil yakıtların kullanımı sonucu oluşan CO₂ salınımlarının azaltılması ve çevre dostu sistemlerin kullanılması ile yapıları çevrenin zararlı etkilerini azaltmak için önlemler almak gerekmektedir (Dong, Kennedy and Pressnail, 2005).

Fosil kökenli enerji tüketiminin neden olduğu problemlerden bir tanesi de küresel iklim değişikliğidir. Bu nedenle küresel iklim değişikliğine karşı önlemler almak da gereklidir. Kyoto Protokolü (UN, 1998), sera gazı salınımlarını azaltmak, dünyanın iklim dengesinin bozulmasını önlemek ve fosil yakıtların tüketimini sınırlandırmak için düzenlemeler önermektedir. Kyoto Protokolü mümkün olduğunca

temiz ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılmasını tavsiye etmektedir (Güçyeter, 2010). 2015 yılı Aralık ayından itibaren ise Paris Anlaşması metni, Kyoto protokolünün yerini almıştır. Paris Antlaşması, 2015 yılında Paris'te düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) 21. Taraflar Konferansı'nda, 190'dan fazla ülke tarafından kabul edilmiştir (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2016). BMİDÇS çerçevesinde sera gazı salınımlarının azaltılmasına yönelik önlemleri içermektedir (Çamur, 2017). Bu antlaşmanın uzun dönemli hedefi, küresel sıcaklık artışının sanayi devrimi öncesine göre 2°C'nin altında tutulmasını sağlamaktır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2016). Bunu gerçekleştirmek, fosil kökenli yakıtların yerine yenilebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla mümkün olabilir. Paris Antlaşmasına katılan ülkemiz de 2030 yılına kadar sera gazı salınımlarını %21'e kadar azaltma taahhüdünde bulunmuştur (Artunç, 2017).

Artan enerji kullanımı ve bina sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonları tehdidi, enerjinin verimli kullanımını gerektirmektedir. Bu nedenle binalarda enerjinin verimli kullanılmasına yönelik yasal düzenlemelerde bulunmaktadır. Avrupa Birliği (AB) üye ülkelerinde binaların enerji verimliliğini destekleyen birçok yönerge ve yönetmelik yürürlüktedir (Concerted Action, 2013).

Bunların dışında ülkemizde bina kaynaklı enerji tüketiminin azaltılması ve daha verimli kullanılmasına yönelik çeşitli hedefler belirlenmiştir.

25 Şubat 2012'de resmi gazetede yayınlanan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nde "Binaların enerji taleplerini ve karbon emisyonlarını azaltmak, yenilenebilir enerji kaynakları kullanan sürdürülebilir çevre dostu binaları yaygınlaştırmak" ve "2010 yılındaki yapı stokunun en az dörtte biri (1/4) 2023 yılına kadar, sürdürülebilir yapı haline getirmek" konu başlıklı stratejik hedefler belirtilmiştir (Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, 2012)

Onuncu Kalkınma Planı Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi Programı Eylem Planı'yla da "binalarda enerji verimliliğini iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapılması, bazı mevcut uygulamaların yaygınlaştırılması ve örnek uygulamaların kamuoyuna duyurularak bilinç düzeyinin yükseltilmesi" hedeflenmektedir (Onuncu Kalkınma Planı, 2013).

1.1 Problemin Tanımı

Üniversiteler, yüksek düzeyde eğitim olanaklarının sunulduğu eğitim, sanayi, kültür ve konut alanlarındaki insanlar arasında çeşitli etkileşimlerden oluşan küçük bir toplum olarak adlandırılabilir (Bonnet, Devel, Faucher ve Roturier, 2002). Kampüsler, çok sayıda kullanıcısı, büyüklüğü ve bina sayıları nedeniyle küçük yerleşimler olarak kabul edilebilir. Üniversite yerleşimleri, çeşitli ihtiyaçlara ve binlerce kişiye hizmet eden karmaşık ve dinamik ortamlardır (Bates, 2011). Bu nedenle üniversite yerleşimleri bina sektörü içinde, alışveriş merkezleri, ofis binaları ve oteller ile birlikte başlıca enerji kullanıcıları arasında yer almaktadır. Üniversite kampüsleri ısıtma-soğutma tüketimini arttıran büyük binalarıyla ve 24 saat kullanılan kütüphane ve kafeleriyle, süreklilik arz eden enerji ihtiyacıyla enerji tüketiminde etkin bir paya sahiptir (Eby, 2017). Üniversite binaları sadece enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturmaz, aynı zamanda enerji tasarrufu sağlayacak ürünleri icat eden, kavramları geliştiren ve teknolojiyi oluşturan eğitim ve bilimsel araştırma merkezleridir (Han, Zhou ve Luo, 2015).

Üniversite kampüsleri içerisinde çeşitli fonksiyonlarda çok sayıda bina barındırmaktadır. Ofis binaları, oteller, öğrenci yurtları, restoranlar, mağazalar, spor tesisleri, eğlence kompleksleri, sağlık merkezleri, laboratuvarlar ve eğitim binaları ile birbirinden farklı özelliklere ve değişen enerji ihtiyaçlarına sahip birçok binayla birlikte küçük şehirler gibi davranmaktadır (Bates, 2011). Ölçekleri ve gelişme potansiyelleri sebebiyle de kentlerde önemli bir yerel sosyoekonomik etkiye sahiptir. Dünyadaki birçok önemli üniversite, neden olduğu çevresel olumsuz yükü fark etmiş ve kampüste yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi yoluyla bu etkiyi azaltmak için önlemler almış, aynı zamanda aşırı enerji tüketimi ve enerji verimliliği konusunda farkındalık yaratmaktadır (Hong, Kim, Lee and Jeon, 2011).

Ülkemizdeki üniversite sayılarının yıllara göre değişimine bakıldığında önemli bir artış görülmektedir. 1982 yılında üniversite sayısı 27 iken, 1992 yılında 24 yeni üniversitenin (23 devlet ve 1 vakıf) kurulmasıyla toplam üniversite sayısı 51'e ulaşmıştır. Ayrıca 1992 yılında vakıfların yükseköğretim kurumları açmalarına imkân sağlanmış ve sonrasında 22 vakıf ve 2 devlet üniversitesi kurulmuştur.

Böylece 2005 yılı sonrasında ülkemizdeki toplam üniversite sayısı 77 olmuştur (Yükseköğretim Kurulu, 2015).

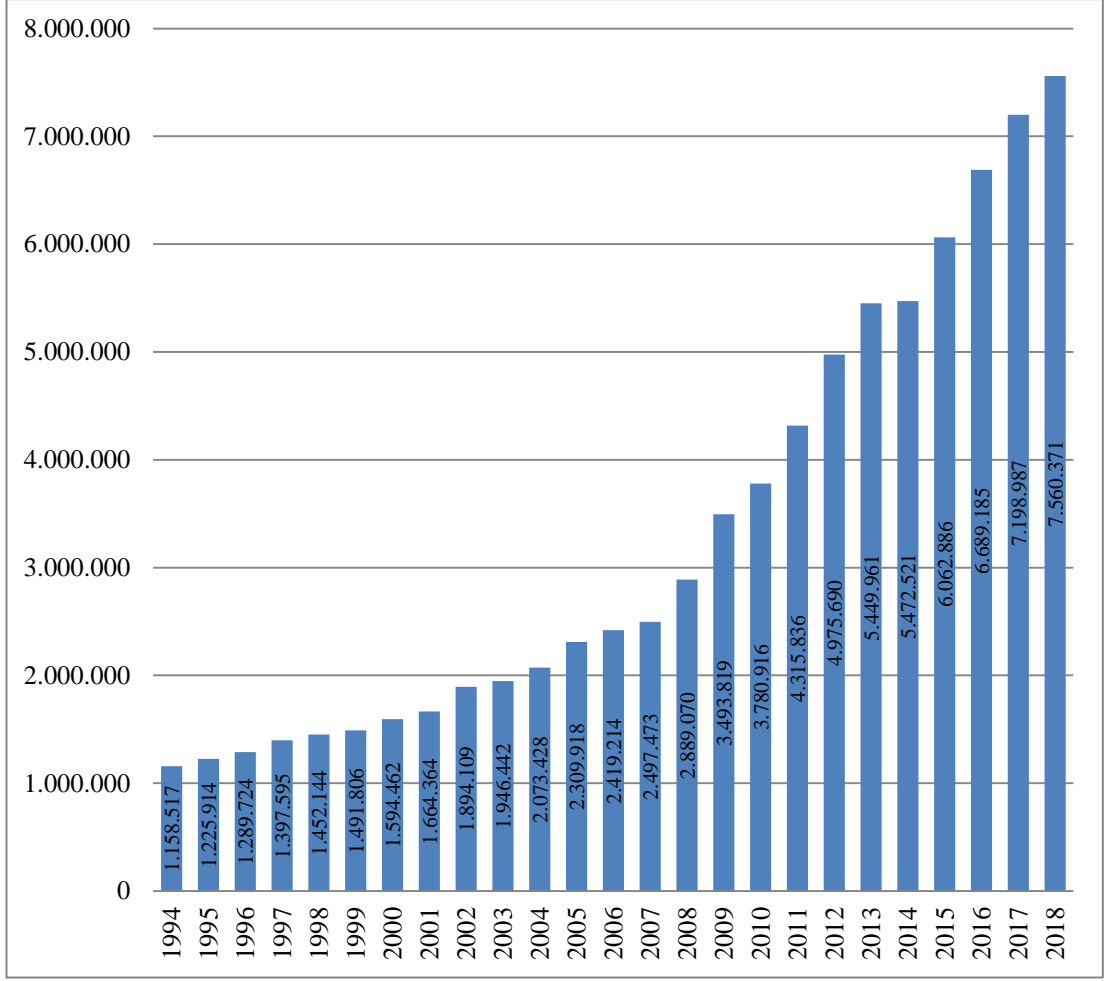
Yükseköğretim talebinin artması karşısında, üniversite sayılarındaki en büyük artış 2006 yılından itibaren özellikle de 2006-2008 yılları arasında gerçekleşmiştir (Çetinsaya, 2014). 2006 yılında 16 üniversite, 2007 yılında 23 yeni üniversitenin kurulmasıyla toplam üniversite sayısı 115 olmuştur (Yükseköğretim Kurulu, 2015).

Ekim 2015 sonu itibariyle ülkemizde toplam 185 üniversite (109 devlet ve 76 vakıf) mevcuttur. Bu sayıya vakıf meslek yüksekokulları da eklenirse yükseköğretim kurumu sayısı 193'e ulaşmaktadır (Yükseköğretim Kurulu, 2015). 2018 yılı itibariyle ülkemizde toplam üniversite sayısı 206 olmuştur (Yükseköğretim Kurulu, 2018). (Tablo 1.1).

Tablo 1.1: Türkiye’de yıllara göre yükseköğretim kurumu sayılarının değişimi (1984-2018).

YIL	DEVLET	VAKIF YÜKSEKÖĞRETİM KURUMLARI	VAKIF MYO	TOPLAM
1984	27	1	-	28
1994	53	3	-	56
2004	53	24	-	77
2011	103	62	6	171
2012	103	65	8	176
2013	104	71	8	183
2014	104	72	8	184
2015	109	76	8	193
2016	129	72	5	206
2017	129	72	5	206
2018	129	72	5	206

Ülkemizde üniversite sayılarının artmasıyla birlikte kayıtlı öğrenci sayılarında özellikle son yıllarda hızlı bir artış yaşanmaktadır (Şekil 1.1). 1982 yılında üniversitelere kayıtlı toplam öğrenci sayısı 281.539 iken 2018 yılı itibariyle 7,5 milyona ulaşmıştır. Son 10 yıllık dönemde üniversitelere kayıtlı öğrenci sayılarında hızlı bir artış görülmektedir (Çetinsaya, 2014).



Şekil 1.1: Türkiye’de yükseköğretim öğrenci sayısındaki değişim (1994-2018).

2010 yılı itibariyle Türkiye ile benzer nüfus ölçeklerine sahip ülkeler arasında yükseköğretim öğrenci sayıları kıyaslandığında Türkiye ilk sıralarda yer almaktadır (Çetinsaya, 2014).

Söz konusu verilerden anlaşıldığı üzere Türkiye’nin hızla büyüyen bir üniversite stoku oluşmaktadır. Bu kapsamda, hem yeni yapılacak üniversite binalarının daha verimli olması hem de mevcut binaların iyileştirilmesi ile önemli miktarda enerjinin tasarruf edilebileceği söylenebilir. Ayrıca üniversite kampüsleri/binaları, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ve yerinde üretim açısından da önemli bir potansiyel barındırmaktadır. Bu yüzden, özellikle yüksek öğrenci sayısına sahip olan üniversite kampüsleri, enerji tüketimi ve karbon salınımını azaltma stratejilerini araştırmak için uygun yerlerdir. Doğru enerji tasarrufu uygulamaları ile enerji tüketimleri ve karbondioksit salınımları düşürülebilir, ciddi miktarda mali tasarruflar yapılabilir. Ayrıca enerji etkin

kampüsler ve binalar sayesinde, daha konforlu ve daha sağlıklı iç mekân koşullarıyla gelişmiş öğrenme ortamı ve öğrenci performansında iyileşme sağlanabilir (Bates, 2011). Üniversite sayıları göz önüne alındığında eğitim binalarında ki enerji tüketimi, ülkenin toplam enerji tüketimi içinde önemli bir bölümünü temsil edebilir ve aynı zamanda kamu bütçesindeki maliyetlerin artmasına neden olabilirler.

Ülkemizdeki üniversite ve üniversitelere kayıtlı olan öğrenci sayılarındaki artışa bakıldığında üniversite kampüslerinde enerji planlamasının önemli olduğu ve ilerleyen yıllarda daha da önemli hale geleceği söylenebilir. Enerji verimliliği yüksek olan üniversite kampüsleri ve binaları gelecek için öncülük edeceklerdir. Bu nedenle günümüzde enerji etkin kampüs planlaması ve bina tasarımı bir zorunluluk haline gelmektedir.

Dünyada enerjinin verimli kullanıldığı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edildiği çeşitli yeşil kampüs uygulamaları mevcuttur ve bu sayede ülkelerin sürdürülebilirlik kavramını eğitimin içine dahil ettikleri ve kampüste olumlu bir şekilde düşük karbon faaliyetlerini gerçekleştirdikleri görülmektedir (Hough, 2010). Ayrıca birçok ülkede enerji tasarrufu odaklı kampüs oluşturulması ve geliştirilmesine yönelik benzer çalışmalar yapılmaktadır. Fakat ülkemizde üniversite binalarında enerji tasarrufu ile ilgili çalışmalara çok fazla rastlanılmamaktadır. Bu durum problemin önemini ve aciliyetini daha da arttırmaktadır.

1.2 Çalışmanın Amacı

Binalarda enerji tasarrufu, son yıllarda büyük bir önem arz etmektedir. Mevcut bir binanın enerji tasarruf potansiyelini belirlemek, binanın özelliklerinden yola çıkarak oluşan ya da enerji sayaçlarından edinilen enerji tüketim verilerini değerlendiren bir yaklaşım aracılığıyla mümkün olabilir. Mevcut binaların enerji tasarruf potansiyelini, kendi içsel enerji tüketim modellerini analiz ederek ve kullanımla ilgili özellikleri dikkate alarak incelemek gerekir. Ayrıca, üniversite kampüslerindeki enerji kullanımının anlaşılması, enerji verimliliğinin nasıl arttırılacağına belirlenmesi ve kampüs binalarına yönelik iyi bir enerji planlaması yapılması için önemli bir önkoşuldur (Brown, Anderson ve Harris, 2002; Evangelinos, Jones ve Panoriou, 2009). Üniversite binalarında enerji kullanımını

azaltmak için alternatiflerin araştırılması, ülkenin zaman içinde sürdürülebilirliği ve ekonomik gelişimi için önemli bir yaklaşımdır (Mytafides, Dimoudi ve Zoras, 2017).

Bu çalışmanın amacı öncelikle, enerji tüketim verilerini kullanarak, Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsündeki binaların mevcut enerji tüketimini analiz etmek ve toplanan bilgilerle binaların enerji tüketim trendlerini ve nedenlerini ortaya koymaktır. Daha sonra ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimini önemli ölçüde azaltma hedefine yönelik stratejiler belirleyip simülasyonlar yardımıyla enerji tasarrufu potansiyellerini incelemek ve değerlendirmektir. Bu nedenle, Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsünde bulunan mevcut binaların enerji tüketim trendi kullanımla ilgili özellikleri göz önüne alınarak incelenmiştir. Bu çalışma genel anlamda, ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimini önemli ölçüde azaltma hedefi ile enerji tasarrufu ve etkileri için potansiyel fırsatları analiz etmeye çalışmaktadır.

Ayrıca binaların oluşturulan enerji tüketim modelleri, gelecekteki bina planlamasında yardımcı olabilir; benzer binalar için en olası enerji tüketimi hakkında faydalı bilgiler sağlayabilir veya farklı şartlarda enerji tüketimini tahmin edebilir. Ayrıca bu modeller, olası enerji tasarrufu önlemlerinin etkilerini görmek ve enerji harcamalarını azaltmanın en uygun yolunu bulmak için kullanılabilir.

1.3 Çalışmanın Kapsamı

Balıkesir Üniversitesi, bu tez için yukarıda ifade edilen birçok nedenden dolayı araştırma konusu olarak seçilmiştir. Ülkemizde üniversite kampüslerinde enerji tasarruf potansiyelini araştıran benzer yapılmış çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca bir üniversite kampüsü, geleceğin enerji kullanıcılarını etkileyen önemli bir yerdir.

Bu çalışma kapsamında, Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsünde bulunan 4 üniversite binası seçilmiş ve incelenmiştir. Mevcut binaların ısıtma ve soğutma amaçlı enerjiyi daha verimli kullanması için yapılabilecek iyileştirme önerileri irdelenmiş ve mevcut binalar üzerinde uygulanarak enerji tasarruf potansiyelleri tespit edilmiştir.

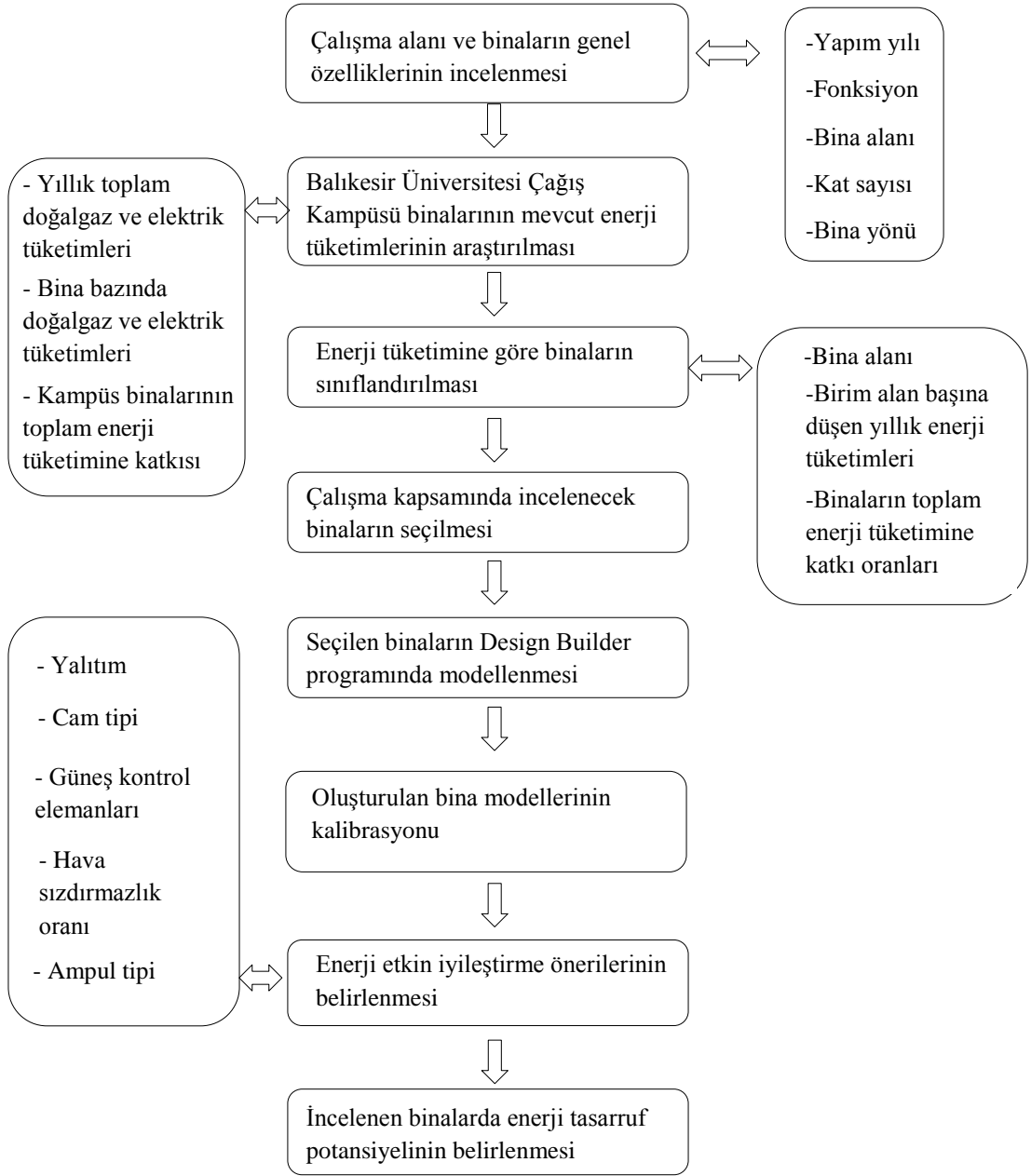
1.4 Çalışmanın Yöntemi

Çalışmanın yöntemi Şekil 1.2’de özetlenmiştir. Tez çalışmasında öncelikle literatür taraması yapılarak, konuyla ilgili daha önce yapılmış çalışmalar (makaleler, bildiriler, tezler, vb.) incelenmiştir.

Daha sonra Balıkesir Üniversitesi, Çağış Kampüsünde bulunan binalarda enerji tüketimleri (doğalgaz ve elektrik) açısından mevcut durum tespiti yapılmıştır. Binaların mevcut durum tespitinde yapım yılları, bina tipleri, bina alanları, kat sayıları, öğrenci sayıları, enerji tüketim değerleri gibi bilgiler belirli bir sistematik içinde değerlendirilmiştir ve bu bilgiler ışığında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Yapılan bu analizler, tüm kampüsü temsil edebilecek binaları seçmek için kullanılacaktır. Çağış Kampüsü’nde bulunan binaların alanları, birim alan başına düşen doğalgaz ve elektrik tüketimleri ve binaların genel olarak enerji tüketimlerine katkısı dikkate alınarak bir sınıflandırma yapıldıktan sonra enerji tasarruf potansiyeli incelenecek binalar seçilmiştir. Seçilen binalar enerji performansı değerlendirme aracı olan DesignBuilder isimli simülasyon programı kullanılarak mevcut durumları itibarıyla modellenmişlerdir. Bir yıllık enerji simülasyonu yapılan modeller, simülasyon sonuçlarına göre binaların gerçek tüketim değerleri kullanılarak kalibre edilmiştir.

Daha sonra binaların enerji tüketimini azaltacak enerji verimliliği ölçütleri seçilmiş ve her bir ölçüt için seçenekler tanımlanmıştır. Yalıtım durumuna, hava sızdırmazlık oranlarına, cam ve ampul tipine, fan verimine ve güneş kontrol elemanlarına bağlı bireysel ve kombine iyileştirme önerileri tanımlanmış ve mevcut enerji performansına etkileri incelenmiştir. Çıkan sonuçlar değerlendirilerek ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimi açısından tasarruf miktarı karşılaştırılarak yorumlanmış ve enerji tasarruf potansiyelleri belirlenmiştir.



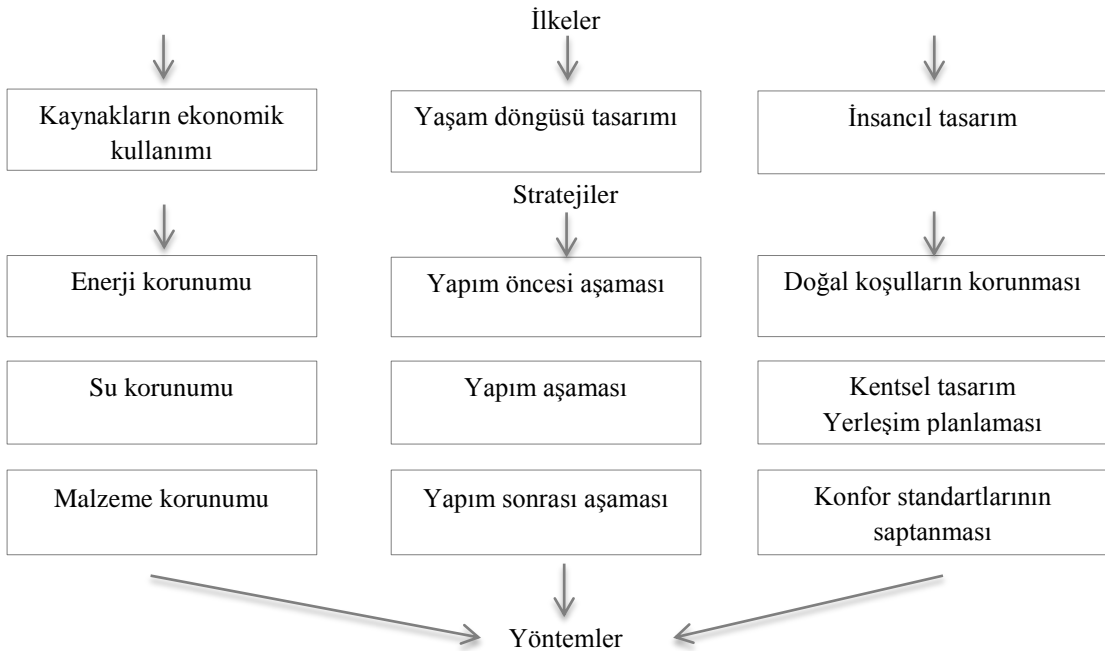
Şekil 1.2: İzlenen yöntemin özeti.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Sürdürülebilir Mimarlık ve Enerji Verimliliği

Sürdürülebilir mimarlık, içinde bulunduğu koşullarda ve var olduğu her dönemde, gelecek nesilleri de dikkate alarak yapılar ortaya koyma bilincini temel alan bir kavramdır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına öncelik veren, çevreye saygılı, malzemeyi, suyu, enerjiyi ve bulunduğu alanı etkin şekilde kullanan, insanların sağlık ve konforunu temel alan tasarım ilkeleri sürdürülebilir mimarlık kapsamındadır (Sev, 2009).

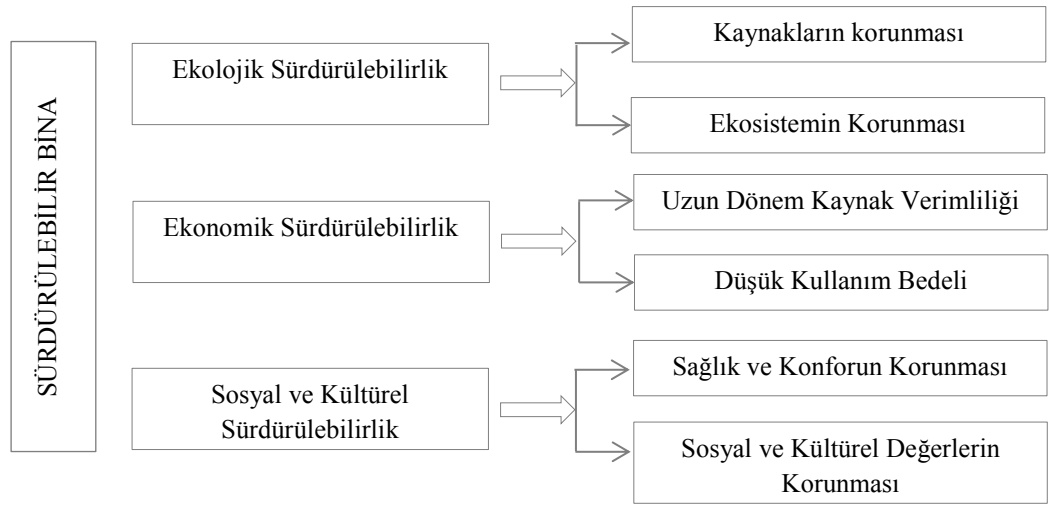
Kim ve Rigdon, çevre bilincini oluşturmak, bina ekosistemini açıklamak, sürdürülebilir binaların nasıl tasarlanacağını öğretmek için kavramsal bir çerçeve geliştirmişlerdir. Mimaride sürdürülebilir tasarım için geliştirilen bu çerçeve, Şekil 2.1 'de görüldüğü gibi, ilkeler, stratejiler ve yöntemler olmak üzere 3 temel aşamadan oluşmaktadır. Mimaride sürdürülebilir tasarım ilkeleri de, kaynakların ekonomik kullanımı, yaşam döngüsü tasarımı ve insancıl tasarım başlıkları altında ele alınmaktadır (Kim ve Rigdon, 1998).



Şekil 2.1: Mimaride sürdürülebilir tasarım ilkeleri (Kim ve Rigdon, 1998).

Kaynakların ekonomik kullanımı, bir binaya ait doğal kaynakların azaltılması, yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesi ile ilgilidir. Yaşam Döngüsü Tasarımı, yapı sürecini ve yapının çevre üzerindeki etkisini analiz etmek için bir yöntem sağlar. İnsancıl Tasarım, insanlarla doğal yaşam arasındaki etkileşim üzerine odaklanır. (Kim ve Rigdon, 1998)

Benzer bir yaklaşım olarak Soysal, sürdürülebilir bina tasarım ilkelerini, ekolojik, ekonomik, sosyal ve kültürel sürdürülebilirlik boyutlarıyla ele almıştır. Şekil 2.2’de sürdürülebilir bir binanın ilke ve stratejileri ifade edilmektedir. (Soysal, 2008)



Şekil 2.2: Sürdürülebilir bir binanın ilke ve stratejileri (Soysal, 2008).

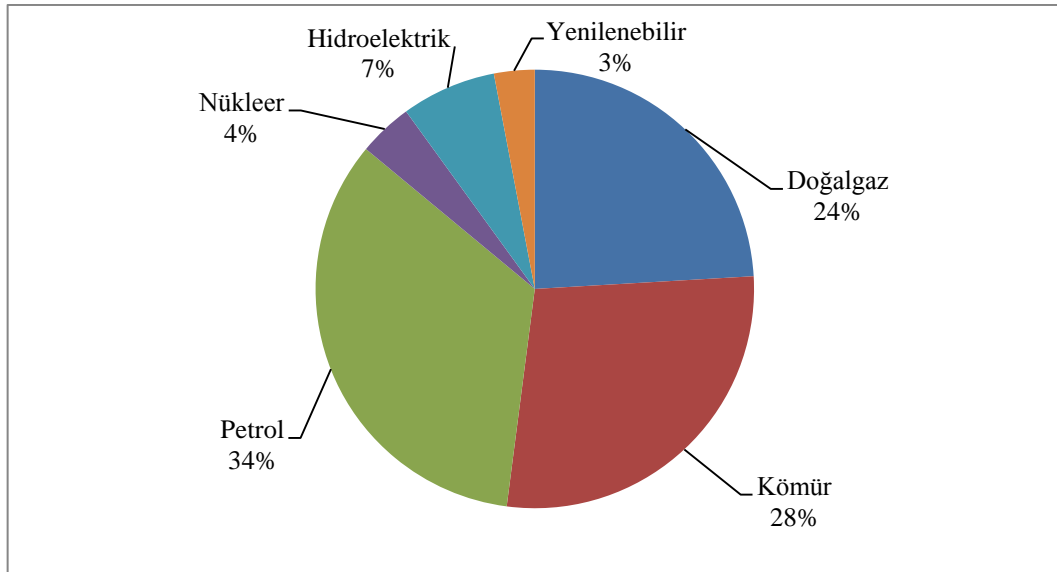
Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi, bir bina sürdürülebilir olabilmesi için birçok koşulu sağlaması gerekmektedir.

2.2 Dünyada ve Türkiye’de Enerji Tüketimi

Enerji kavramı bilimsel olarak, iş yapabilme yeteneği ya da kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Satman, 2006) ve ekonomi ve sosyal refahın temel kilometre taşları arasındadır (Şahin, 1994). Diğer bir deyişle enerji, canlıların hayatta kalabilmesi için temel bir gerekliliktir. Enerji kelimesi teknik olarak yunanca “en(internal)” ve “ergon(iş)” kelimelerinin birleşmesinden oluşmuştur. Bu da iş yapabilme yeteneği anlamına gelmektedir (Şen, 2002).

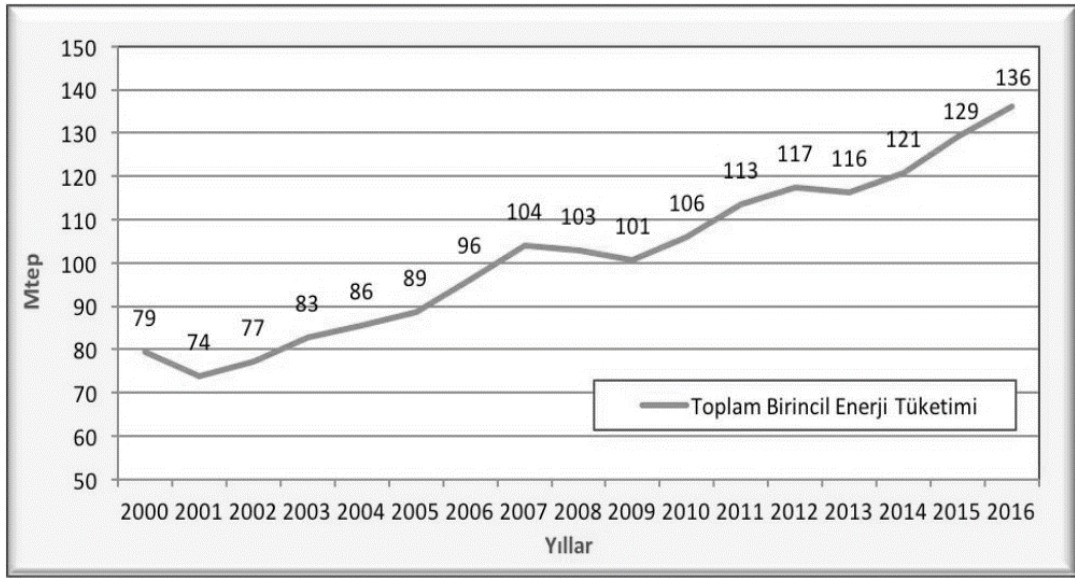
Enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları olmak üzere 2'ye ayrılır. Birincil enerji kaynakları, doğada bulunduğu şekli üzerinde herhangi bir işlem veya dönüşüm yapılmaksızın kullanılabilen enerji kaynaklarıdır (Başol, 1994). İkincil enerji kaynakları, birincil enerji kaynaklarının belirli işlemlerden geçtikten sonra elde edilen enerji kaynaklarıdır (Başol, 1994). Birincil enerji kaynakları, enerjinin yeniden kullanılabilir olup olmadığına bağlı olarak yenilenebilir ve yenilenemez enerji olarak sınıflandırılır. Yenilenebilir enerji, neredeyse sonsuz olduğu düşünülen, doğal kaynaklardan üretilen ve sürekli olarak tekrar kullanılabilen enerji türüdür. Örneğin, güneşten gelen güneş enerjisi elektrik ve ısı enerjisine dönüştürülebilir. Rüzgâr enerjisi, yerküreden gelen jeotermal enerji, bitkilerden elde edilen biokütle ve sudan elde edilen hidroelektrik enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarına örnektir. (Akbalık ve Kavcıoğlu, 2013) Yenilenemez enerji kaynakları ise kömür, petrol, doğalgaz ve nükleer gibi fosil kökenli yakıtlardır.

Dünya enerji tüketiminin çoğunu fosil kökenli enerji kaynakları oluşturmaktadır. 2016 yılı verilerine göre dünya birincil enerji tüketiminde %85,5 oranında fosil yakıtlara bağımlıdır (Makine Mühendisleri Odası, 2017). Dünya genelinde tüketilen enerji çeşitleri sıralamasında ilk sırayı petrol almakta olup, devamında sırasıyla kömür ve doğalgaz gelmektedir (Şekil 2.3) (Karagöl ve Kavaz, 2017).



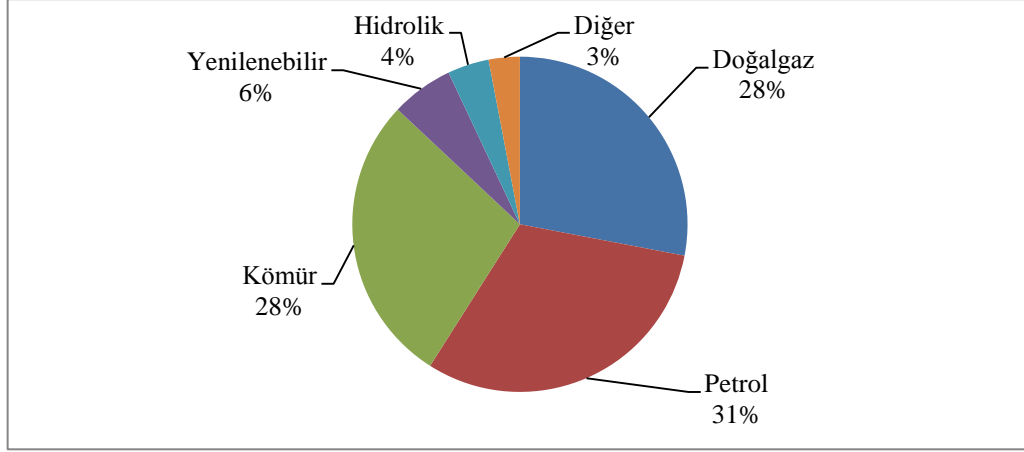
Şekil 2.3: Dünya birincil enerji tüketim oranlarının kaynak bazlı dağılımı (%), 2016 (BP, 2017).

Dünyada ve dünyanın en büyük 18. ekonomisi olan Türkiye’de, birincil enerji tüketiminde artış yaşanmaktadır. 2000 yılına göre kıyaslandığında 2016 yılındaki artış oranı %71,5’dir (Şekil 2.4). Hızlı kentleşme, nüfusun artışı, ekonomik gelişme ve kişi başına düşen gelir artışı gibi nedenler enerji talebini artırmaktadır (Kaplan, 2015). Türkiye, son on yılda ekonomik büyümesine paralel olarak, dünyadaki OECD (The Organisation for Economic Co-operation and Development) ülkeleri arasında enerji talebi artış oranı en yüksek ülkelerden biridir (Aksoy-Ercümen, 2016). Ayrıca, Türkiye, Çin’den sonra elektrik ve doğal gaz talebi üzerine dünyanın en büyük ikinci ekonomisi olmuştur (Kaplan, 2015).



Şekil 2.4: Türkiye’de toplam birincil enerji tüketimi (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı/Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2018).

Türkiye artan bu enerji talebini çoğunlukla petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kökenli enerji kaynaklarından karşılamaktadır. Ön plana çıkan bu üç kaynağın toplam birincil enerji tüketimindeki payı büyük ve 2016 yılı için payları toplamı %87,3’tür (Şekil 2.5) (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı/Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2018). Enerji ihtiyacını karşılamak için petrol ve doğalgaz gibi birincil enerjinin büyük bir kısmını da ithal etmek zorundadır. Türkiye enerjide %72,5 oranında dışa bağımlıdır (Aksoy-Ercümen, 2016).



Şekil 2.5: Türkiye birincil enerji tüketim oranlarının kaynak bazlı dağılımı (%), 2016 (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı/Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2018).

Fosil kökenli enerji kaynaklarının, artan enerji talebini sonsuza kadar karşılayamayacağı bir gerçektir. Petrol rezervlerinin 2030-2050, doğalgaz 40-50 ve kömürün 150-200 yılda tükenebileceği tahmin edilmektedir (Namlı, 2015).

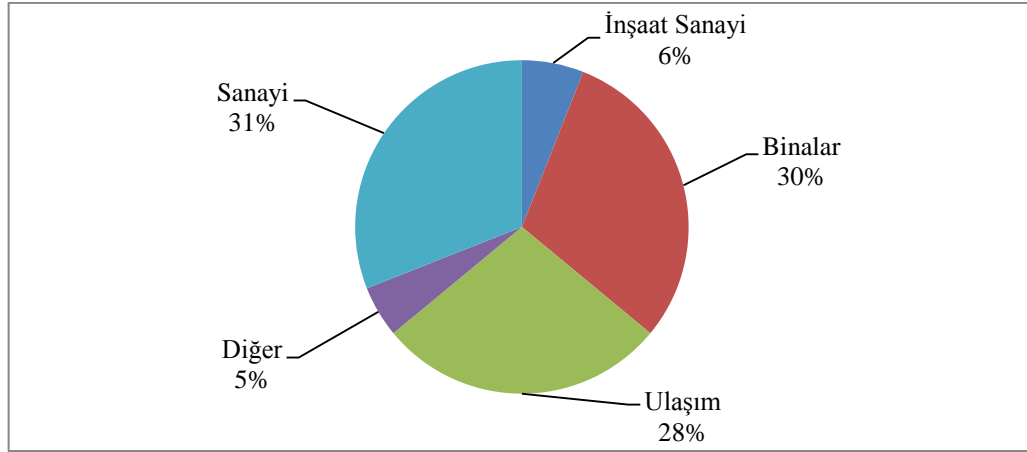
Ayrıca fosil kökenli enerji kaynaklarının kullanımı, CO₂ gibi zararlı gazların atmosfere salınmasına neden olmaktadır. Bu nedenle çevre kirliliğine ve küresel ısınmaya yol açmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, yerel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının maksimum ölçüde kullanılması ve buna yönelik ilerlemelerin geliştirilmesi en üst düzeyde öneme sahiptir.

Türkiye, içinde bulunduğu coğrafi konumu ve jeopolitik yapısı sebebiyle çok zengin yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir (Karagöl ve Kavaz, 2017). Yenilenebilir enerji, Türkiye'nin enerji gündeminde önemli konulardan biri haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji alanında yapılan önemli ilerleme, 2005 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılmasına dair kanunun (Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, 2005) yürürlüğe girmesinden sonra başlamıştır. 2017 yılında ise ülkemiz, 2023 yılına kadar yenilenebilir enerjinin sıkı bir şekilde planlanması ve geliştirilmesi için Ulusal Yenilenebilir Enerji Planı'nı ilan etmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2018). Ulusal Yenilenebilir Enerji Planı, 23 Nisan 2009 tarihli 2009/28/EC Avrupa Parlamentosu yönergeleri uyarınca hazırlanmıştır ve yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimi ve tüketimini destekleme üzerine odaklanmıştır. Temel hedef 2017-2023 döneminde Türkiye'nin

birincil enerji tüketiminin kümülatif olarak 23,9 MTEP azaltılmasıdır. Ayrıca 2023 yılına kadar ülkenin toplam kurulu gücü içindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının payını yüzde 30'a yükseltmektir (Kaplan, 2015).

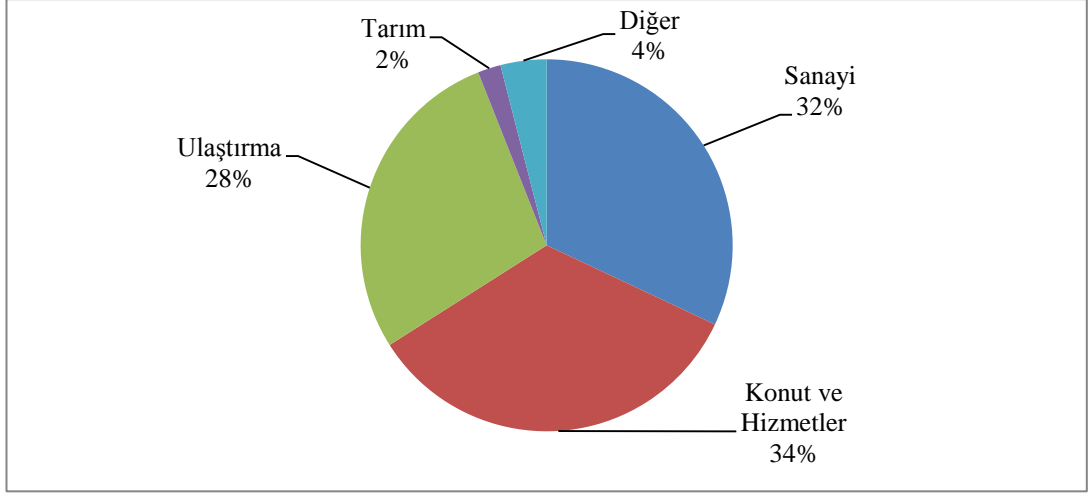
Yenilenebilir enerji kaynakları, sadece Türkiye değil dünya için de gelecek yaşamın kilit noktası olarak kabul edilmiştir (Akpınar, Kömürcü, Kankal, Özölçer ve Kaygusuz, 2008). Bu kaynakların kullanımı önemli çevresel faydalar sağlayacaktır. Ülkelerin ekonomilerine de katkı sağlayacağı düşünüldüğünde dünyada ve Türkiye’de enerjinin etkin ve tasarruflu kullanılması büyük öneme sahiptir (Namlı, 2015).

Dünya genelinde hızla artan enerji tüketimi, ağır çevresel etkiler (ozon tabakasının incilmesi, küresel ısınma, iklim değişikliği, vb.) ve enerji kaynaklarının tükenmesi üzerine endişeleri artırmıştır. Enerji tüketimi farklı sektörlerde gerçekleşmektedir: Sanayi, konut, ulaşım ve diğer sektörler (tarım, hizmet sektörü, vb.). Bu sektörler arasında enerji tüketiminin dağılımı Şekil 2.6’da görülmektedir (International Energy Agency, 2017). 2015 yılı verilerine göre dünya genelinde enerjinin %37’si sanayi sektörü, %30’u bina sektörü ve %28’i ulaşım sektöründe tüketilmiştir.



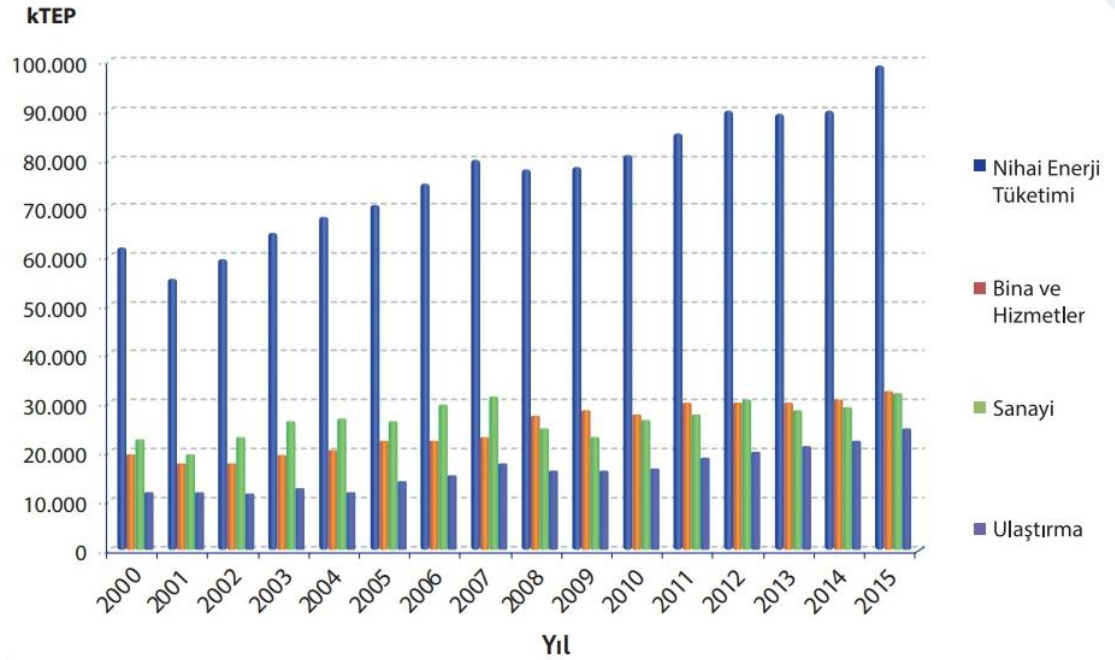
Şekil 2.6: Dünya nihai enerji tüketiminin sektörel dağılımı (%) 2015 (International Energy Agency, 2017).

Türkiye’de nihai enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı incelendiğinde ise; 2014 yılı tüketimin %34’ü konut ve hizmet sektöründe, %32’si sanayi sektöründe ve %28’i ulaştırma sektöründe gerçekleşmektedir (Şekil 2.7) (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016).



Şekil 2.7: Türkiye nihai enerji tüketiminin sektörel dağılımı (%) 2014 (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016).

Türkiye’de nihai enerji tüketiminin sektörler arası dağılımının yıllara göre değişimi Şekil 2.8’de görülmektedir. 2000 yılına kıyasla 2015 yılı nihai enerji tüketiminde sanayi sektörü %31, ulaştırma sektörü %106, bina sektörü ise %64 artmıştır (Yılmaz, 2017). Türkiye nihai enerji tüketiminde, 2008 yılından önceki yıllarda sanayi sektörü en fazla paya sahipken, 2008 yılı itibariyle çoğunlukla bina sektörü en fazla paya sahip olmuştur.



Şekil 2.8: Türkiye’de sektörel enerji tüketiminin yıllara göre değişimi (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2018).

Dünya elektrik enerjisinin de yaklaşık olarak % 60'ı konut ve ticaret yapılarında tüketilmektedir (Ürge-Vorsatz, 2014). Binalarda enerji, çoğunlukla ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, iletişim, eğlence, sağlık, hijyen ve yemek pişirme gibi hizmetlerin sağlanmasında kullanılır. Ayrıca, binaların inşası, işletilmesi, bakımı, yıkımı ve altyapı hizmetlerinin sağlanması da enerji gerektirir ve binalar, dünya çapında enerji tüketiminin önemli bir payını oluşturur (Ürge-Vorsatz, 2014). Nüfus artışı, bina fonksiyonlarına ve iç mekân çevre kalitesine olan talebin artması, bina içerisinde geçirilen zamanın artışı ve küresel iklim değişikliği gibi nedenlerle, binalarda enerji tüketimi son on yılda önemli ölçüde artmıştır (Cao, Xilei ve Liu, 2016).

Binalarda enerji tüketimi, genellikle yapı elemanlarının termo-fiziksel özellikleri, HVAC sisteminin kalitesi ve bakımı, yapının teknik detayları, binanın bulunduğu konumun iklimsel özellikleri, kullanıcıların davranışları ve enerji kullanımına yönelik faaliyetleri ile ilgilidir (Delzende, Wu, Lee ve Zhou, 2017). Çoğunlukla, gelişmiş ülkelerdeki binalar gelişmekte olan ülkelerdekinden daha fazla enerji tüketmekte ve yeni cihazların (klima, bilgisayar, vb.) kurulması nedeniyle artmaya devam edeceği beklenmektedir (Lombard, Ortiz ve Pout, 2008).

EIA (Energy Information Administration), Uluslararası Enerji Görünümü'nde, gelecekteki bina enerji tüketim eğilimlerini analiz ve tahmin eden bir kuruluştur (Energy Information Administration, 2006). EIA dünyada binalarda enerji tüketiminin, 2012'den 2040'a kadar yılda ortalama %1,5 oranında artacağını öngörmektedir (Energy Information Administration, 2016). Dünya genelinde binalarda enerji talebi artışının 2035 yılı itibarıyla %30 civarında olacağı beklenmektedir (International Energy Agency ve United Nations Development Programme, 2015). Ancak, tüm ülkelerin enerji verimli ve düşük karbonlu bina teknolojileri uygulamaya odaklandığında, bina sektöründe artan enerji talebinin 2060 yılına kadar düşebileceği ifade edilmektedir (International Energy Agency, 2018).

2.3 Üniversite Kampüsleri ve Enerji Tüketimindeki Rolü

Üniversite kampüsleri, çeşitli kullanım amaçlarına (ofis, laboratuvar, sınıflar vb.) sahip farklı nitelik ve büyüklükte birçok binadan oluşan arazisiyle, küçük ölçekli bir yerleşim yerini temsil etmektedir (Sretenovic, 2013). Üniversite kampüsleri, gelişen yükseköğrenimle beraber önemli enerji tüketimine sahiptir (Kim, Jung, Seok ve Yang, 2010). İstatistiklere göre üniversite kampüsündeki kişi başına ve birim alan başına düşen enerji tüketimi, konut binalarının birim alan başına düşen enerji tüketiminden daha fazladır (Ma, Lu ve Weng, 2015). Kore Enerji Yönetim Şirketi'nin yaptığı istatistiklere göre 190 kurumdan 22 üniversite, büyük enerji tüketen kurumlar olarak sıralanmıştır. Ayrıca, üniversitelerin enerji tüketimi, tüm kurumların toplam tutarının %13,8'ini oluşturmaktadır. Bu verilere göre, Yeşil Kore Birliği karbondioksit emisyonlarını hesaplamış ve sonuç olarak üniversitelerin sera gazı emisyonlarının ana sorumlusu olduğu sonucuna varmıştır (Kim vd., 2010).

Üniversite kampüslerinde sera gazı salınımlarının ve enerji maliyetlerinin yüksek olması gibi sebeplerden dolayı binalarda enerji tüketiminin azaltılmasına odaklanılması gereklidir (Kim vd., 2010). Üniversite binaları, ofis binası ve büyük kamu binalarından sonra önemli bir enerji tasarrufu potansiyeline sahiptir (Ma vd., 2015). Dünyadaki birçok üniversite, kampüs binalarında enerji verimliliğine ve binaların enerji tüketimini takip etmeye büyük önem vermektedir. Asya, Amerika ve Avrupa'daki bazı üniversiteler, enerji tüketim platformu düzenlenmesini kurmuşlardır ve yıllık muhasebe raporları, istatistiksel raporlar, enerji tüketimi takip platformu gibi çeşitli araçlar kullanmaktadır (Ma vd., 2015).

Çevre sorunlarının çözümüne yönelik, yenilikçi fikirler üreten genç nesilleri yetiştiren üniversiteler, çevre eğitiminin gelişmesiyle ve gelecek nesillere dayanan yaşam prensiplerindeki değişimlere destek olabilir (Vylegzhanina, 2017). Üniversite kampüslerinin çevreye olan zararını azaltmaya ve sürdürülebilir kalkınmaya yönelik dünyanın dört bir yanındaki üniversiteler, “yeşil kampüs” olma yolunda adımlar atmaya başlamışlardır.

“Yeşil Kampüs”, çevreye duyarlı uygulamaları ve eğitimi sürdürülebilir bakış açısıyla teşvik etmek için bir araya geldiği yerdir (Krishnan ve Koshy, 2016). Kampüsün yeşillendirilmesi, çevre dostu malzemelerin ve etkin geri dönüşüm

programının kullanılması, atık verimsizliklerinin ortadan kaldırılması ve kampüsün günlük enerji ihtiyacı için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasından ibarettir (Krishnan ve Koshy, 2016). Leal Filho, üniversiteleri yeşil kurumlara dönüştürmenin bir yolu olarak, enerji tüketimi ve atık yönetimi gibi belirli konularla ilgilenmeyi önermektedir (Sretenovic, 2013).

Sürdürülebilirliğe yönelik olan yeşil binaları değerlendirme sistemleri oluşturulmuştur. İlk değerlendirme sistemi, 1990 yılında İngiltere’de oluşturulan BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) ‘dir (Maçka-Kalfa, 2018). Daha sonra 1998 yılında ABD Yeşil Bina Konseyi (USGBC, United States Green Building Council) tarafından LEED değerlendirme sistemi hazırlanmıştır (Nguyen ve Altan, 2011, s.376). Bunlardan sonra dünyanın farklı ülkeleri tarafından BREEAM ve LEED öncülüğünde çok sayıda sistem geliştirilmiştir (Maçka-Kalfa, 2018).

Uluslararası kabul görmüş olan LEED sertifika sistemi, binaların çevresel olarak sürdürülebilirliğini ölçmek ve uygulamak için bir takım standartlar sunmaktadır (Nguyen ve Altan, 2011). Binalar 5 ayrı kategoride;

- Sürdürülebilir alanlar,
- Su verimliliği,
- Enerji ve atmosfer,
- Malzemeler ve kaynaklar,
- İç ortam hava kalitesi olmak üzere değerlendirilir (Selçuk, 2010, s.13).

LEED sertifikası dört sertifikasyon seviyesi (onaylı, gümüş, altın ve platin) ile derecelendirilir (Selçuk, 2010, s.16). Günümüzde yaklaşık olarak 4000 üniversite LEED sertifikası almıştır (Han, Zhou ve Luo, 2015).

Kaliforniya Üniversitesi, Santa Cruz (UC Santa Cruz), LEED sertifikasını alan ilk kampüstür. Kampüs içerisindeki 2004 yılında inşa edilen Mühendislik 2 binası, gümüş derecesiyle ödüllendirilmiştir (Mickelson, 2009).

Mühendislik 2 binasını onaylayan projenin ortak yöneticisi olan Jim Dunne, "Binanın işleyiş şeklini ve bina kullanıcılarının çalışma şeklini değiştirdik" demiştir.

Bu proje için oluşturulan ekip, binanın; sulama, atık, aydınlatma, ısıtma ve soğutma sistemlerini incelemişlerdir. Örneğin, atık geri dönüşümünün denetlenmesi ve kullanıcıların da işbirliğiyle atıklar hem azaltılmış hem de atık geri dönüşümü %37 artmıştır. Geri dönüştürülmüş plastik pet şişeler ile paspaslar üretilip binada kullanılmaktadır. Ayrıca bina sürdürülebilir temizlik ürünleriyle temizlenmektedir. Yapılan tüm çabalar sonucunda, 276,000 kWh elektrik ve 17,000 kalori doğal gaz tasarrufu sağlanmış ve bu da maliyetleri yılda 44,000 dolar azaltmıştır (Mickelson, 2009).

Boca Raton' da bulunan Florida Atlantik Üniversitesi (FAU), LEED Platin sertifikalı 2 binaya, LEED Altın sertifikalı 7 binaya ve LEED Sertifikalı 1 binaya sahiptir. FAU, geri dönüşüm konusunda büyük çaba sarf etmektedir. Güneş enerjili çöp öğütücüler ve geri dönüşüm kutuları kullanılmaktadır. Ayrıca FAU, kampüsteki en büyük kapasiteye sahip soğutma gruplarından ikisini değiştirerek, sera gazı salınımlarını önemli ölçüde azaltmış ve enerji maliyetlerinde yılda 300.000 dolara yakın tasarruf etmiştir (Haywood, 2017).

Üniversitelerin sürdürülebilirliğini değerlendirmek üzere geliştirilen bir sistem de STARS (Sürdürülebilirlik İzleme, Değerlendirme ve Derecelendirme Sistemi)'dir. STARS, 2005 yılında Kuzey Amerika'da Yükseköğretimde Sürdürülebilirliğin Geliştirilmesi Derneği (AASHE) tarafından kurulmuştur. Bu sistemde üniversiteler dört farklı şekilde -platin, altın, gümüş ve bronz- derecelendirilir (BestColleges.com, 2018).

BestColleges.com' da listelenmiş olan en yüksek STARS derecesine sahip üniversite Colorado State Üniversitesi'dir. ABD'de en yeşil yükseköğrenim kurumu olan bu üniversite, 2015 yılı STARS derecelendirme sisteminde Platin kazanan dünyada ilk üniversite olmuştur (Dimas, 2018).

İkinci en yüksek STARS derecesinde Stanford Üniversitesi yer almaktadır. Stanford Enerji Sistemleri İnovasyon Programı kapsamında Stanford Üniversitesi, karbon salınımlarını %68 oranında, içme suyu kullanımını %15 oranında azaltmayı ve 2020 yılına kadar da %75 oranında atık geri dönüşümü sağlamayı hedeflemektedir. Ayrıca üniversite, öğrencilerine sürdürülebilirlik üzerinde etki

yapmak adına 20'den fazla yeşil kulüplere sahiptir. Ayrıca da sürdürülebilirlik konusunda yaklaşık olarak 500 kurs açmaktadır (BestColleges.com, 2018).

Üniversitelerin sürdürülebilirliğini değerlendiren ve üniversiteleri derecelendiren bir başka yöntem de yeşil ölçüm sistemidir (Ağı-Günerhan ve Günerhan, 2016). Yeşil ölçümde 6 kategori bulunmaktadır:

- Kampüs yerleşimi ve altyapı,
- Enerji ve iklim değişikliği,
- Atık yönetimi,
- Su yönetimi,
- Çevre dostu ulaşım olanakları,
- Eğitim (Ağı-Günerhan ve Günerhan, 2016).

Üniversiteler bu kategoriler üzerinden değerlendirilir. 2017 yılı değerlendirme sonuçları Tablo 2.1'de görülmektedir.

Tablo 2.1: Yeşil ölçümde dereceye giren üniversiteler (GreenMetric, 2017).

No	Üniversite	Ülke	Toplam Puan	Altyapı	Enerji ve iklim değişikliği	Atık	Su	Ulaşım	Eğitim
1	Wageningen University & Research	Hollanda	7552	1128	1606	1800	976	1012	1030
2	University of Nottingham	İngiltere	7464	1088	1469	1800	925	1162	1020
3	University of California Davis	ABD	7365	1050	1502	1800	972	1362	679
4	University of Bradford	İngiltere	7290	839	1511	1800	925	1262	953
5	Nottingham Trent University	İngiltere	7210	997	1587	1800	850	962	1014

Tablo 2.1 (devam): Yeşil ölçümde dereceye giren üniversiteler (GreenMetric, 2017).

6	University of Oxford	İngiltere	7199	1006	1273	1725	1000	1412	783
7	University of Connecticut	ABD	7148	1084	1386	1701	895	1212	870
8	Bangor University	İngiltere	6881	1044	1437	1800	650	1062	888
9	University College Cork	İrlanda	6861	777	1410	1701	905	1112	956
10	Hochschule Trier – Umwelt-Campus Birkenfeld	Almanya	6806	752	1733	1527	761	1012	1021

Bu değerlendirmeye 619 üniversite katılmış ve bunların arasından Wageningen Üniversitesi 7552 puan ile dünyanın en yeşil üniversitesi seçilmiştir. İkincisi 7464 puan ile Nottingham Üniversitesi, üçüncüsü de 7365 puan ile California Davis Üniversitesi'dir. Türkiye'den ise sıralamaya 19 üniversite girebilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi 77., Bülent Ecevit Üniversitesi 190., Ankara Üniversitesi 194., Yeditepe Üniversitesi 225., Sabancı Üniversitesi 284., Erciyes Üniversitesi 295., Özyeğin Üniversitesi 297., Ege Üniversitesi 343., Boğaziçi Üniversitesi 356., Bartın Üniversitesi 394., Süleyman Demirel Üniversitesi 406., Yıldız Teknik Üniversitesi 426., Bilkent Üniversitesi 427., Düzce Üniversitesi 451., İnönü Üniversitesi 469., Karabük Üniversitesi 519., Selçuk Üniversitesi 526., Anadolu Üniversitesi 572., İzmir Ekonomi Üniversitesi 600. olmuştur (GreenMetric, 2017).

Genel sıralamada ilk 3'e giren üniversitelerin çalışmaları aşağıdaki gibidir:

Birinci sırada yer alan Wageningen Üniversitesi'nde enerji, atık, hareketlilik, gürültü, hava, su, toprak, sürdürülebilir yapı, ulaşım, flora ve fauna gibi birçok alanda faaliyetler yürütülmektedir (Wageningen University & Research, 2017).

Wageningen Üniversitesi 2030 enerji vizyonu, 2014 yılında onaylanmıştır. Başlangıç noktası, sürdürülebilirliğin merkezi bir rol aldığı güvenilir bir enerji sağlamaktır. Bunun için yürütülen yöntemler sırasıyla; enerji tüketimini azaltmak, sürdürülebilir enerji üretmek ve CO₂ salınımlarını dengelemektir. Her yıl artan sayıdaki öğrenciye rağmen enerji tüketimi azalmıştır. Mevcut binaları iyileştirerek, etkin ısı pompası, daha fazla ısı geri dönüşümlü uygulamalar ve LED aydınlatmalar kullanarak enerji tasarrufu sağlanmıştır. İklim kontrolünün optimizasyonu için “bina yönetim sistemleri” kullanılmıştır. 2015 yılında ısı depolama sistemlerinin 3 binaya daha uygulanması, mevcut soğutma ünitelerinin enerji tüketiminin azaltılmasına neden olmuştur (Wageningen University & Research, 2017). Wageningen Üniversitesi, Lelystad'daki rüzgâr türbinlerinden 2016 yılında 58 milyon kWh'den fazla elektrik üretmiştir. Bio-CHP(combined heat and power)'ler, kampüs ısı depolama sistemi ve güneş panelleri ile sürdürülebilir enerji sağlanmıştır (URL 1). 2016 yılında tüketilen enerjinin %87'si yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır.

Wageningen Üniversitesi'nin her yıl karbon ayak izi belirlenmektedir. Enerji tüketiminin azalması ve %100 yeşil rüzgâr enerjisi alınması, 2005 yılına kıyasla 2016 yılında doğal gaz ve elektrik tüketiminden kaynaklanan CO₂ salınımlarını %79 oranında azaltmıştır (Wageningen University & Research, 2017).

Ayrıca Wageningen Üniversitesi, eğitim konusuna önem vermektedir. Yeni nesillere sürdürülebilirlik alanında farkındalık yaratmada önemli bir yere sahiptir. Bunu da sürdürülebilirlik alanında yayınladığı çalışmalarla ve sürdürülebilirlik ile ilgili çok sayıda verdikleri derslerle göstermektedir (URL 1).

2017 yılı Yeşil Ölçüm genel sıralamasında 2. olan Nottingham Üniversitesi, parkları ve bahçeleri ile Yeşil Bayrak ödülünü kazanan ilk üniversite olmuştur. Enerji kullanımını sürdürülebilir ve yenilenebilir kaynaklardan karşılayarak enerji tüketimini azaltmakta ve geri dönüştürülen atık miktarını artırmaktadır (URL 2). Her yıl yaklaşık olarak 3000 ton atık üretilmektedir. 2005 yılında geri dönüştürülen atık oranı %5 iken, 2017 yılında geri dönüşüm oranı %99 olmuştur (URL 3). Ayrıca CO₂ salınımlarını azaltmayı hedefleyen 2020'ye yönelik Karbon Yönetim Planı hazırlanmıştır (URL 4).

Nottingham Üniversitesi'ne ait 9 adet kampüs bulunmaktadır. Bu kampüslerin içerisinde University Park kampüsü, 300 dönümlük araziyle en büyük kampüstür. Ağaçları, çalı grupları, gölü ve dünyanın dört bir yanından gelen farklı bitki türlerine sahip park alanıyla, "İngiliz Manzarası" olarak tanımlanmaktadır (URL 5).

2017 yılı Yeşil Ölçüm sistemine göre 3. olan üniversite ise çevreye olan bağlılığıyla bilinen California Davis Üniversitesi' dir. Davis kampüsü bisiklet kültürüyle tanınmaktadır. Kampüste her gün yaklaşık olarak 15000-20000 bisikletli görmek mümkündür. Ayrıca doğalgaz ile çalışan servis otobüsleri bulunmaktadır (URL 6).

California Davis Üniversitesi' nin 2025 yılına kadar karbon nötrlüğü hedefi vardır. Bu hedefine ulaşmak için kampüse, alternatif karbon içermeyen enerji kaynakları yerleştirilmiş ve büyük ölçüde güneş enerjisine yönelim gerçekleşmiştir. 2017 yılında 80 Megavat elektrik üretilerek, çok miktarda güneş enerjisi alımı yapılmıştır. Buna ek olarak, California Davis Üniversitesi 'nin 10 kampüsünde, 40 MW'lık karbonsuz elektrik üreten fotovoltaik sistemler bulunmaktadır. Davis kampüsü su tüketimini de azaltarak bir önceki yıla göre 2017 yılında 83 milyon galonluk içme suyu tasarrufu sağlamıştır (Murdock, 2018). Ayrıca 1906'da kampüsün kurulduğundan bu yana son 100 yılda 17.000'den fazla ağaç dikilmiştir. Kampüs arazisinin beşte birini kapsamaktadır. Ağaçlar sayesinde, elektrik ve doğalgaz maliyetlerinden yılda yaklaşık 106.000 dolar tasarruf edilmektedir (URL 7).

2017 yılı yeşil ölçüm sisteminde Türkiye'deki üniversiteleri kendi arasında sıraladığımızda ise ilk sırayı İstanbul Teknik Üniversitesi almaktadır. İstanbul Teknik Üniversitesi, yeşil ölçüm genel sıralamasında ilk yüze giren tek Türk üniversitesi olarak 77. olmuştur. İstanbul Teknik Üniversitesi yeşil kampüs projesi kapsamında çalışmalar yapmaktadır. Yağmur suyunu toplama, atık geri dönüşümü, ormancılık, sürdürülebilir aydınlatma, sulama sistemi yönetimi gibi yeşil faaliyetler geliştirmektedir (Pouya, 2017). Ayrıca bisikletli ulaşımı da destekleyen İstanbul Teknik Üniversitesi, 4 kilometrelik bisiklet ve yaya yolu yapmıştır.

Türkiye'deki üniversiteler içerisinde Yeşil Kampüs olma yolunda çalışmalar yapan bir başka örnek de Boğaziçi Üniversitesi'dir. Yeşil Kampüs olma planı, 2010 yılında yeşil kampüs komitesi kurularak oluşturulmaya başlandı (Erten, 2015, s. 803). Sarıtepe Kampüsü'nde, Boğaziçi Üniversitesi Rüzgâr Enerjisi Santrali (BÜRES) projesinin bir parçası olarak kurulan rüzgâr türbini ile de kendi elektrik enerjisini üreten dünyadaki tek kampüs olmuştur. 1 MW'lık rüzgâr türbini ile yıllık elektrik tüketiminden %40 daha fazla elektrik üreterek yılda yaklaşık olarak 900 ton karbon salınımı önlenmesi beklenmektedir (Boğaziçi Üniversitesi, 2015).

Sarıtepe Kampüsü'nde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yanında kampüs binalarının enerji depolama ve enerji verimliliği konularında da akademik çalışmalar yapılmaktadır (Boğaziçi Üniversitesi, 2015).

2.4 Binalarda Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler

Binalar, toplam enerji tüketiminde çok önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle binalarda enerji tüketimini etkileyen ve neden olan faktörlerin doğru bir şekilde anlaşılması ve analizi oldukça önemlidir (Dash, 2016).

Enerji tüketimine etki eden başlıca faktörler;

- İklim
- Binanın yeri,
- Bina yükseklikleri ve binalar arası uzaklıklar,
- Bina formu,
- Binanın büyüklüğü, tipi ve fonksiyonu,
- Binanın yönü,
- Binanın plan şeması,
- Bina kabuğu ve malzemelerin özellikleri,
- Pencereler ve gölgeleme araçları,
- Kullanıcı davranışıdır.

İklim

Binanın bulunduğu yerdeki iklim özellikleri tüketilen enerji miktarını etkileyen en önemli faktörlerdendir (Özçiftçi, 2010). Güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava bağıl nemi ve rüzgâr iklime ilişkin değişkenlerden bazılarıdır.

Güneş Işınımı: Bina yüzeyinin birim alanına düşen güneş ısısını ifade etmektedir. Binanın yönüne, yüzey açısına, konumuna, malzeme özelliklerine ve atmosfer koşullarına göre değişiklik göstermektedir (Atmaca, 2016).

Aydınlatma gereksinimi, ısıtma-soğutma yükü, elde edilebilecek olan sıcak su ve elektrik enerjisi miktarı ile doğrudan bağlantılıdır (Yasan, 2011). Güneş ışınımı hem binalarda gün ışığı ile aydınlatma düzenlemesi hem de ısı konforun denetlenmesi için oldukça önemlidir (Dirim, 2014). Güneş ışınımından kazanç sağlanması özellikle ısıtma yüklerinin azaltılmasında etkili olabilir (Işın, 2016). Güneş ışınımı ayrıca dış hava sıcaklığı ve dış hava hareketlerini büyük miktarda etkilemektedir (Serbest, 2014).

Dış hava sıcaklığı: Güneşin geliş açısına ve atmosfer koşullarına bağlı olarak değişen dış hava sıcaklığı, binaların ısıtma ve soğutma dönemlerinin belirlenmesini etkileyen önemli iklimsel parametrelerdendir (Işın, 2016).

Dış hava bağıl nemi: Nem, binaların iç ortam hava kalitesini ve hissedilen sıcaklığı etkilediği gibi, binaların enerji performansını da etkileyen önemli bir faktördür. Mekân içi nem düzeyinin yüksek olması, sıcak ya da soğuk havanın etkilerini artırır. Nem düzeyinin düşük olması ise çok kuru bir hava oluşturarak, olumsuz konfor koşullarına sebep olur (Yasan, 2011). Bu nedenle nem, ısı konfor için dikkate alınması gereken bir etmendir.

Nem sadece insanlar için değil binalar için de olumsuz şartlar oluşturabilir. Nem iç-dış ortam arasında geçişkenlik gösterir. Bu geçiş sırasında üzerinde biriktiği yapı malzemesini yıpratır ve ısı dirençlerinde azalmaya sebep olabilir (Işın, 2016).

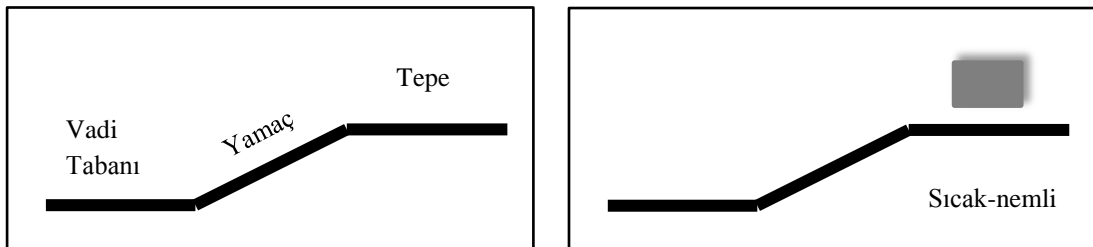
Rüzgâr: Etkisi binanın yer, yön, konum ve formuna göre değişkenlik gösteren rüzgârın enerji tüketimi üzerinde olumlu-olumsuz etkileri bulunmaktadır (Atmaca, 2016). Örneğin rüzgârın, yazın serinletici ve nem azaltıcı etkisinden yararlanılırken, kışın bina kabuğundan ısı kaybını artırıcı etkisi vardır ve korunması gerekmektedir (Yasan, 2011).

Rüzgâr, ısı kazanç ve kayıplarını etkileyen ve konfor koşullarını belirleyen bir faktördür (Kundakçı, 2013). Rüzgâr yönleri, binaların konumlandırılması ve yönlendirilmesi yapılırken göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Işın, 2016).

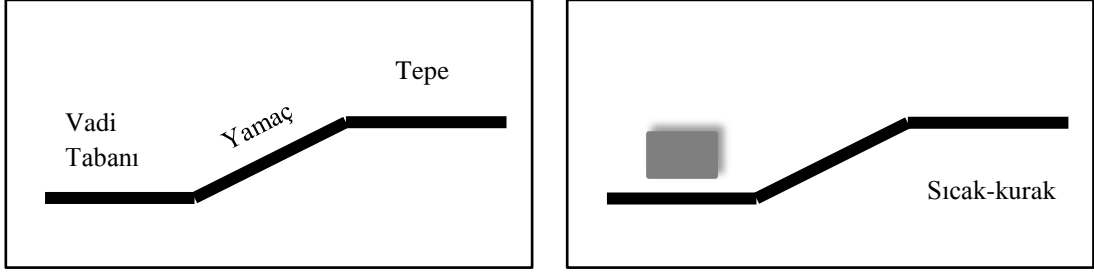
Binanın Yeri

Coğrafik özellikler, enlem, boylam ve deniz seviyesinden yükseklik binanın yeryüzündeki konumunu belirler (Biol, 2012). Bir binanın konumu enerji tüketimini çeşitli şekillerde etkileyebilir. Örnek olarak, güneş ışınımı, hava akışı, sıcaklık ve nem gibi bir bölgenin iklim verileri binanın iç mekân çevre kalitesini belirlemektedir. Güneş ışınımı, binanın ısıtma ve doğal aydınlatmasında ana parametrelerdendir (Uygun, 2012). Binanın konumlandığı arazinin eğimi güneş ışınımının geliş açısını etkiler. Bundan dolayı binanın gün ışığını kullanmasında binanın yeri büyük önem taşımaktadır (Kadiroğlu, 2011). Sıcak bölgelerde güneş kontrolünün sağlanması ile soğutma yükleri azaltılabilir. Soğuk iklim bölgelerinde rüzgâr ısı kaybını arttırsa da sıcak bölgelerde buharlaşma ile soğutma etkisi vardır.

Bağıl nem, hissedilen sıcaklığa etkisiyle önemli bir parametredir (Uygun, 2012). Nem oranı fazla olan yerlerde binalar tepe ve yamaçların üst kısımlarına yerleşerek rüzgârdan fayda sağlayabilir. Nem oranı az olan yerlerde ise vadi tabanına yakın yamacın alt kısımları bina yerleşimi için seçilebilir (Şekil 2.9) (Işın, 2016).



Sıcak-nemli iklim bölgesinde yerleşim



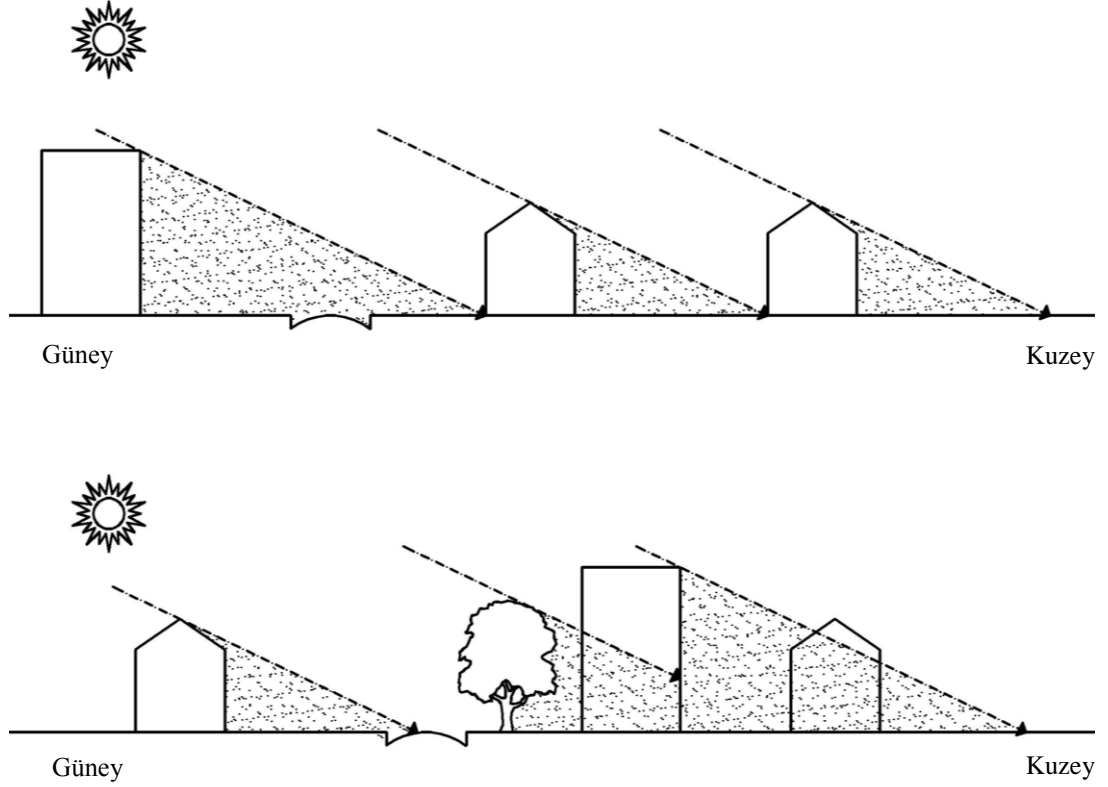
Sıcak-kurak iklim bölgesinde yerleşim

Şekil 2.9: Sıcak-kurak ve sıcak-nemli iklim bölgesinde eğimli arazi parçasına yerleşim (Kadiroğlu, 2011).

Bunların yanı sıra binanın bulunduğu yerdeki doğal bitki örtüsü ve toprak türü de binanın ısı performansını etkiler (Uygun, 2012). Binanın mikro-iklimsel özelliklerini de etkileyen bitki örtüsü, buharlaşma sayesinde havadaki nemde artış ile sıcaklıkta düşüşe neden olmaktadır ve binaların enerji denetimi açısından önemlidir (Kadiroğlu, 2011).

Bina Yükseklikleri ve Binalar Arası Uzaklıklar

Binaların enerji tüketimini etkileyen bir diğer faktörde bina yükseklikleri ve birbirlerine göre olan konumlarıdır. Bu faktörlere bağlı olarak binalar, birbirleri için güneş ışınımı ve rüzgâr engelleri olarak işlev görebilirler (Kundakçı, 2013). Güneş ışınımı açısından binalar arası uzaklıklar, güneş ışınımından yararlanmak mı yoksa korunmak mı istendiğine göre belirlenir (Gazioğlu, 2012). Güneş ışınımından maksimum yararlanmak isteniliyorsa bina aralıkları komşu binaların en uzun gölge boyuna eşit veya daha büyük olmalıdır (Şekil 2.10) (Kundakçı, 2013). Güneş ışınımından korunmanın öncelikli olduğu iklim bölgelerinde ise, binalar birbirine gölge sağlayacak şekilde konumlandırılır (Şekil 2.10) (Gazioğlu, 2012).



Şekil 2.10: Binalar arası uzaklıkların belirlenmesi (Akşit, 1993).


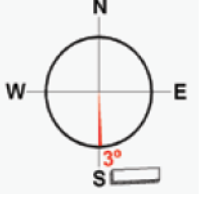
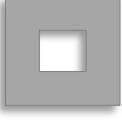



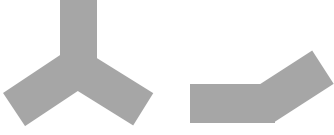
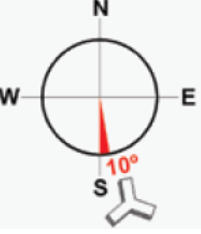


Rüzgâr açısından da bina aralıkları, rüzgâr hızından yararlanmak ya da korunmak isteğine göre belirlenmelidir (Gazioğlu, 2012). Rüzgardan yararlanmak amacıyla binalar hakim rüzgar doğrultusunda şaşırılmalı, rüzgardan korunmak amacıyla ise art arda konumlandırılmalıdır (Kadiroğlu, 2011).

Bina Formu

Binanın şekli, bir binadaki ısı kaybını ve kazancını etkileyen önemli bir parametredir. Form, binanın yatay alanı, uzunluğu, hacmi, çatı eğimi, cephe ve açıklıkları içeren geometrik bir şekildir. Enerji verimliliği açısından ısı kaybını minimize etmek için bina yüzey alanı ile bina hacmi oranı (A / V) dikkate alınmalıdır (Uygun, 2012). Bu oran kompakt formlardan dikdörtgen formlara doğru gittikçe artmaktadır (Serbest, 2014). Küre en az ısı kaybına sahip olan formdur. Daha sonra sırasıyla silindir, küp ve dikdörtgen prizma gelmektedir (Soysal, 2008). Kare şeklinde bir bina ile dikdörtgen şeklindeki bir bina karşılaştırıldığında dikdörtgen binanın yıllık ısıtma yükünün daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Uygun, 2012). Kompleks biçimli cepheler de gereksiz ısı kayıplarına neden olabilir (Uygun, 2012).

Bu nedenle soğuk iklim bölgelerinde enerji kaybeden yüzeylerin alanını minimize etmek için kompakt formlar, sıcak nemli iklim bölgelerinde ise karşılıklı havalandırmaya en üst düzeyde imkan sağlayacak hakim rüzgar doğrultusuna uzun cephesi yönlendirilmiş ince uzun formlar tercih edilmelidir (Yılmaz, 2005). Tablo 2.2’de farklı iklim bölgelerine göre uygun bina formları gösterilmektedir.

Tablo 2.2: Farklı iklim bölgelerine göre bina formları ve yönlendiriliş durumları (Zeren vd., 1987; Oral, 2010).

İKLİM BÖLGESİ	BİNA FORMU	BİNA YÖNLENDİRİLİŞİ (Optimum Yön)
SICAK NEMLİ (Pilot şehir: Antalya)	Rüzgâra açık yüzeyli, uzun dikdörtgene yakın 	
SICAK KURU (Pilot şehir: Diyarbakır)	Avlulu, kare tabanlı, avlulu mekâna açık yüzeyli 	
ILIMLI KURU (Pilot şehir: Ankara)	Isıtmanın istendiği dönemde rüzgâra kapalı, kareye yakın kompakt 	
ILIMLI NEMLİ (Pilot şehir: İstanbul)	Isıtmanın istenmediği dönemdeki rüzgâra geniş yüzeyli, dikdörtgen ya da serbest planlı 	
SOĞUK (Pilot şehir: Erzurum)	Rüzgâra az yüzey veren, dış yüzeyi minimize eden, kompakt, kare vb. tabanlı 	

Binanın Büyüklüğü, Tipi ve Fonksiyonu

Bir binanın büyüklüğü, tipi ve fonksiyonu, insan gereksinimleri, binalar ve enerji tüketimleri arasındaki ilişkiyi temsil eden faktörlerdir. Binanın büyüklüğü ve tipi kullanıcı ihtiyaçlarına göre belirlenmelidir. Belirlenen büyüklüğe göre de aydınlatma, HVAC sistemi ve binanın inşaat maliyeti göz önünde bulundurulmalıdır. Küçük binaların yapım süreci büyük binaların yapım sürecine kıyasla daha az enerji ve maliyet gerektirir. Ancak, bu tür binalarda uygun olmayan malzemeler kullanıldıysa ve yüzey alanı/hacim oranı yanlış ise, büyük binalarda olduğu gibi yüksek miktarda enerji tüketilebilir (Uygun, 2012).

Binalar; ofisler, laboratuvarlar, yemek hizmetleri, konferans salonları, hastaneler, okullar gibi çeşitli fonksiyonlar için kullanılabilir. Binalarda ofisler, sınıflar ve ortak mekânlar genelde laboratuvarlara kıyasla daha az enerji kullanır, çünkü havanın bir kısmı bina boyunca devir daim yapar. Havanın sirkülasyonu, havanın daha az şartlandırılmasına (ısıtma ve soğutma) olanak sağlar ve daha az enerji kullanılmasına neden olur (Blizard, 2016).

Diğer taraftan, laboratuvar alanına sahip binalar genellikle daha fazla enerji kullanır, çünkü genellikle ofis binalarından çok daha fazla havalandırmaya ihtiyaç duyarlar ve hava devir daim yaptırılmaz. Bazı laboratuvarlara giren havanın % 100'ü dış hava olması gerekir ve daha sonra binayı egzoz sistemlerinden tamamen terk etmesi gerekebilir. Bu havayı fanlarla hareket ettirmek, ısıtıp soğutmak da enerji açısından yoğun bir işlemdir (Blizard, 2016).

Binanın Yönü

Bir binanın yönlendirilmesi yalnızca topografik koşullara adaptasyon, mahremiyet, gürültü kontrolü ve manzara için değil, aynı zamanda güneş kazancı ve korunumu, gün ışığı ve doğal havalandırma gibi gereksinimleri karşılamak açısından önemlidir (Uygun, 2012). Binaya doğrudan gelen güneş ışınım miktarı binanın yönlendiriliş durumuna göre değişmektedir (Kadiroğlu, 2011). Farklı yönlerde bakan cephelerin güneş ışınım şiddeti de farklıdır (Veziroğlu, 2010). Buna göre güneş ışığından maksimum yararlanabilmek ve geniş ölçüde bir ısı kazancı elde etmek için

binanın ana cephesi güney yöne bakmalıdır ve bu cephede büyük pencereler bulunmalıdır. Soğuk iklim bölgelerinde ise, binanın kuzey cephesinde oluşan ısı kayıplarını önlemek için yalıtılmış duvarlar ve çok katmanlı, küçük pencereler olmalıdır. Güneş kontrolünün zor olmasından dolayı (yataya yakın açıda gelen güneş ışınları) ana cephe, doğu veya batı yöne bakmamalıdır. Bu yönlere konumlanan açıklıklar için de gölgeleme araçları kullanılmalıdır (Uygun, 2012).

Binanın yönü rüzgârın binaya alınma durumunu da etkilemektedir (Kadiroğlu, 2011). Rüzgar, bina yüzeylerinden gelen ısı kayıplarını artırır, bu yüzden bina tasarım sürecinde hakim rüzgar yönü de dikkate alınmalıdır (Uygun, 2012). Rüzgarın serinletici etkisinden faydalanmak istenilen bölgelerde hakim rüzgar yönü bina yönlendiriliş durumu için temel alınır (Gazioğlu, 2012). Hakim rüzgar doğrultusunda binanın yönleneşmesi iç mekanın havalandırılmasını da etkiler (Kadiroğlu, 2011). Yaz mevsiminde rüzgâr, doğal havalandırma ve soğutma sağladığı için soğutma sisteminden kaynaklı enerji tüketimini azaltabilir (Uygun, 2012).

Sonuç olarak binanın yönlendiriliş durumuna göre farklılık gösteren özellikle güneş ışınımı ve rüzgâr, yapının enerji performansına doğrudan etki etmektedir (Keskin, 2012, s. 9). Doğru yönleneşme ile doğal koşulların avantajlarından yararlanılarak enerji tüketimi azaltılabilir ve iç konfor koşulları iyileştirilebilir (Uygun, 2012).

Binanın Plan Şeması

Binaların plan şeması bir başka ifadeyle mekân konumu, enerji tüketimini etkilemektedir. “Alman Araştırma ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yapılan bir araştırma, enerji tüketimi açısından mekânların plan organizasyonundaki yerinin yönlendirilmesinden daha etkili olduğunu açıklamaktadır.” (Yasan, 2011).

Mekânların kullanım süreleri ve işlevlerine, enerji etkin planlama açısından dikkat edilmelidir (Serbest, 2014). Mekân organizasyonunda odaların yeri, yönleneşmesi, kullanım süresi ve işlevi göz önüne alınarak yapılmalıdır (Kadiroğlu, 2011). “Gün içerisinde bazı mekânlar (Yaşama mekânı, mutfak, çalışma odası ve kütüphane) sık

kullanılırken; yatak odası, koridor, banyo, çamaşır odası, garaj ve depo gibi mekânlar daha az kullanılmaktadır (Işın, 2016).” Buna göre binada az kullanılan mekânlar kuzey cephesine, çok kullanılan ve daha fazla ışık istenilen mekânlar güney cephesine yerleştirilmelidir (Kadiroğlu, 2011). Böylece enerji verimliliği açısından doğru bir planlama yapılmış olur (Işın, 2016).

Ayrıca “ bina içerisinde ısıtma ihtiyacı daha fazla olan mekânlar doğrudan dış cephede konumlandırılmak yerine daha az ısıtma ihtiyacı olan mekânlar tampon bölge olarak konumlandırılarak, enerji korunumu sağlanabilir (Işın, 2016). ” Tampon bölgeler; camekanlı geçitler, seralar, garajlar, bodrum katları ve koridor gibi ısıtılmayan bölgelerden oluşabilir (Serbest, 2014). Tampon bölgeler ayrıca yazın iç mekânları gölgeleyerek yüksek sıcaklıkları engellediği, kışın ise iç mekânların soğuma süresini uzattığı için önemlidir (Kadiroğlu, 2011).

Bir binanın plan şeması oluşturulurken, enerji tüketimine etki eden doğal havalandırmaya da dikkat edilmesi gerekir (Işın, 2016). Odaların karşılıklı yerleştirilmeleri doğal havalandırmayı kolaylaştırabilir. Bu da kullanıcı konforunun sağlanmasına ve enerji tüketiminin azaltılmasına katkı sağlar (Yasan, 2011).

Bina Kabuğu ve Malzemelerin Özellikleri

Opak ve saydam bileşenlerden oluşan bina kabuğu, dış ortam ile iç ortamı birbirinden ayırıcı bir görev görmektedir (Uygun, 2012). Duvarlar, pencereler, kapılar ve zeminler gibi binayı dış ortamdan ayıran ve ısı enerjisinin iç-dış ortama geçişini sağlayan bileşenleri içermektedir (Kadiroğlu, 2011). Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri, dış ortamdan içeriye etki eden iç hava sıcaklığı ve iç yüzey sıcaklıklarının değişiminde etkili olmaktadır. Yani iç ortamın iklimsel koşulları bina kabuğundan kazanılan veya kaybedilen ısı miktarlarına göre değişmektedir. Bu nedenle iç ortamda istenen iklimlendirmenin sağlanması harcanacak enerji miktarını etkileyebilir (Veziroğlu, 2010).

Bina kabuğunun enerji korunumu açısından verimliliğini sağlamak için malzeme kullanımı dışında farklı uygulamalar geliştirilmektedir. Buna örnek çift kabuk uygulamalarıdır. Çift kabuk uygulamaları sayesinde enerji korunumu

açısından çok önemli olan iç ve dış mekân arasındaki hava kaçakları azaltılabilir (Özçiftçi, 2010).

Enerji verimli bir malzeme kullanımı da binalarda harcanacak enerji miktarını etkileyebilir. Enerji verimli ve dayanıklı olarak tanımlanan malzemeler doğadan sağlanır ve çevresel sorunlara çok fazla neden olmazlar. Bu malzemelerin hammadde olarak çıkartılmasından yapı malzemesi olarak kullanılacak aşamaya kadar harcanacak enerjinin az olması binalarda toplam enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabilir. Ahşap, bambu, ayçiçek sapı gibi yenilenebilir malzemeler doğadan yerel olarak sağlanabilir ve daha az enerjiyle işlenebilir. İşgücü ve enerji tasarrufu yanında, bu malzemeler doğal kaynakların korunmasına yardımcı olmaktadır (Uygun, 2012).

Bina kabuğunun saydam yüzeylerinin malzemesi, dış ortam koşullarını istenilen şekilde iç ortama aktaracak renk ve özellikte olmalıdır. Bina kabuğunun duvar, zemin gibi opak bileşenlerinin yansıtma ve yutuculuk özellikleri yüzey rengine bağlıdır. “Dış yüzey rengi sıcak iklimlerde açık renkli, soğuk iklimlerde koyu renkli seçilmesi daha uygundur”. Doğru renkte ve özellikte malzeme kullanımı ile kabukta meydana gelen ısı kayıpları ve kazançları istenilen düzeyde olabilir (Kadiroğlu, 2011).

Pencereler ve Gölgeleme Araçları

Binalarda enerji tüketimini etkileyen önemli faktörlerden biri cam yüzeylerin boyutu ve yeridir (Kadiroğlu, 2011). Binalardaki cam yüzeylerin boyutu, yönü, geçirgenliği ve pencere çerçeve tipi, ışık ve ısı açısından binaların enerji verimliliğini artırabilir veya azaltabilir (Uygun, 2012). Binalarda oluşan ısı kayıplarının başlıca kaynağı pencerelerdir. Binalardan kaynaklanan ısı kayıplarını azaltmak için yüksek performanslı camlar kullanılmalıdır (Hamidabad, 2015).

Persson ve arkadaşları (2006) İsveç’ deki binalar üzerinde yaptıkları çalışma sonucunda, pencere büyüklüklerinin kullanılan cam özelliklerine bağlı olarak kış şartlarında ısıtma için çok etkili olmadığını fakat yaz aylarında soğutma talebi için daha fazla ilişkili olduğunu belirtmektedir. Güneye bakan pencerelerin boyutu, aşırı

ısınmayı önlemek ve soğutma yüklerini en aza indirmek için optimum boyutlarda belirlenmelidir.

Pencerelerde kullanılan camların termofiziksel özellikleri de yüzey alanı ve yönü kadar önemlidir (Uygun, 2012). Isı kazanç ve kayıp miktarını etkileyen bir faktördür (Sadeghifam, 2014). Işık ve ısı kontrolünde kullanılan camlar genellikle ısı emici renkli camlar, yansıtıcı camlar, aynalı camlar, akıllı camlar ve polyester film kaplamalı camlardır.

İç mekân için gereken ışık ve sıcaklık seviyesi, pencereler ile birlikte gölgeleme araçları kullanılarak da ayarlanabilir. Mevsimsel ve saatlik güneş açıları, güneşten doğrudan gelen ışığın yansımaları için belirleyicidir. Sabit ve hareketli gölgelendirme araçları, güneş kontrolünde yüksek bir performans sergileyebilir. Panjurlar, storlar, tenteler, jaluzi ve perdeler ile derin balkonlar, yatay saçaklar, dikey güneş kırıcılar-kanat duvarları, dikey ve yatay bileşenlerin birleşimi olan kompozit elemanlar güneş kontrolü için kullanılmaktadır (Uygun, 2012).

Kullanıcı Davranışı

Enerji tüketimi, kullanıcı davranışı ve yaşam standartlarıyla yakından ilişkilidir. Kullanıcı davranışı sosyal ve ekonomik faktörlerle belirlenebilir. Enerji tüketimini etkileyebilecek bu faktörler gelir düzeyi, eğitim, yaş, cinsiyet, giysi türü, aktivite düzeyi ve diğer demografik farklılıklar olarak sıralanabilir (Tereci, 2012).

Çin'de yapılan çalışmalar, kullanıcı yaşının gelirden daha önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Mevcut araştırmaların aksine, kullanıcının yaşı ile enerji tüketimi arasında negatif bir ilişki bulunmuştur. Yaşlılar, gençlerden daha tutumlu bir davranış modeli sergilemektedir. Ayrıca bu araştırma, kullanıcının sosyo-ekonomik ve davranış değişkenlerinin ısıtma ve soğutma enerji tüketimindeki değişimin %28,8'ini açıklayabildiğini ortaya koymaktadır (Chen, Wang and Steemers, 2013).

Atina'nın büyük bir bölümünde yapılan incelemelerde Santamouris ve arkadaşları (2007), kullanıcı gelirinin enerji tüketimini dolaylı olarak etkileyen

önemli bir belirleyici olduğunu bulmuşlardır. Düşük gelirli insanların zayıf bina kabuğuna sahip eski binalarda yaşıyor olması daha muhtemeldir. Kişi başına ve birim alan başına düşen maliyet, hem ısıtma hem de elektrik için düşük gelir grubunda çok daha yüksektir. Yüksek gelir düzeyi ise daha yüksek konfor koşulları ve aşırı enerji tüketimiyle ilişkilendirilebilir (Tereci, 2012).

Botswana ve Güney Afrika'nın sıcak ve kuru iklim bölgelerinde, en az beş ayrıntılı enerji denetimi gerçekleştirilmiştir. Bu incelemeler, mesai saatleri dışındaki zamanlarda (%56) mesai saatlerinden (%44) daha fazla enerji tüketildiğini ortaya koymaktadır. Bu, genellikle kullanıcıların, gün sonunda ışıkları ve ekipmanları kapatmama davranışından ve kısmen de kontrollerin zayıf olmasından kaynaklanmaktadır. Bina sakinlerinin ışık ve ekipmanları kullanmadıkları zaman kapatmayı öğrenmelerine ihtiyaç vardır. Bunun için kural: "İhtiyacınız yoksa kullanmayın!" Bu kural enerji tasarrufları arasında en basit ve en ucuz olanıdır (Masoso ve Grobler, 2010).

2.5 Binalarda Enerji Verimliliği İle İlgili Yasal Düzenlemeler

2.5.1 Avrupa'daki Yasal Düzenlemeler

16 Aralık 2002 tarihinde Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin yayınladığı Binalarda Enerji Performansı Direktifi (2002/91/EC), binalarda enerji verimliliği geliştirme faaliyetlerini yasal olarak kapsayan en önemli AB direktifidir. 2003 yılında yürürlüğe girmiştir. Bina Enerji Performans Direktifi (EPBD), iki temel konuyu ele almaktadır. Birincisi, çevre ve doğal kaynakların korunması, ikincisi AB ülkelerinin bina sektöründe enerji tüketiminin azaltılmasıdır.

Direktif, enerji etkin yeni bina tasarımlarının yanı sıra mevcut binaların yenilenmesi üzerine de odaklanmaktadır. Direktifin amacı, dış hava koşulların yanı sıra iç mekân iklim koşulları ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak, binaların enerji performansının iyileştirilmesini teşvik etmektedir (Energy Performance of Buildings Directive, 2002). Direktif aşağıda belirtilen şartları ortaya koymaktadır:

- Binaların bütünleşik enerji performansının hesaplanması yöntemi için genel çerçeveyi oluşturmak,
- Yeni binaların enerji performansında asgari şartların uygulanması,
- Büyük yenileme çalışmaları yapılan mevcut binaların enerji performansında asgari şartların uygulanması,
- Binaların enerji sertifikasyonu,
- Binalarda kazan ve iklimlendirme sistemlerinin düzenli kontrolü ve buna ek olarak 15 yaşın üzerinde olan kazanların ısıtma tesisatının değerlendirilmesidir (Energy Performance of Buildings Directive, 2002).

Bu direktif özetle, 1990'ların başlarından beri binalarda enerji performansı ve enerji verimliliğini geliştirme çabalarının bir sonucu olarak EPBD'nin yayınlanması ile üye devletler, enerji performansı değerlendirme yöntemini uygulamakla sorumlu olmuşlardır (Güçyeter, 2010). Üye ülkeler, kendi yerel koşullarına göre EPBD'ye bağlı bina enerji performansı hesaplama yöntemlerini belirleyecek ve hesaplama sonucunda binanın enerji performans seviyesi tespit edilecektir. Bu hesaplama sonucunda binanın minimum enerji performans ihtiyaçlarını karşılamak için önlemler alacaktır (Gali, 2011). 2002 yılında yayınlanan EPBD 2010 yılında revize edilmiştir. Bu düzenlemeyle yapılan önemli değişiklik ve yenilikler aşağıda belirtilmiştir (European Commission, 2018):

- Yaklaşık sıfır enerjili bina kavramını ortaya çıkarmıştır. 2019 yılından itibaren yeni yapılan kamu binalarının, 2021 yılından itibaren tüm yeni yapılan binalara yaklaşık sıfır enerjili bina olma zorunluluğu getirmiştir,
- Enerji performans gereklilikleri en uygun maliyet seviyelerine göre belirlenecektir,
- Yaklaşık sıfır enerjili bina sayısını artırmak için ulusal planlar yapılacaktır,
- Mevcut bina yenilemelerinde 1000 m² sınırının kaldırılmıştır.

2010/31/AB sayılı Bina Enerji Performans Direktifi (EPBD), 2002/91/EC sayılı Direktife kıyasla AB binalarının enerji verimliliğini artırmak için daha iddialı bir çerçeve belirlemiştir (European Commission, 2015). Enerji verimliliğini artırmak için BİT (Bilgi ve İletişim Teknolojisi) ve akıllı teknolojilerin kullanımını teşvik etmektedir (SEAF, 2018). 2002 yılında yayınlanan Bina Enerji Performans Direktifi

(2018/844/AB) 2018 yılında ikinci kez revize edilerek haziran ayında yayınlanmıştır. Bu ikinci revizyonla gelen önemli değişiklikler aşağıdaki gibidir (EuroACE, 2018):

- Her üye Devlet, 2050 yılına kadar bina stoklarını yüksek enerji verimli ve karbonsuz bina stoklarına dönüştürmek için bir eylem planı olan uzun vadeli yenileme stratejileri hazırlamalıdır. Uzun süreli yenileme stratejileri, mevcut binaların yaklaşık sıfır enerjili binalara maliyet etkin dönüşümünü kolaylaştırmalıdır.
- Uzun süreli yenileme stratejileri kapsamında, üye devletler için açılan yeni bir seçenek, Bina Yenileme Pasaportlarının kullanılmasıdır. Bu pasaport olarak isimlendirilen belge, bina sahiplerine ve/veya yöneticilerine binalarında sağlanan enerji tasarrufu potansiyeli hakkında daha güvenilir ve bağımsız bilgi sağlayan ve aynı zamanda bu tasarrufları ve ilişkili faydaları sağlama yolunu açıklayan belgelerdir.
- Enerji verimli yenileme çalışmalarının finansmanının iyileştirilebileceği anahtar yol sunmaktadır. Üye devletlerin enerji yenileme çalışmalarını destekleyen finansal önlemler ile elde ettikleri enerji performansındaki gerçek iyileşme ile ilişkilendirmesine olanak tanıyan, finansman konusundaki hükümler önemli ölçüde güçlendirilmiştir.
- Teknik bina sistemlerinin ve bina otomasyon/kontrol sistemlerinin kullanılma biçiminde önemli değişiklikler içermektedir. Bireysel oda sıcaklığı kontrolü, mevcut ve yeni büyük konut dışı binalarda 2025 yılına kadar bina otomasyonu ve kontrol sistemleri zorunlu olarak kurulmalıdır ve teknik bina sistemleri ile kısmen yükte enerji performansının zorunlu olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Ek I: Hesaplama metodolojilerinin şeffaflığını arttırmak ve üye devletleri binalarının enerji performansını ölçmek için Avrupa standartlarını daha fazla kullanmaya teşvik etmek amacıyla binaların enerji performansını tanımlamak için kullanılan metodoloji kapsamlı şekilde revize edilmiştir.
- Tanımları içeren Madde 2, özellikle teknik bina sistemleriyle ilgili olarak, daha geniş bir sistem yelpazesinin getirilmesi ve bina otomasyonu ve kontrolleri için ayrı bir tanımın dahil edilmesi için özellikle teknik bina sistemleriyle ilgili olarak değiştirilmiş ve genişletilmiştir.
- Yeni binalara ilişkin hükümler (Madde 6) biraz basitleştirilmiştir.

Enerji verimliliği ile ilgili 25 Ekim 2012'de 2012/27/AB sayılı Direktif kabul edilmiştir. Bu direktif AB'nin 2020 yılında %20 enerji verimliliği hedefine ulaşmasını sağlamak için önlemler getirmiştir (Conseil Européen des Professions Immobilières, 2013). AB Üye Devletleri'nde enerji verimliliğini teşvik etmek ve 2020'nin ötesinde enerji verimli iyileştirmelerin önünü açmak için ortak bir çerçeve oluşturmaktadır (BusinessEurope, 2016).

2.5.2 Türkiye'deki Yasal Düzenlemeler

Türkiye, 1950 ve 2008 yılları arasında nispeten genç bir yapı stoğuna sahiptir ve binalarda enerji ile ilgili düzenlemeler 2000 yılına kadar yeterli bir şekilde uygulanamamıştır. Çoğu durumda, iklimsel koşullar tasarım aşamasında göz ardı edilmiştir. Öte yandan Türkiye, ülke çapında çeşitli iklim koşullarına sahip bir ülkedir. Bina tasarımında temel bir rehber görevi görebilecek bu çeşitli iklim koşulları, binalarda farklı enerji verimliliği düzenlemelerini gerektirmektedir.

Türkiye, enerji tüketimindeki artış nedeniyle 1970'lerde enerji kullanımıyla ilgili önlemler almaya başlamıştır (Güçyeter, 2010). "Binalarda enerjinin verimli kullanılmasına yönelik TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları ilk olarak 1970'te yayınlanmıştır". Fakat o zamanda bu yönetmeliğin uygulama zorunluluğu yoktur. 1981'de Isı Yalıtım Yönetmeliği yürürlüğe konmuştur (Kılıçlı, 2012).

Başka bir düzenleme ise 1984'te "Mevcut Binalarda Isı Yalıtımı Aracılığıyla Yakıt Verimliliği ve Hava Kirliliğinin Azaltılması Yönetmeliği" olarak yapılmıştır. Bu yönetmelikte, binalarda ısı yalıtımı ile ilgili standartlaşma sağlanamamıştır ki bu da yönetmeliğin çoğu durumlarda uygulanamaz hale gelmesine neden olmuştur.

1995'te Türk Standartları 825 (TS 825) revize edilmeye başlanmış, 1998'de bu standart TSE Teknik Kurulu'nca onaylanarak yürürlüğe girmiştir. Sonra Bayındırlık ve İskân Bakanlığının onayına sunulmuş ve 14 Haziran 1999 yılında resmi gazetede yayınlanmıştır (Erbil ve Akıncıtürk, 2006). 14 Haziran 2000'de zorunlu hale gelen TS 825'in son sürümü, binaların ısıtma enerjisi talebini azaltmayı ve binalarda ısıtma amaçlı enerji tasarruf potansiyelinin hesaplanmasını hedeflemektedir. Dolayısıyla, Türkiye'de 2000 yılından önceki binalar ısı ve nem

yalıtımı çoğunlukla bulunmamaktadır. Bu binalar, ısıtma ve soğutma için daha fazla enerji tüketmekte ve özellikle bina kabuğu için iyileştirmeler gerektirmektedir.

TS 825'e paralel olarak 1997'de EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) ve TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) tarafından farklı sektörlerde enerji tüketiminin belgelendirilmesi için ilk girişim olan bir proje başlatılmıştır. Bu proje, bina sektörü ve ulaşım sektörüne dayalı iki bölümden oluşmaktadır. Bina sektörüne dayalı bölümün amacı, mevcut binaların yapısal özellikleri, yalıtım seviyeleri, kurulum sistemleri, iklim ilişkileri ve tüketim seviyeleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel bir veri tabanını oluşturmaktır. Bu proje, Türkiye'nin bina sektörü üzerinden yapılan ilk denetim projesidir. İstatistiksel sonuçlar 2001'de TÜİK tarafından yayınlanmıştır. 1997'de başlayan diğer bir araştırma “Kamu Binalarının Enerji Tüketimini Azaltma Önlemleri” dir. Bu araştırma, tüm resmi kamu binalarını (belediyeler, devlet daireleri, üniversite binaları vb.) hedef almaktadır. Her bina için 1998 yılından beri yıllık enerji tüketimi için rapor istenmekte ve mevcut veri tabanı EİE tarafından oluşturulmaktadır (Güçyeter, 2010).

Kasım 2002'de Türkiye ile Almanya arasındaki işbirliği programı çerçevesinde “Binalarda Enerjinin Verimli Kullanılması-Erzurum İlinde Uygulama” adlı bir proje başlatılmıştır (Gökmen, 2006). Bu projenin amaçları; bir hacmin ısıtılması için gerekli önlemleri alarak tüketilen enerjiyi azaltmak, binalarda enerji etkin kullanımı üzerine toplum bilincini artırmak, binalarda enerjiyi etkin kullanılarak ithal edilen enerji ve CO₂ emisyon miktarını azaltmak, pilot şehir Erzurum'da elde edilen deneyimler aracılığıyla Türkiye'nin diğer bölgelerine de uygulanabilir bir metodoloji sağlamaktır (Buyruk, 2005).

2007'de enerji verimliliği çalışmaları için bir dönüm noktası olan “Enerji Verimliliği Kanunu” yürürlüğe girmiştir (Kılıçlı, 2012). Bu kanunun amacı, enerjiyi etkin kullanmak, enerji tüketiminin ekonomi ve çevre üzerindeki etkisini azaltmak ve aşırı enerji tüketiminin önlenmesi için enerji verimliliğini artırmaktır (Enerji Verimliliği Kanunu, 2007: madde 1). Bu kanunun usul ve esasları:

- Enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında,
- Sanayi kuruluşlarında,
- Binalarda,

- Elektrik enerjisi üretim tesislerinde,
- İletim-dağıtım şebekelerinde ve ulaşımda enerji verimliliğini artırmayı ve desteklemeyi kapsar.

Bu kanun ayrıca, toplumda enerji farkındalığının geliştirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik uygulanacak usul ve esasları içermektedir (Gali, 2011).

Enerji Verimliliği Kanununda, sanayi kuruluşları ve binalar için bir takım yaptırımlar getirilmiştir (Kılıçlı, 2012). Bu kanun, Türk inşaat sektörü için ilk kez bina projelerinde enerji belgelerini zorunlu kılmaktadır (Güçyeter, 2010).

Enerji verimliliğiyle ilgili, 5 Aralık 2008'de "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEP)" 27075 Sayılı Resmi Gazete' de yayınlanmış, 5 Aralık 2009 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik; mevcut ve yeni yapılacak olan konutları, ticari ve hizmet maksatlı kullanılan yapıları kapsar (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2008). Bu yönetmeliğin temel amaçları şunlardır:

- İklim şartları, iç mekân ısı gereksinimleri ve maliyet verimliliği bakımından binalarda enerji performansı hesaplama yöntemlerini tanımlamak,
- Binaları birincil enerji kullanımı ve CO₂ emisyonlarına göre sınıflandırmak,
- Yenileme gerektiren yeni ve mevcut binalar için enerji performansı gerekliliklerini belirlemek,
- Binalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını değerlendirmek,
- Bina tesisat sistemlerinin performansını incelemek,
- Sera gazı emisyonlarını sınırlandırmak ve çevreyi korumak,
- Binaların enerji performans ölçütlerinin çerçevesini ve uygulamasını tanımlamaktır (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2008).

Bu amaçlarla, yönetmelik EPBD'nin gerekliliklerini uyarlama sorumluluğunu yerine getirmekte ve binalarda enerjiye ilişkin alt konulara karşılık gelen ulusal ve uluslararası standartlara hitap eden bir yönetmelik olması bakımından önemlidir (Güçyeter, 2010).

BEP yönetmeliğine göre 1 Ocak 2011 tarihinden itibaren mevcut ve yeni binaların enerji kimlik belgesi (EKB) olma zorunluluğu vardır (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2008). Bu belge, binalarda enerjinin etkin ve verimli kullanılmasını hedeflemektedir. Binalar, enerji kimlik belgelerine göre sınıflandırılarak enerji performanslarının takip edilmesi hedeflenmektedir.

2010 yılında Yüksek Planlama Kurulu tarafından iklim değişikliği konusunda önemli bir belge olan “Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi” onaylanmıştır. 2010-2023 yıllarını kapsayan bu strateji belgesiyle, iklim değişikliğine sebep olan sera gazı salınımlarını azaltmayı amaçlamaktadır. Strateji, bir yıl gibi kısa vadeli, 1-3 yıllık orta vadeli ve süresi 10 yıla kadar yayılan uzun vadeli hedefleri içermektedir. Bu hedefler; enerji, sanayi, ulaştırma, tarım, ormancılık ve atık sektörlerinde ortaya konulmuştur. Binalarda kısa vadede enerji verimliliğini artırıcı uygulamalar teşvik edilecektir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010).

1 Nisan 2010 tarihinde “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” 27539 sayılı resmi gazetede yayınlanmıştır (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 2010).

20 Nisan 2011 tarihinde BEP yönetmeliği tekrar bir değişiklik geçirmiştir (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 2011). Buna göre yeni binalar için Enerji Kimlik Belgesi (EKB) bulunmayan binalara yapı kullanma izin belgesi verilmeyecektir. EKB içerisinde yer alan bilgilerin doğruluğundan EKB düzenlemeye yetkili kuruluşlar sorumlu olacaktır (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 2011).

2012 yılında “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023” yürürlüğe girmiştir. Bu belge ile sonuç odaklı hedeflerle desteklenmiş bir politikanın belirlenmesi ve hedeflere ulaşmak için yapılması gerekli eylemler tanımlanması amaçlanmıştır. Temel hedef, Türkiye'nin Gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) başına tüketilen enerji miktarını 2011 yılına kıyasla 2023 yılında en az %20 azaltmaktır (Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, 2012).

2013 yılında kabul edilen Onuncu Kalkınma Planı, 2014-2018 dönemini kapsamaktadır. Ülkemizin 2023 yılı hedefleri doğrultusunda, toplumun refah düzeyini artırma yolunda önemli bir kalkınmadır. Kalkınmanın kapsadığı dönem süresince Türkiye, mutlak yoksulluk problemini çözmüş ve gelir grubu yüksek olan ülkeler arasına girmiş bir ülke haline gelmesi hedeflenmektedir. Hedefleri gerçekleştirmek için, “endüstrileşme süreci hızlandırılacak; üretim faktörlerinin verimlilik düzeyi ve yurtiçi tasarrufları artırılacak; ekonominin yenilikçi ve ithalat bağımlılığı azalmış bir yapıya dönüştürülmesi” sağlanacaktır (Onuncu Kalkınma Planı, 2013).

Ayrıca ETKB, 2015-2019 Stratejik Planında “Enerjisini Verimli Kullanan Bir Türkiye” ve “Enerji Verimliliğine ve Tasarrufuna Yönelik Gelişmiş Kapasite” başlıkları adı altında enerji verimliliğine yönelik hedefler belirlemiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017).

28 Nisan 2017 tarihinde ise BEP yönetmeliğinde yine bir takım değişiklikler yapılarak son halini almıştır. Buna göre enerji kimlik belgesi vermeye yetkili kuruluşlar üzerinde bir değişiklik yapılmıştır. Bakanlık tarafından yetkilendirilen gerçek veya tüzel kişiler enerji kimlik belgesi düzenleyecektir. Mevcut binalara ısı yalıtımı yapılmadan önce uygulayıcı firma ile müşteri arasında “Isı Yalıtımı Uygulaması Hizmet Sözleşmesi” imzalanması maddesi yönetmeliğe eklenmiştir (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 2017). Binaların alım satım ve kiralama işlemlerinde Enerji Kimlik Belgesi bulunması zorunluluğu 01 Ocak 2020 tarihine kadar uzatılmıştır.

3. UYGULAMA ÇALIŞMASI

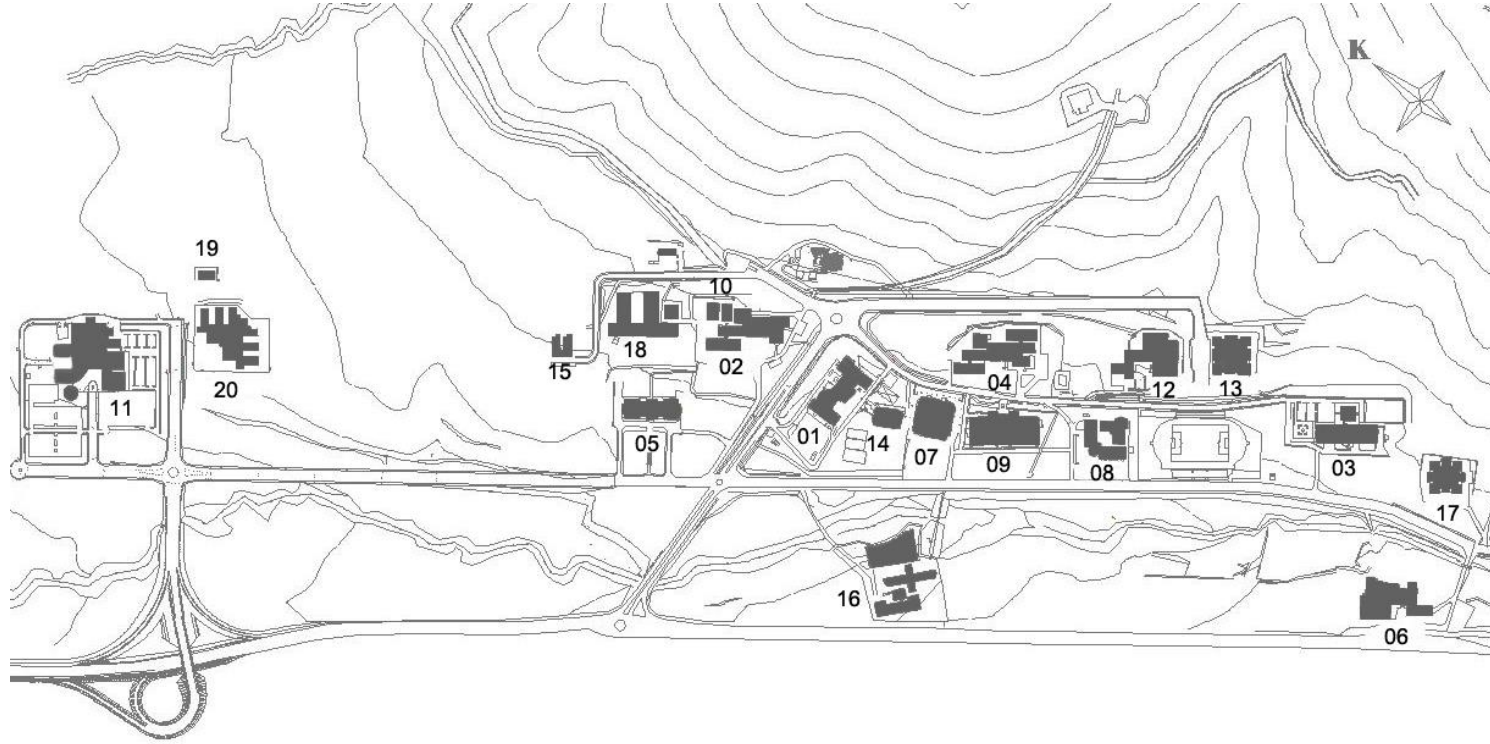
3.1 Çalışma Alanı ve Binaların Genel Özellikleri

Çalışma alanı olan Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü, Marmara Bölgesi'nin güneyinde Balıkesir-Bigadiç karayolunun 17.km'sinde Çağış ve Paşaköy sınırları içinde 5.000 dönümlük bir arazi üzerinde konumlanmıştır (Türgay, 2014).



Resim 3.1: Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü (URL 8).

Çağış Kampüsünde Rektörlük, Tıp Fakültesi Hastanesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi (M.M.F), Fen-Edebiyat Fakültesi(F.E.F), İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi(İ.İ.B.F), Turizm Fakültesi, Veteriner Fakültesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu(B.E.S.Y.O), Meslek Yüksekokulu (M.Y.O), Mediko Sosyal Binası (2001-2013 yılları arasında Tıp Fakültesi Hastanesi olarak kullanılmıştır. 2018 Eylül ayından itibaren ise Meslek Yüksek Okulu binası olarak kullanılmaktadır.), Kapalı Spor Salonu, Kapalı Yüzme Havuzu, Yemekhane, Merkezi Laboratuvar, Deney Hayvanları Merkezi, Mühendislik Atölyesi, Morfoloji Binası, Mühendislik Fakültesi Ek Binası, Residorm Öğrenci Yurdu, Kredi ve Yurtlar Kurumu, Kongre ve Kültür Merkezi, Açık Spor Tesisleri ve Öğrenci Çarşısı, Çağış Yerleşkesinde bulunmaktadır (Resim 3.1 ve Şekil 3.1).

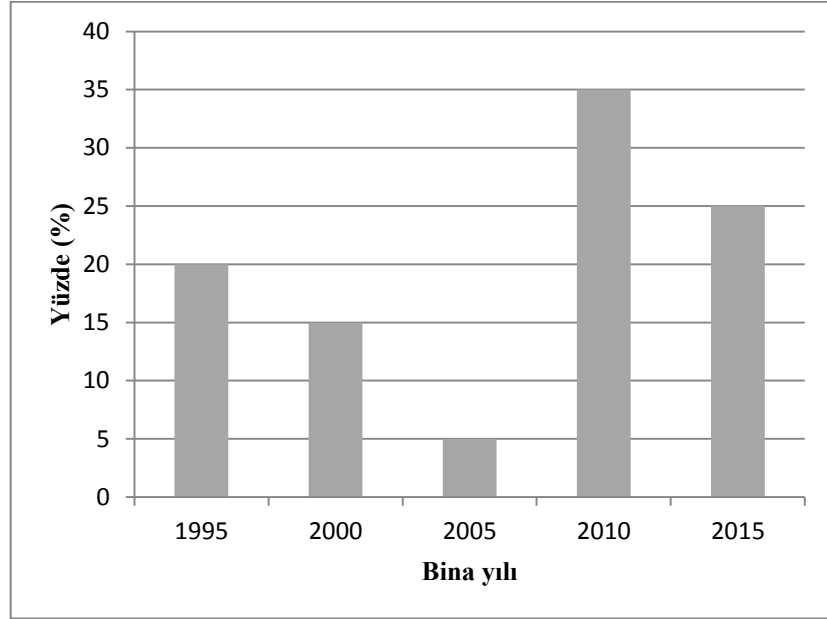


- | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 01: Meslek Yüksek Okulu | 05: Rektörlük | 09: Yemekhane | 13: İ.İ.B.F ve Sağlık Bilimleri Fak. | 17: Veteriner Fakültesi |
| 02: Mühendislik-Mimarlık Fakültesi | 06: Uygulama Oteli | 10: Mühendislik Atölyesi | 14: Kapalı Yüzme Havuzu | 18: Mühendislik Fakültesi Ek Binası |
| 03: Turizm Fakültesi | 07: Kapalı Spor Salonu | 11: Tıp Fak. Hastanesi | 15: Merkezi Laboratuvar | 19: Deney Hayvanları Merkezi |
| 04: Fen-Edebiyat Fakültesi | 08: Mediko Sosyal Binası | 12: B.E.S.Y.O | 16: Residorm Öğrenci Yurdu | 20: Morfoloji Binası |

Şekil 3.1: Çağış Kampüs haritası.

Kampüs içerisinde eğitim, laboratuvar, spor, sosyal, sağlık ve idari amaçlı binalar yer almaktadır. Bazı binalar çok fonksiyonludur. Örneğin; Rektörlük binası idari ve kütüphane, Tıp Fakültesi Hastanesi eğitim ve sağlık, yine Morfoloji binası eğitim ve sağlık yapısı olarak hizmet vermektedir.

Çağış kampüsünde bulunan binaların yapım yılı, alanı, fonksiyonları gibi temel bilgileri Tablo 3.1’de özetlenmiştir. Binaların büyük kısmı eğitim binasıdır ve Şekil 3.2’de görüldüğü gibi binaların çoğu 2010 yılı ve öncesinde inşa edilmiştir. En eski bina 1992 yılı yapımı Meslek Yüksek Okulu binasıdır. Morfoloji, Deneysel Hayvanlar Merkezi ve Mühendislik Fakültesi Ek Binası ise 2014 yılında yapılmış en yeni binalardır. Toplam bina alanı bakımından 812 m²’yle en küçük bina Deneysel Hayvanlar Merkezi iken en büyük bina 34190,95 m²’yle Fen-Edebiyat Fakültesi’dir. Deneysel Hayvanlar Merkezi, zeminde kapladığı alan bakımından da 468 m²’yle en küçüktür. Fen-Edebiyat Fakültesi zeminde kapladığı alan bakımından 6201,31 m²’yle en fazla alana oturan binadır. 2017 sonu itibariyle 20 binanın toplam kapalı alanı 65179,817 m²’dir.



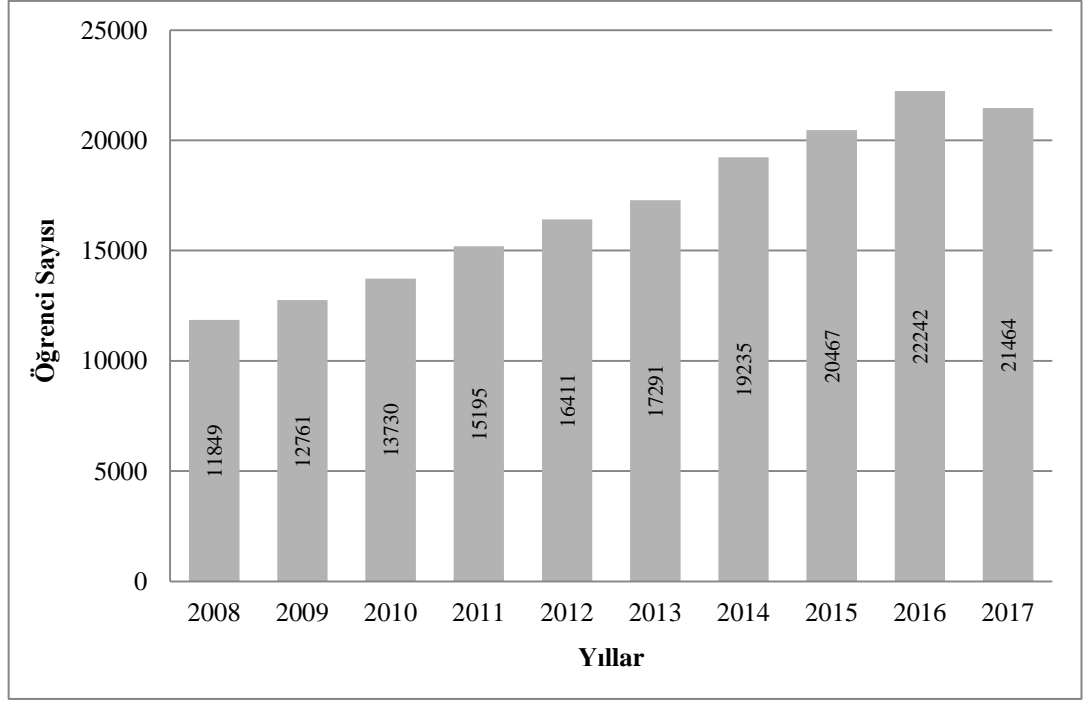
Şekil 3.2: Kampüste yıllık bina oranları.

Tablo 3.1: Çağış Kampüs binalarına ait temel bilgiler.

Bina Kodu	Bina Kullanım Amacı	Yapım Yılı	Bina Taban Alanı(m ²)	Toplam Bina Alanı(m ²)	Kat Sayısı	Yönü
01 (M.Y.O)	Eğitim	1992	4074,18	14993,30	1,3,4,5	Kuzey-Doğu
02 (M.M.F)	Eğitim	1993	5417,67	20001,25	2,4,5,9	Güneybatı-Güneydoğu
03 (Turizm Fakültesi)	Eğitim	1993	4134,75	12404,26	3	Kuzeybatı-Güneybatı
04 (F.E.F)	Eğitim	1994	6201,31	28021,98	5,6,8	Güneybatı-Güneydoğu
05 (Rektörlük)	İdari+kütüphane	1996	1770,10	15202,34	8	Güneybatı-Kuzeydoğu
06 (Uygulama Oteli)	Eğitim+sosyal	1997	5234,12	14316,55	6,2	Güneybatı
07 (Kapalı Spor Salonu)	Sosyal	2000	3464,87	10394,63	3	Güneybatı
08 (Mediko Sosyal Binası)	Sağlık	2001	2623,21	10492,84	4	Kuzeybatı-Batı-Güneybatı
09 (Yemekhane)	Sosyal	2007	5613,22	11226,45	2	Kuzeydoğu
10 (Mühendislik Atölyesi)	Laboratuvar	2008	564,74	1694,22	3	Kuzeybatı
11 (Tıp Fakültesi Hastanesi)	Eğitim+sağlık	2010	2670,00	29603	7	Güneybatı
12 (B.E.S.Y.O)	Eğitim	2010	5414,47	9020,50	1,2,4	Güneybatı
13 (İ.İ.B.F)	Eğitim	2010	2815,96	13132,65	5	Güneybatı
14 (Kapalı Yüzme Havuzu)	Sosyal	2010	1651,01	4953	3	Güneydoğu
15 (Merkezi Laboratuvar)	Laboratuvar	2010	1279,65	3838,95	3	Güneybatı
16 (Residorm Öğrenci Yurdu)	Sosyal	2011	3577,91	28623,28	8	Güneybatı-Kuzeybatı
17 (Veteriner Fakültesi)	Eğitim	2011	2815,96	13132,65	5	Güneybatı
18 (Mühendislik Fakültesi Ek Binası)	Eğitim	2014	4200,00	17860	6	Güneybatı
19 (Deney Hayvanları M.)	Laboratuvar	2014	468,00	812	2	Güneybatı
20 (Morfoloji)	Sağlık+eğitim	2014	4998,75	19328,67	5	Batı-Kuzeybatı

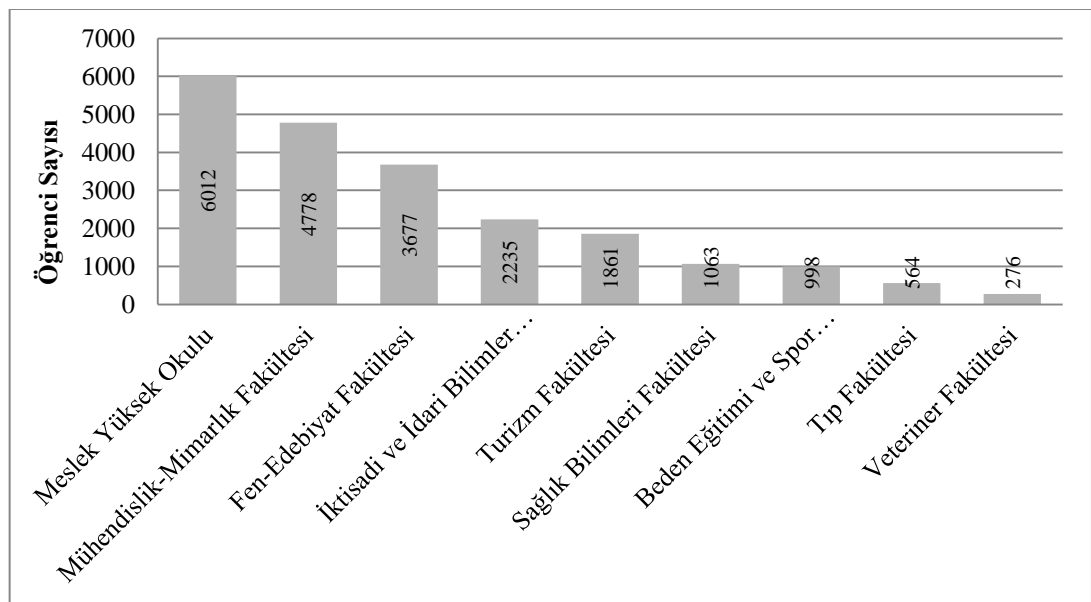
Tablo 3.1’de görülen mevcut 20 bina arasında, 2008-2017 yılları arası toplam 115.307 öğrencisi olan 7 fakülte (M.M.F, Turizm Fakültesi, F.E.F, Veteriner Fakültesi, Tıp Fakültesi, İ.İ.B.F ve Sağlık Bilimleri Fakültesi) ve 55.338 öğrencisi olan 2 yüksek okul (M.Y.O ve B.E.S.Y.O) vardır. Bu fakülte ve yüksek okulların öğrenci sayısı, Şekil 3.3’de görüldüğü gibi istikrarlı bir şekilde her yıl artmaya devam etmektedir. 2008-2016 yılları arasında her yıl bir önceki yıla göre artış oranı

ortalama %8,20'dir. 2017 yılında ise 2016 yılına göre %3,49 azalmıştır. 2008 yılına kıyasla 2017 yılında toplam öğrenci sayısı %81,14 artmıştır.



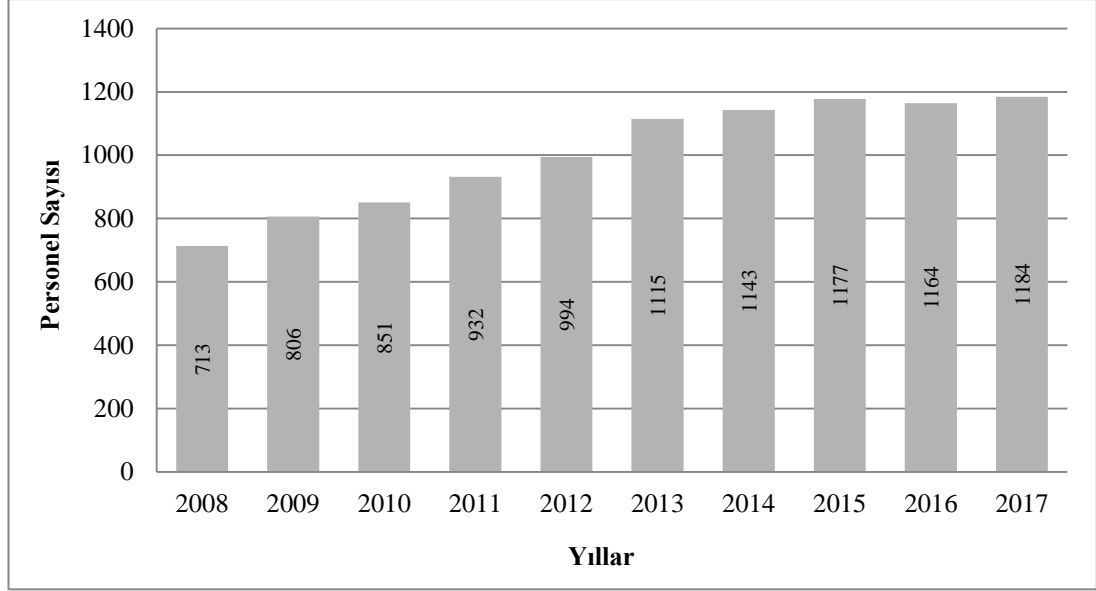
Şekil 3.3: 2008-2017 yılları arası yıllık toplam tam zamanlı öğrenci sayısı.

2017 yılı bina bazında öğrenci sayıları Şekil 3.4'de görülmektedir. En fazla öğrenci sayısına sahip bina Meslek Yüksek Okulu iken en az öğrenci sayısına sahip bina Veteriner Fakültesi'dir.



Şekil 3.4: 2017 yılı bina bazında öğrenci sayıları.

Yıllara göre personel sayısının değişimi ise Şekil 3.5’de görüldüğü gibi her yıl yaklaşık olarak %5,89 artmaktadır. 2008 yılına kıyasla 2017 yılında %66,05 artmıştır.



Şekil 3.5: 2008-2017 yılları arası yıllık toplam personel sayısı.

3.2 Mevcut Enerji Tüketiminin İncelenmesi

Bu çalışmada kampüste kullanılan ana enerji kaynakları olarak doğalgaz ve elektrik kabul edilmiştir.

Tez kapsamında Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü’ndeki binaların 2008-2017 yılları arasındaki elektrik ve doğalgaza ait ulaşılabilen aylık tüketim değerleri ilgili kuruluşlardan alınmış ve 10 yıllık veriler değerlendirilmiştir.

Kampüsteki mevcut binalardan Deney Hayvanları Merkezi ve Turizm Fakültesi’ nin doğalgaz tüketim değerlerine, Mühendislik Fakültesi Ek Binası, Mühendislik Atölyesi ve Kapalı Yüzme Havuzu’ nun ise elektrik tüketim değerlerine ulaşamamıştır. Bu nedenle bu binalar değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Ayrıca elektrik tüketiminde Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ile Rektörlük binası ortak faturalandırıldıkları için birlikte ele alınmıştır. Residorm Öğrenci Yurdu ise özel olduğu için doğalgaz ve elektrik tüketim değerlerine ulaşamamış ve

değerlendirmeye alınmamıştır. Fakat kampüsteki diğer binalara ait elektrik ve doğalgaz tüketim ulaşılabilen verileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Kişi başına düşen doğalgaz tüketimini incelemek için kampüs içerisindeki binalardan Fen-Edebiyat Fakültesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Meslek Yüksek Okulu, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, Tıp Fakültesi, Veteriner Fakültesi ve Rektörlük binasına ait kişi sayılarına ulaşılabilmektedir.

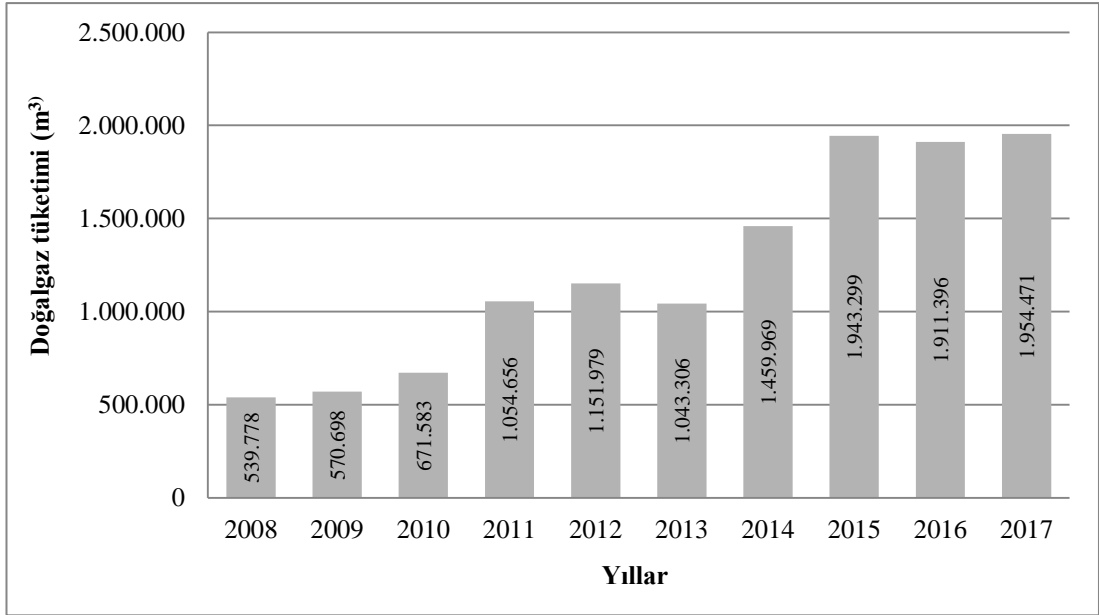
Kişi başına düşen elektrik tüketimini incelemek için ise kampüs içerisindeki binalardan kişi sayılarına ulaşılabilen fakülteler; Fen-Edebiyat Fakültesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Rektörlük, Tıp Fakültesi, Veteriner Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Meslek Yüksek Okulu, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu ve Turizm Fakültesi 'dir.

Bu bölümde bina bazında, birim alana ve kişi başına doğalgaz ve elektrik tüketimleri karşılaştırılmıştır.

3.2.1 Yıllık Toplam Doğalgaz ve Elektrik Tüketimleri

Yıllara göre kampüsün toplam doğalgaz tüketimi Şekil 3.6'da verildiği gibidir. Bu şekilde, doğalgaz tüketiminin yıllara göre önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Genel olarak bu artışın nedeni, kampüse yeni binaların inşa edilmesi ve her yıl artan öğrenci sayıları olabilir. 2011 yılında %57,04 ile 2014 yılında %39,99 oranıyla diğer yıllara kıyasla daha büyük bir artış görülmüştür. Bunun sebebi, Çağış Kampüsü'ne bazı yeni binaların bu yıllarda kullanılmaya başlanması ve öğrenci sayılarının artmasıdır. Doğalgaz tüketimine; 2011 yılında Merkezi Yemekhane ve Açık Spor Tesisi, 2014 yılında ise Tıp Fakültesi Hastanesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Merkezi Laboratuvar, Mühendislik Atölyesi ve Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binaları katılmıştır. Bu yıllardaki öğrenci sayısı ise önceki yıllara göre %10 artmıştır. 2011 yılında genel olarak ülkemizin büyük bir kısmında yıllık ortalama sıcaklıklar normalleri civarında gerçekleşirken Manisa, Balıkesir, Emirdağ, Çankırı, Batman ve Bitlis civarında ise normallerinin altında gerçekleşmiştir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2012). Bu durum doğalgaz

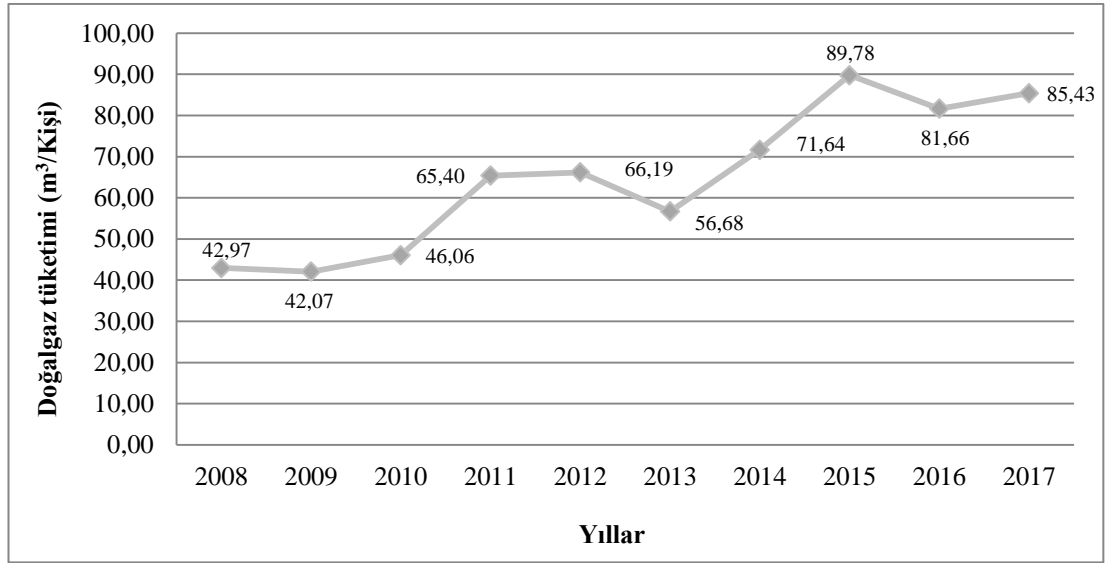
tüketiminin artmasına neden olabilir. 2013 yılında 2012 yılına göre doğalgaz tüketimi %9,43 azalmıştır. Tüketimdeki azalmanın muhtemel sebebi kampüsteki açık spor tesisinin daha az kullanılması nedeniyle bir önceki yıla göre %72,12 ile doğalgaz tüketiminin önemli ölçüde azalması ve bu durumun toplam tüketim değerini de etkilemesidir. 2015 yılında ise toplam doğalgaz tüketimi %33,10 oranında artış göstermiştir. Bunun muhtemel nedeni Balıkesir ili için 2015 yılı ortalama sıcaklıklarının normalin altında seyretmesi olabilir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2016). 2016 yılında tüketimin düşmesi ise hava sıcaklığının normal değer 1°C üzerinde gerçekleşmesinden kaynaklanabilir. 2017 yılında Morfoloji ve Mühendislik Fakültesi Ek Binası' nın inşa edilmesiyle birlikte doğalgaz tüketimi 1.954.471 m³ ile en üst seviyeye çıkmıştır. Toplam doğalgaz tüketimi 2008 yılına kıyasla 2017 yılında %262,08 oranında büyük bir artış göstermiştir.



Şekil 3.6: Toplam yıllık doğalgaz tüketimi (m³).

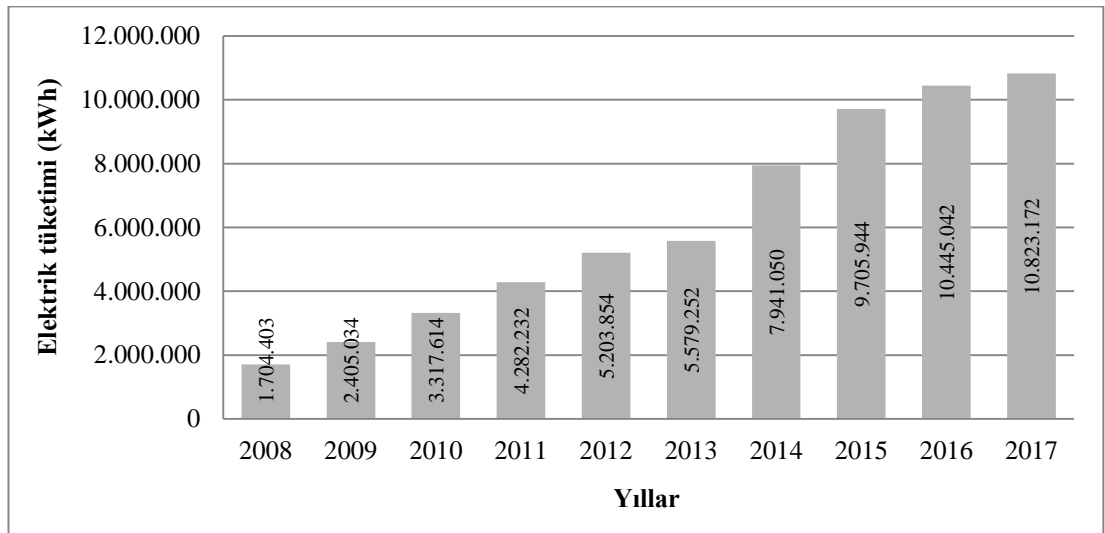
Kişi başına (öğrenci + personel) düşen yıllık doğalgaz tüketimi Şekil 3.7' de verilmiştir. Kişi başına düşen yıllık doğalgaz tüketiminin büyük oranda değişkenlik gösterdiği ve 2011'de 65,40 m³ ile zirveye ulaştığı görülmektedir. Bunun olası nedeni, Balıkesir ili için 2011 yılı ortalama sıcaklıklarının normalin altında gerçekleşmesidir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2012). Kişi başına düşen en az doğalgaz ise 42,07 m³ ile 2009 yılında tüketilmiştir. Bunun nedeni, 2009 yılında sıcaklıkların normalin 0,9°C üzerinde gerçekleşmesi ve bina sayısının diğer yıllara göre daha az olması olabilir. 2009 yılı aylık ortalama sıcaklıkları özellikle ocak,

şubat, haziran, ekim, kasım ve aralık aylarında Türkiye'nin tamamında normallerinin üzerinde gerçekleşmiştir (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2010).



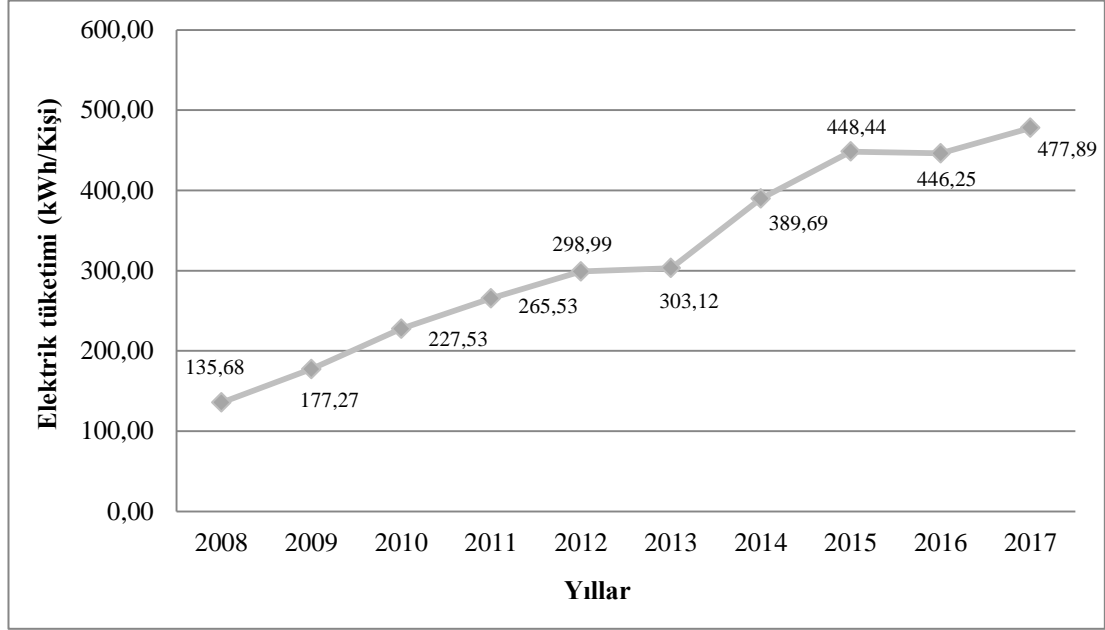
Şekil 3.7: Kişi başına düşen yıllık doğalgaz tüketimi (m³/Kişi).

Şekil 3.8'de toplam yıllık elektrik tüketim değerleri gösterilmiştir. Yıllık toplam elektrik tüketiminin ortalama %23,62 'lik bir büyüme oranı ile istikrarlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Bunun başlıca nedeni bina sayılarındaki artış, eğitim ve öğretim fiziki koşulların büyük ölçüde gelişmiş olması ve öğrenci sayısındaki artış olarak ifade edilebilir.



Şekil 3.8: Toplam yıllık elektrik tüketimi (kWh).

Kişi başına düşen yıllık elektrik tüketimi ise Şekil 3.9’ da gösterilmiştir. 2008 yılında 135,68 kWh ile kişi başına düşen en düşük elektrik tüketimi gerçekleşmiş olup sonra 2015 yılına kadar artış göstermiştir. 2016 yılında azalmasının muhtemel nedeni ise kapasite aynı kalırken öğrenci sayılarındaki artış olabilir. 2017 yılında 477,89 kWh ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır.



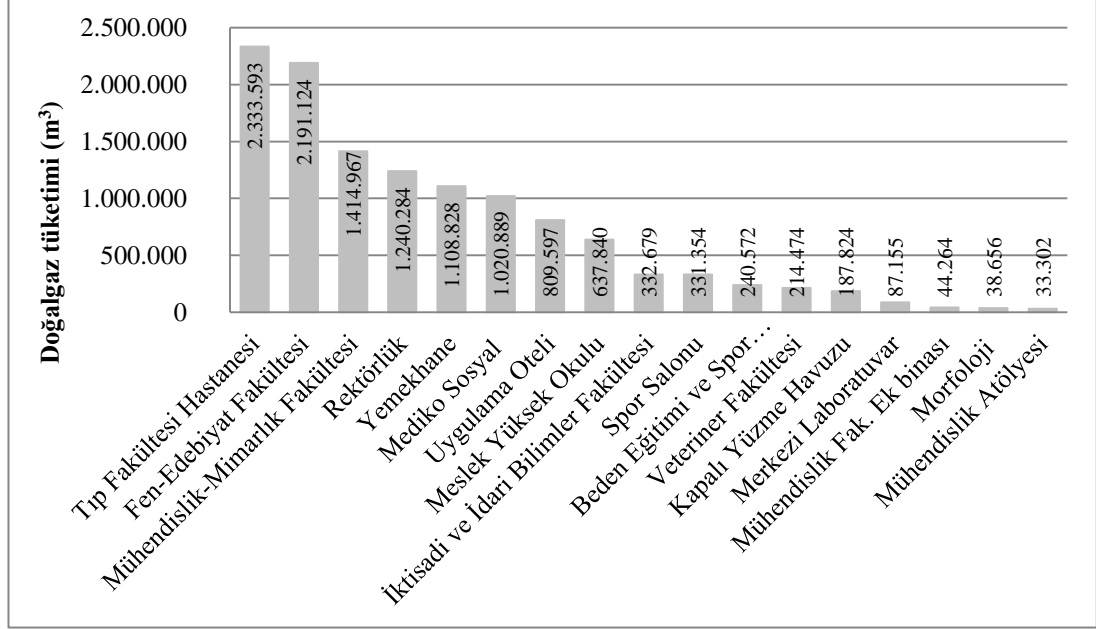
Şekil 3.9: Kişi başına düşen yıllık elektrik tüketimi (kWh/Kişi).

3.2.2 Bina Bazında Doğalgaz ve Elektrik Tüketimleri

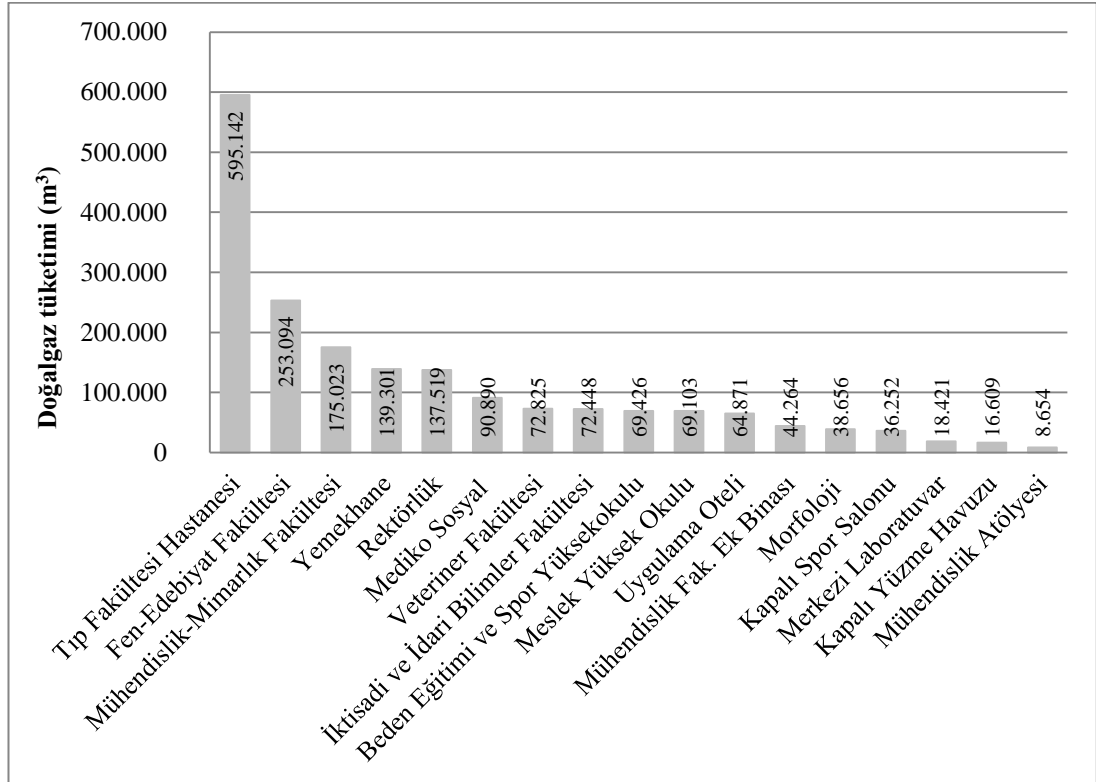
Şekil 3.10 ve 3.11’ de görüldüğü gibi elektrik ve doğalgaz tüketimlerinde binalar arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. En fazla tüketim gerçekleşen binadan en az tüketim gerçekleşen binaya doğru bir sıralama yapılmıştır.

2008-2017 yılları arası toplam doğalgaz tüketiminin en fazla olduğu bina 2.333.593 m³ ile Tıp Fakültesi Hastanesi iken en az tüketim gerçekleşen bina 33.302 m³ ile Mühendislik Atölyesi olmuştur (Şekil 3.10). En fazla tüketimin Tıp Fakültesi Hastanesi’ nde gerçekleşmesinin en önemli nedeni binanın 24 saat boyunca kullanıma açık olması olabilir. En az tüketimin Mühendislik Atölyesi’ nde gerçekleşmesinin nedeni ise kullanım alanının diğer binalara göre daha az olmasıdır.

Binaların 2017 yılı toplam doğalgaz tüketim verilerine bakıldığında ise doğalgazın en fazla tüketildiği bina 595.142 m³ ile yine Tıp Fakültesi Hastanesi olurken en az doğalgaz tüketimi 8.654 m³ ile Mühendislik Atölyesi' nde gerçekleşmiştir (Şekil 3.11).

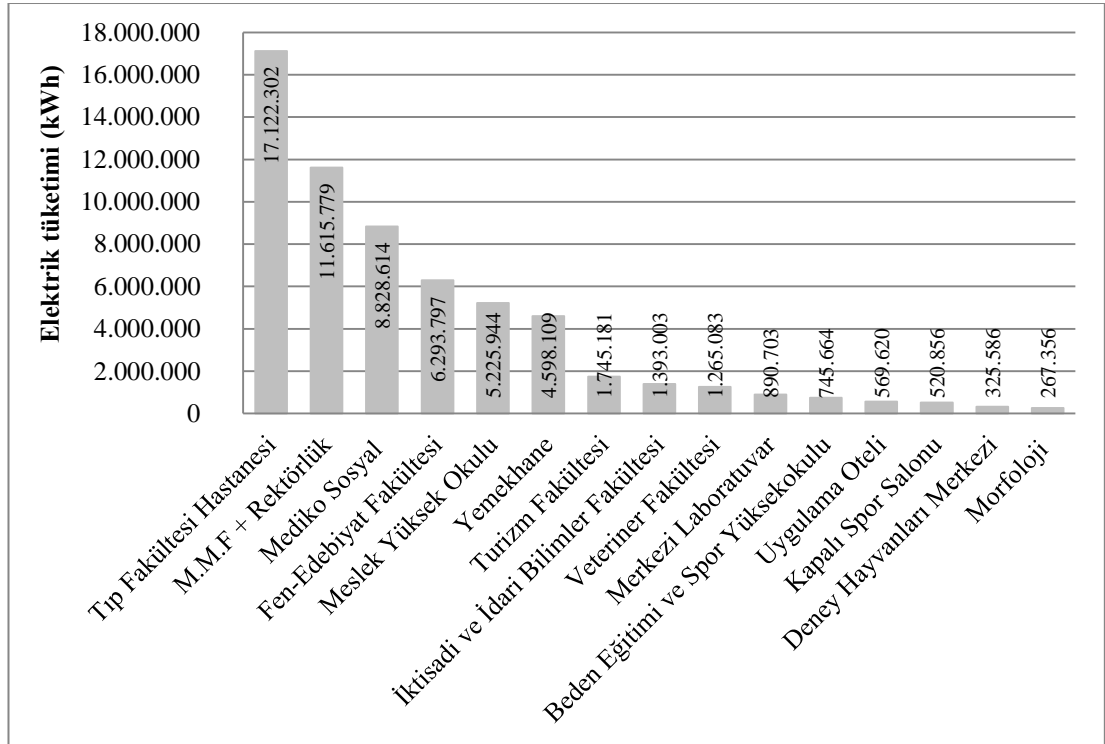


Şekil 3.10: Bina bazında toplam doğalgaz tüketimi-m³ (2008-2017).



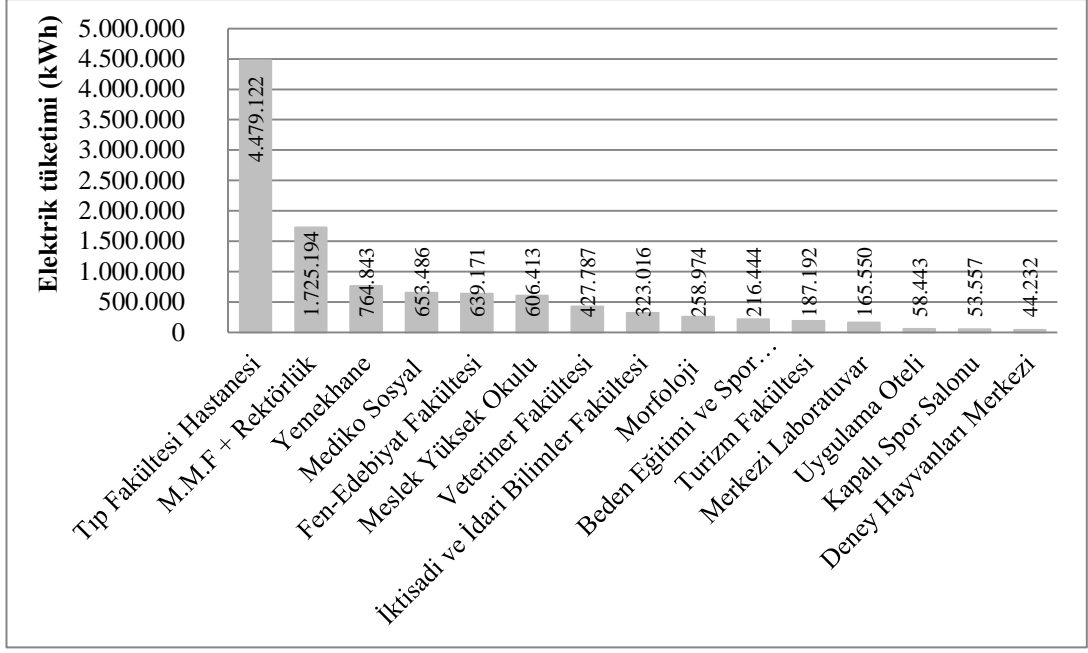
Şekil 3.11: 2017 yılı bina bazında toplam doğalgaz tüketimi (m³).

2008-2017 yılları arası toplam elektrik tüketiminin en fazla olduğu bina 17.122.302 kWh ile Tıp Fakültesi Hastanesi iken en az tüketim gerçekleşen bina 267.356 kWh ile Morfoloji binası olmuştur (Şekil 3.12). Tıp Fakültesi Hastanesi' nin 24 saat kullanılması ve yüksek elektrik tüketen cihazların bulunması elektrik tüketimini arttıran muhtemel sebepler arasındadır. Morfoloji binası 2017 yılında kullanılmaya başlanmıştır bu nedenle en az elektrik tüketimi bu binada gerçekleşmiştir.



Şekil 3.12: Bina bazında toplam elektrik tüketimi-kWh (2008-2017).

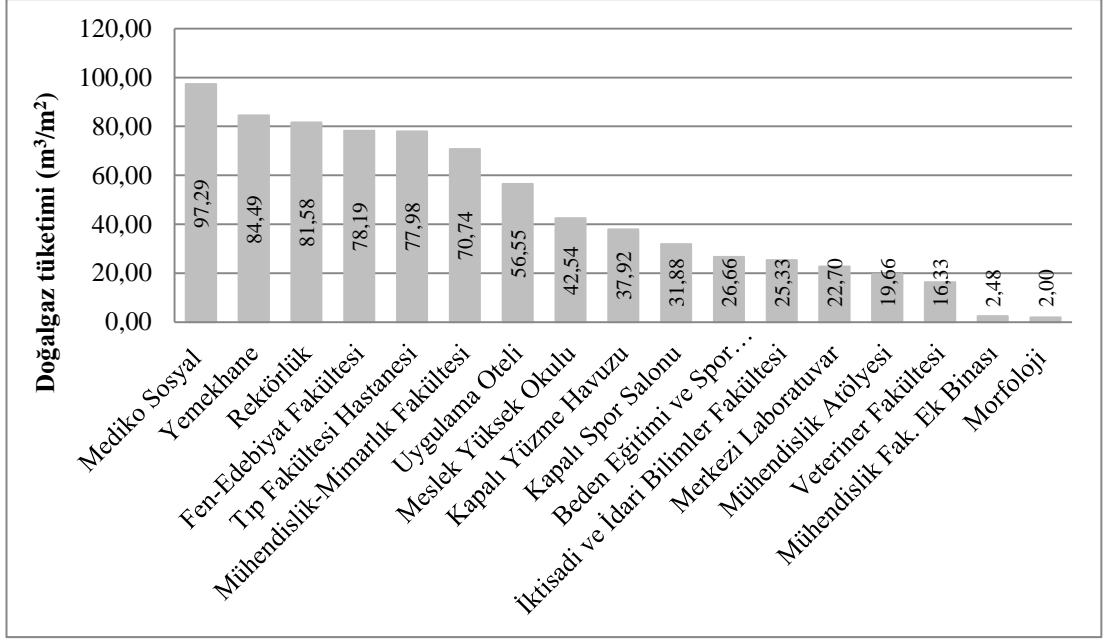
Binaların 2017 yılı toplam elektrik tüketim değerleri Şekil 3.13'de görülmektedir. Buna göre 2017 yılında en fazla elektrik tüketiminin gerçekleştiği bina 4.479.122 kWh ile Tıp Fakültesi Hastanesi olurken en az tüketim 44.232 kWh ile Deney Hayvanları Merkezi'nde gerçekleşmiştir.



Şekil 3.13: 2017 yılı bina bazında toplam elektrik tüketimi (kWh).

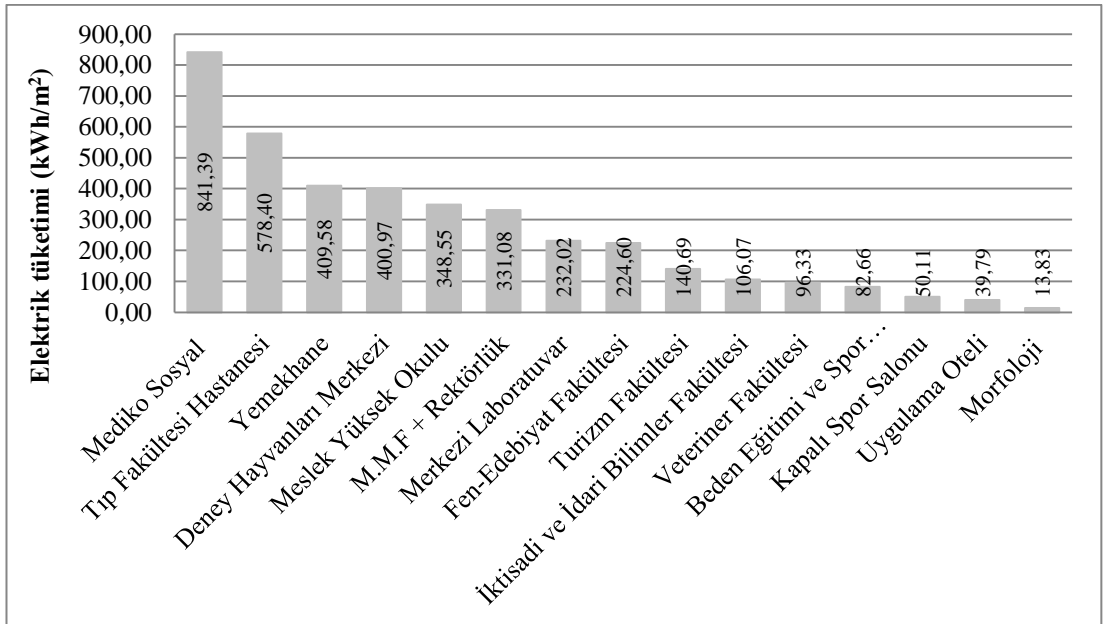
Şekil 3.14 ile Şekil 3.15’de farklı binaların 2008-2017 arası birim alan başına düşen yıllık doğalgaz ve elektrik tüketim değerleri verilmiştir. Binalar arasında önemli farklılıkların olduğu görülmektedir.

Şekil 3.14’de görüldüğü üzere, Mediko Sosyal binası birim alan başına düşen doğalgaz tüketimi $97,29 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ile en yüksektir. Bunun en önemli sebebi 2009 yılı Ağustos ayında kurulan üniversite hastanesi bu binada hizmet vermeye başlamış ve 2014 yılına kadar aynı binada hizmet vermeye devam etmiştir. Yemekhane $84,49 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ile ikinci sıradadır. Yemekhanede idari personel ve öğrenci için verilen tüm yemekler hazırlanmaktadır. Bunu sırasıyla; Rektörlük, Fen-Edebiyat Fakültesi, Tıp Fakültesi Hastanesi ve Mühendislik-Mimarlık Fakültesi takip etmektedir. Morfoloji binası da, birim alanı başına düşen doğalgaz tüketimi $2 \text{ m}^3/\text{m}^2$ olmak üzere en düşük doğalgaz tüketimine sahiptir. Bunun sebebi ise, bu binanın 2017 yılında kullanıma açılmasıdır.



Şekil 3.14: Birim alan başına düşen doğalgaz tüketimi (m³/m²) (2008-2017).

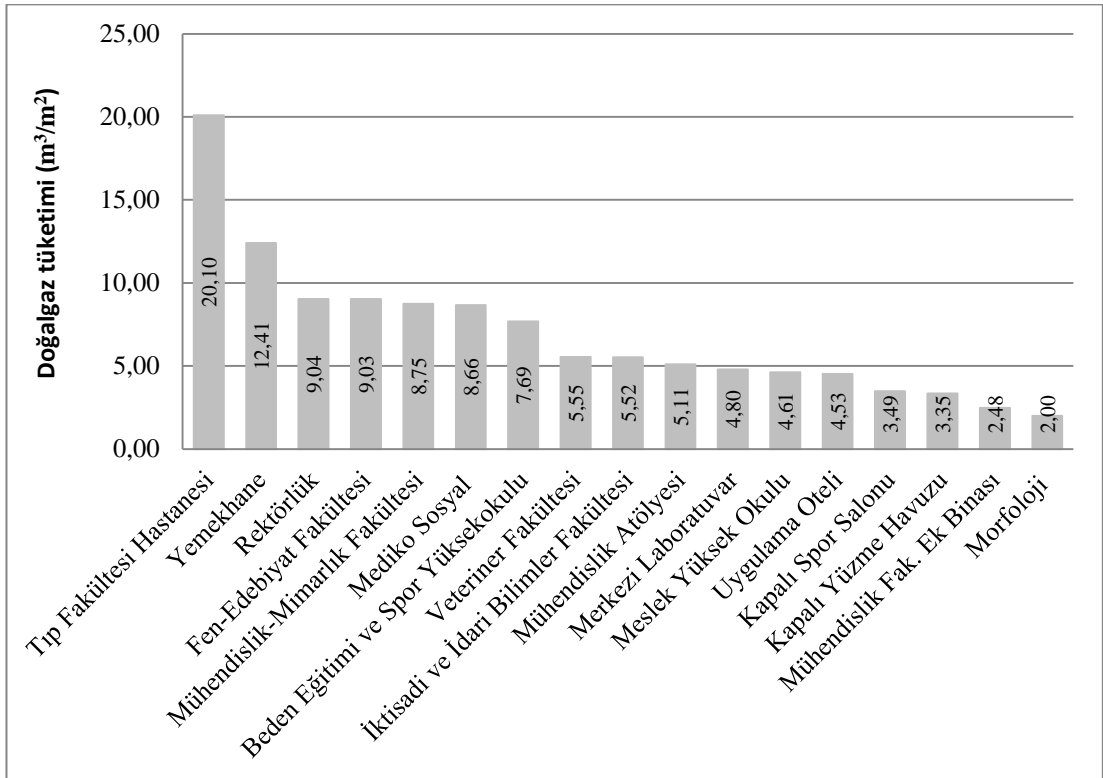
Şekil 3.15’de de görüldüğü üzere birim alan başına düşen elektrik tüketimlerinde büyük farklılıklar bulunmaktadır. Mediko Sosyal binası birim alanı başına düşen elektrik tüketimi 841,39 kWh/m² ile en yüksektir. Tıp Fakültesi Hastanesi ise 2014 yılında elektrik tüketimine katılmasına rağmen 578,40 kWh/m² ile ikinci sırada yer almaktadır. Morfoloji binası ise, bina alanı başına düşen elektrik tüketimiyle (13,83 kWh/m²) en düşük değere sahiptir.



Şekil 3.15: Birim alan başına düşen elektrik tüketimi (kWh/m²) (2008-2017).

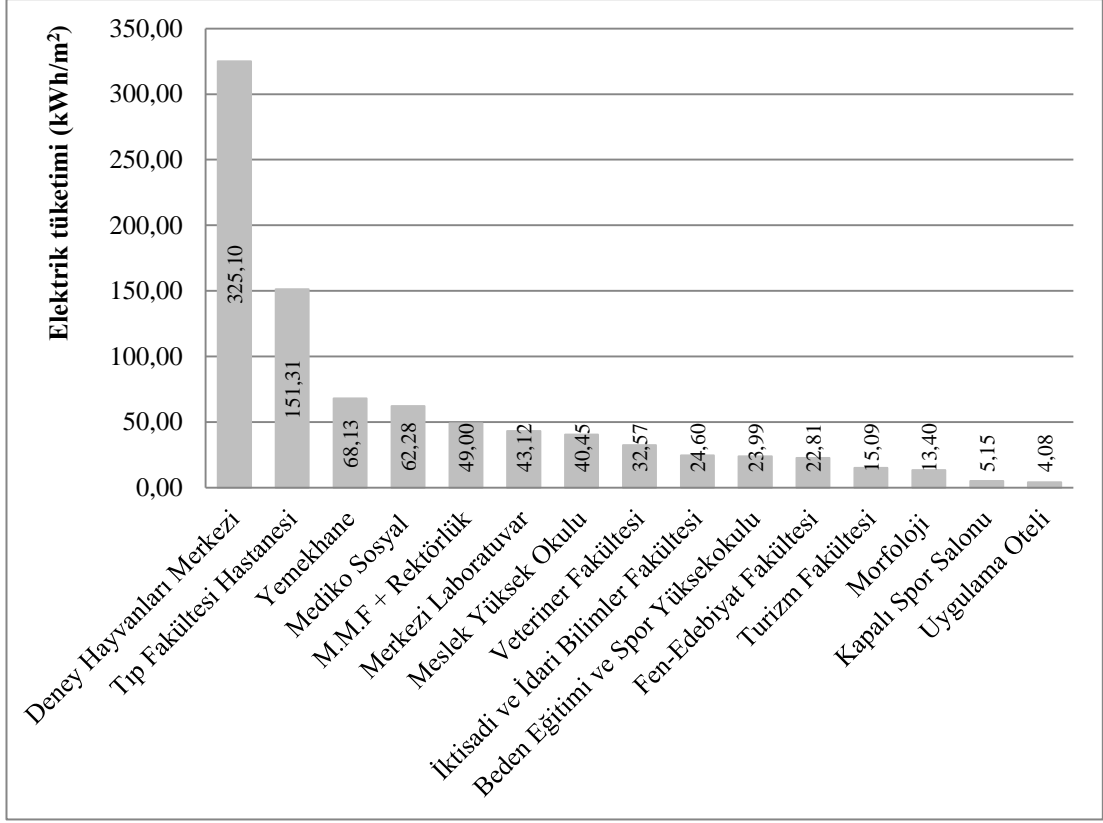
Şekil 3.16 ile Şekil 3.17’de farklı binaların 2017 yılında birim alan başına düşen yıllık doğalgaz ve elektrik tüketim değerleri verilmiştir.

Şekil 3.16’da görüldüğü üzere, Tıp Fakültesi Hastanesi birim alan başına düşen doğalgaz tüketimi $20,10 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ile en yüksektir. Bunun sebebi üniversite hastanesi olarak hizmet vermesidir. Yemekhane $12,41 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ile ikinci sıradadır. Morfoloji binası da, en yeni bina olması sebebiyle birim alan başına düşen doğalgaz tüketimi $2,00 \text{ m}^3/\text{m}^2$ olmak üzere en düşük doğalgaz tüketimine sahiptir.



Şekil 3.16: 2017 yılı bina bazında birim alana düşen doğalgaz tüketimi (m^3/m^2).

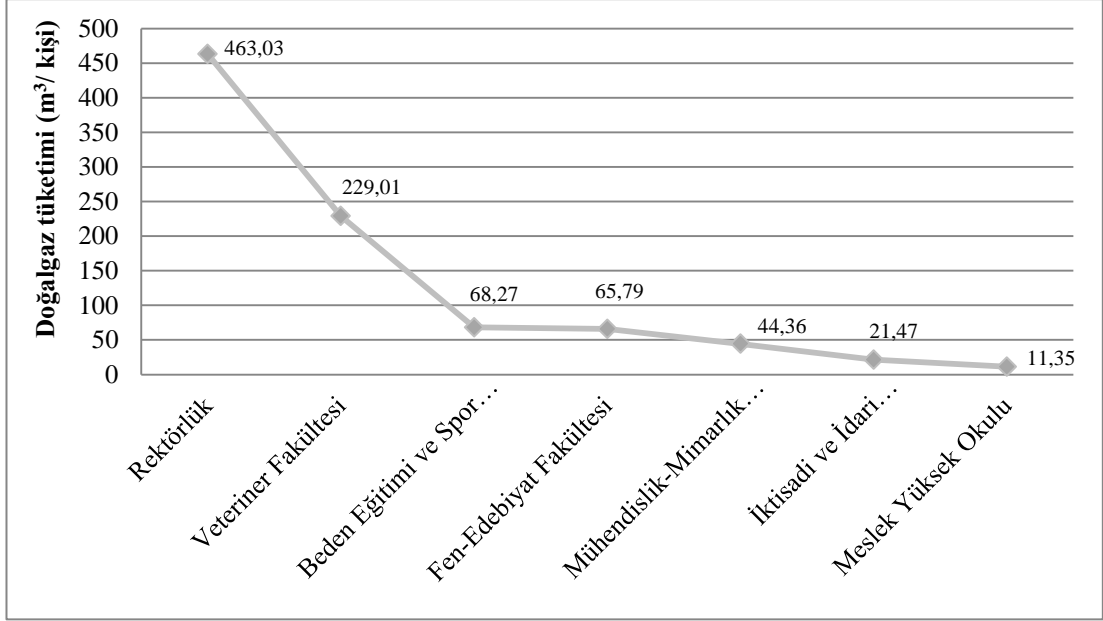
Şekil 3.17’de de görüldüğü üzere Deney Hayvanları Merkezi birim alan başına düşen elektrik tüketimi $325,10 \text{ kWh}/\text{m}^2$ ile en yüksektir. Bunun merkezde kullanılan elektrikli araçlarla ilgili olduğu düşünülmektedir. Uygulama Oteli ise, birim alan başına düşen elektrik tüketimi $4,08 \text{ kWh}/\text{m}^2$ ’yle en düşük elektrik tüketimine sahiptir. Bunun sebebi Uygulama Oteli’nin uzun zamandır otel olarak kullanılmamasıdır.



Şekil 3.17: 2017 yılı bina bazında birim alana düşen elektrik tüketimi (kWh/m²).

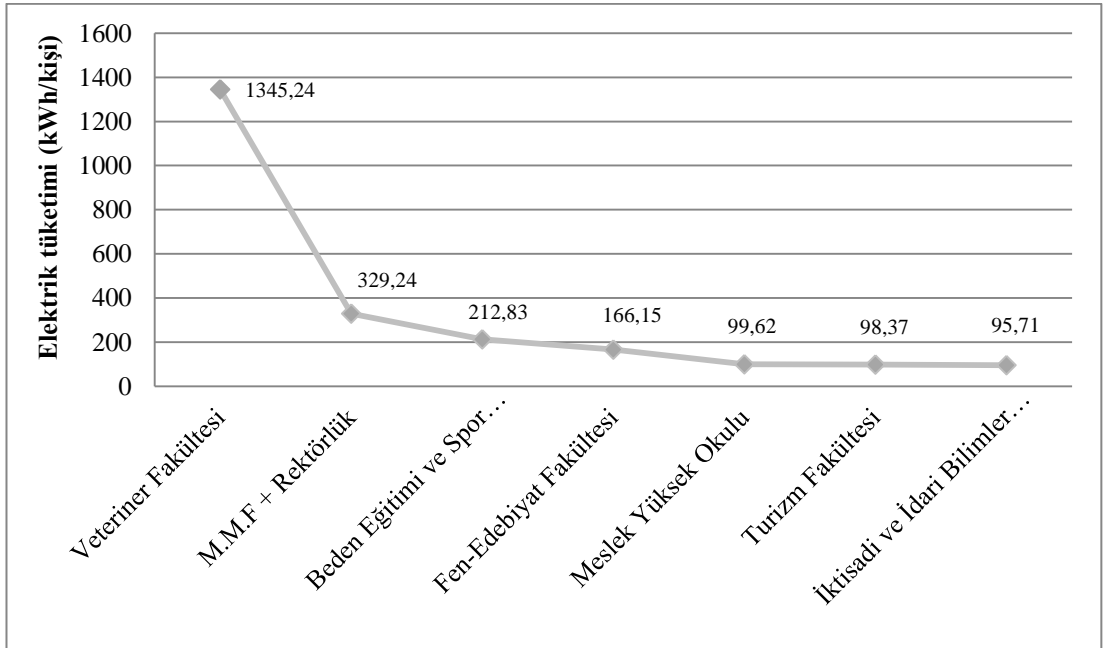
Şekil 3.18 ile Şekil 3.19’da farklı binaların 2017 yılında kişi başına düşen yıllık doğalgaz ve elektrik tüketim değerleri verilmiştir. Yemekhane, Mühendislik Atölyesi, Merkezi Laboratuvar, Uygulama Oteli, Kapalı Spor Salonu, Kapalı Yüzme Havuzu, Morfoloji ve Tıp Fakültesi Hastanesi’ndeki kişi sayıları tam olarak bilinmediği için Şekil 3.18 ve 3.19’da değerlendirmeye alınmamıştır.

Şekil 3.18’de görüldüğü üzere, Rektörlük binası kişi başına düşen doğalgaz tüketimi 463,03 m³/kişi ile en yüksektir. Meslek Yüksek Okulu da, kişi başına düşen doğalgaz tüketimi 11,35 m³/kişi olmak üzere en düşük doğalgaz tüketimine sahiptir. Bunun muhtemel sebebi 2017 yılında Rektörlük binasınının 297 kişiyle en az, Meslek Yüksek Okulu’nun 6087 kişiyle en fazla kullanıcı sayısına sahip olmasıdır.



Şekil 3.18: 2017 yılı bina bazında kişi başına düşen doğalgaz tüketimi (m³/kişi).

Şekil 3.19’da da görüldüğü üzere Veteriner Fakültesi kişi başına düşen elektrik tüketimi 1345,24 kWh ile en yüksektir. Bunun nedeni, 2017 yılında Veteriner Fakültesi’ nin bu binalar arasında en az öğrenciye sahip olmasından kaynaklanabilir. Ayrıca Veteriner Fakültesi’nde hayvan hastanesi olmaması nedeniyle poliklinik hizmeti verilmektedir. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ise, öğrenci başına düşen elektrik tüketimi 95,71 kWh ile en düşüktür.



Şekil 3.19: 2017 yılı bina bazında kişi başına düşen elektrik tüketimi (kWh/kişi).

3.2.3 Kampüs Binalarının Toplam Enerji Tüketimine Katkısı

Kampüsteki doğalgaz ve elektrik tüketiminin daha ayrıntılı analizi için yıl bazında incelenen binaların toplam enerji tüketimlerine ne kadar katkı yaptıkları aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$S = \frac{B_{Toplam}}{\sum_{i=1}^n B_{Toplam}} \times 100 \quad (3.1)$$

S: Toplam tüketime katkısı

B_{Toplam} : Bir binanın elektrik/doğalgaz tüketimi,

n: İncelenen binaların sayısıdır.

Tablo 3.2' de binaların 2008-2017 yılları arasındaki doğalgaz tüketimlerinin toplam doğalgaz tüketimine olan oranları görülmektedir. Buna göre, 2008 yılında toplam doğalgaz tüketimine en fazla katkı sağlayan bina Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'dir. 2009 yılında Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Fen-Edebiyat Fakültesi ve Rektörlük binaları aynı derecede katkı sağlamış olup 2010, 2011, 2012 ve 2013 yıllarında Fen-Edebiyat Fakültesi, toplam doğalgaz tüketimine en fazla katkı sağlayan bina olmuştur. 2014, 2015, 2016 ve 2017 yıllarında ise en fazla katkı oranına sahip bina, 2014 yılında faaliyete geçen Tıp Fakültesi Hastanesi'dir.

2008 yılında toplam doğalgaz tüketimine en az katkı sağlayan bina Kapalı Spor Salonu'dur. 2009 yılında faaliyete geçen Mediko Sosyal binası o yılda doğalgaz tüketimine en az katkıyı sağlamıştır. 2010, 2011 ve 2012 yıllarında yine Kapalı Spor Salonu doğalgaz tüketiminde en az katkıya sahip olmuştur. 2013 yılında faaliyete geçen Mühendislik Atölyesi ise 2013, 2014, 2015, 2016 ve 2017 yıllarında doğalgaz tüketimine en az katkı sağlayan binadır.

Tablo 3.2: Kampüs binalarının yıllık toplam doğalgaz tüketimine katkısı (%).

No	Bina	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
01	Meslek Yüksek Okulu	14,4	10,4	7,82	6,94	6,78	5,67	3,20	2,94	3,33	3,57
02	Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	23,4	20,5	17,93	15,82	15,76	11,78	8,48	6,97	7,59	9,04

04	Fen-Edebiyat Fakültesi	22,0	20,5	24,45	25,47	24,22	22,51	15,98	13,83	13,21	13,08
05	Rektörlük	20,3	20,5	15,72	13,38	11,39	10,14	7,69	7,74	6,75	7,10
06	Uygulama Otel	16,4	13,1	9,96	10,49	8,24	9,94	4,34	3,98	3,33	3,35
07	Kapalı Spor Salonu	3,31	7,55	2,98	3,98	4,49	3,47	1,66	1,69	1,39	1,87
08	Mediko Sosyal Merkezi	0,00	7,20	17,15	14,722	12,61	14,71	8,42	5,34	4,84	4,69
09	Yemekhane	0,00	0,00	3,96	9,08	10,00	13,91	9,73	9,62	12,40	8,25
10	Mühendislik Atölyesi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,21	0,42	0,54	0,44
11	Tıp Fakültesi Hastanesi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,51	33,57	33,87	31,15
12	Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,61	2,84	2,53	3,58
13	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,28	3,53	4,21	4,28	3,74
14	Kapalı Yüzme Havuzu	0,00	0,00	0,00	0,00	6,21	2,36	1,51	1,99	0,73	0,85
15	Merkezi Laboratuvar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,85	1,05	1,21	1,08	0,95
17	Veteriner Fakültesi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45	3,89	3,76
18	Mühendislik Fakültesi Ek Binası	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,28
20	Morfoloji	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,99

Tablo 3.3'de binaların 2008-2017 yılları arasındaki elektrik tüketiminin toplam elektrik tüketimine olan oranları görülmektedir. 2008, 2009 ve 2010 yıllarında toplam elektrik tüketimine en fazla katkısı, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ve Rektörlük binası sağlamıştır. 2011, 2012, 2013 yıllarında en fazla katkı, hastane olarak işlev gösteren Mediko Sosyal binasına aittir. Tıp Fakültesi Hastanesi de 2014, 2015, 2016 ve 2017 yıllarında en fazla katkı oranına sahip bina olmuştur.

2008, 2010, 2011, 2013, 2014, 2016 ve 2017 yıllarında toplam elektrik tüketimine en az katkısı Kapalı Spor Salonu binası sağlamıştır. Bu yıllar haricinde, 2009 yılında faaliyete geçen Uygulama Otel, 2012 yılında faaliyete geçen Merkezi Laboratuvar ve 2015 yılında faaliyete geçen Deney Hayvanları Merkezi binaları da faaliyete geçtiği yıllarda en az katkıya sahip binalar olmuştur.

Tablo 3.3: Kampüs binalarının yıllık toplam elektrik tüketimine katkısı (%).

No	Bina	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
01	Meslek Yüksek Okulu	19,19	15,5	12,13	11,06	11,20	9,83	8,22	6,09	6,38	5,60
02+05	Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ve Rektörlük	38,91	33,2	27,94	25,45	23,54	20,58	14,42	13,11	15,50	15,94
03	Turizm Fakültesi	8,69	6,92	5,25	3,89	3,16	2,99	2,27	1,90	1,96	1,72
04	Fen-Edebiyat Fakültesi	29,18	20,1	16,83	14,89	15,02	12,93	8,41	6,62	6,33	5,90
06	Uygulama Oteli	0,00	1,82	1,98	1,73	1,29	2,03	0,63	0,49	0,45	0,53
07	Kapalı Spor Salonu	4,01	3,34	1,41	1,44	0,96	0,64	0,52	0,45	0,36	0,49
08	Mediko Sosyal	0,00	19,0	24,79	27,43	32,38	34,20	11,83	6,43	5,36	6,03
09	Yemekhane	0,00	0,00	9,64	14,07	11,65	9,86	5,83	6,65	6,16	7,06
11	Tıp Fakültesi Hastanesi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,36	47,81	46,68	41,38
12	Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	1,87	2,08	2,00
13	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,20	3,75	2,65	2,67	2,98
15	Merkezi Laboratuvar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77	2,70	2,01	2,00	1,71	1,52
17	Veteriner Fakültesi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,68	3,79	3,95
19	Deney Hayvanları Merkezi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,42	2,43
20	Morfoloji	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,39

Tablo 3.4’de bir binanın 2008-2017 yılları arası toplam doğalgaz ve elektrik tüketiminin tüm binaların doğalgaz ve elektrik tüketimlerinin toplamına olan oranları görülmektedir. Hem doğalgaz hem de elektrik tüketiminde en fazla katkıya sahip bina Tıp Fakültesi Hastanesi’dir. Doğalgaz tüketiminde bunu Fen-Edebiyat Fakültesi, elektrik tüketiminde ise bunu Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ve Rektörlük binaları takip etmektedir. Doğalgaz ve elektrik tüketiminde en az katkıya sahip binalar sırasıyla Mühendislik Atölyesi ve 2017 yılında faaliyete geçen Morfoloji binasıdır.

Tablo 3.4: Kampüs binalarının toplam (2008-2017) doğalgaz ve elektrik tüketimine katkısı (%).

No	Bina	Doğalgaz tüketimi	Elektrik tüketimi
01	Meslek Yüksek Okulu	5,19	8,51
02	Mühendislik- Mimarlık Fakültesi	11,52	18,91(02+05)
03	Turizm Fakültesi	-	2,84
04	Fen-Edebiyat Fakültesi	17,84	10,24
05	Rektörlük	10,09	-
06	Uygulama Oteli	6,59	0,92
07	Kapalı Spor Salonu	2,69	0,84
08	Mediko Sosyal Merkezi	8,31	14,37
09	Yemekhane	9,02	7,48
10	Mühendislik Atölyesi	0,27	-
11	Tıp Fakültesi Hastanesi	19,00	27,88
12	Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu	1,95	1,21
13	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	2,70	2,26
14	Kapalı Yüzme Havuzu	1,52	-
15	Merkezi Laboratuvar	0,70	1,45
17	Veteriner Fakültesi	1,74	2,06
18	Mühendislik Fakültesi Ek Binası	0,36	-
19	Deney Hayvanları Merkezi	-	0,53
20	Morfoloji	0,31	0,43

3.3 Çalışma Kapsamında İncelenecek Binaların Seçilmesi ve Sınıflandırılması

Kampüs binalarından hangilerinin enerji tasarruf potansiyellerinin detaylı araştırılacağını karar vermek için, kampüsün toplam doğalgaz ve elektrik tüketimine katkısı yüksek olan binalar tespit edilmelidir.

Bunun için, toplam doğalgaz ve elektrik tüketimine katkısı benzer olan binaları sınıflandırmak için kümeleme analizi uygulanmıştır. Bu analizde kullanılan değişkenler; bina alanları, birim alan başına düşen yıllık doğalgaz ve elektrik tüketimleri ve binaların katkı oranlarıdır. Binaların sınıflandırılması için K-means cluster yöntemi kullanılmıştır. Farklı kümeler arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığını ve her değişkenin küme sonuçlarına katkısının önemini kontrol etmek için ANOVA (Analysis of Variance) analizi yapılmıştır. Hesaplamalar için, Sosyal Bilimler için İstatistik Programı (SPSS, IBM Inc.) yazılımı kullanılmıştır.

Tablo 3.5 kümeleme analizi aracılığıyla yapılan, doğalgaz tüketiminde toplam kampüs enerji tüketimine katkısı birbirine benzer olan 4 gruba ayrılmış 18 ayrı binanın sınıflandırmasını göstermektedir.

Tablo 3.5: Doğalgaz tüketimine göre kümeleme analizi aracılığıyla binaların sınıflandırılması.

Kategori adı	Küme No.	Örnek Büyüklüğü	Değişkenler		
			Bina Alanı ^a	Enerji Tüketimi ^b	S
Doğalgaz	Küme 1	3	3495,39	4,42	0,75
	Küme 2	4	19760,39	4,89	5,10
	Küme 3	8	12339,07	6,61	4,10
	Küme 4	2	31896,98	13,88	22,12

^a birim: m².

^b birim: m³/m² (doğalgaz tüketimi).

Doğalgaz tüketimi için yapılan sınıflandırmada Küme 4, kampüsün toplam tüketim değerlerine diğer gruplara kıyasla daha fazla katkıda bulunmaktadır. Doğalgaz tüketimi 13,88 m³/m² ve katkı oranı 22,12'dir. Küme 4'deki binalar Fen-Edebiyat Fakültesi ve Tıp Fakültesi Hastanesi'dir. Bu binaların kampüs doğalgaz tüketiminin maksimum yükünün oluşmasında en büyük potansiyele sahip oldukları tespit edilmiştir. Buna karşılık, küme 1'deki binalar diğer 3 gruba karşılaştırıldığında, kampüsteki maksimum doğalgaz yükünün değişmesinde en düşük potansiyele sahiptir. Bu binaların ortalama alanı 3495,39 m², ortalama doğalgaz tüketimi 4,42 m³/m² ve katkı oranı ise 0,75'dir. Küme 3 ise 8 binaya sahip, tüm kampüsün maksimum yüküne katkıda bulunan ana kısım haline gelmektedir. Bu kümelere ait binalar Tablo 3.6'da gösterilmektedir.

Tablo 3.6: Doğalgaz tüketimine göre oluşturulan gruplar.

Küme 1	Kapalı Yüzme Havuzu, Mühendislik Atölyesi, Merkezi Laboratuvar
Küme 2	Rektörlük, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Morfoloji, Mühendislik Fakültesi Ek Binası
Küme 3	Mediko Sosyal, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, Uygulama Oteli, Kapalı Spor Salonu, Meslek Yüksek Okulu, Yemekhane, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Veteriner Fakültesi
Küme 4	Fen-Edebiyat Fakültesi, Tıp Fakültesi Hastanesi

Tablo 3.7 kümeleme analizi aracılığıyla yapılan, elektrik tüketiminde toplam kampüs enerji tüketimine katkısı birbirine benzer olan 4 gruba ayrılmış 16 ayrı binanın sınıflandırmasını göstermektedir.

Tablo 3.7: Elektrik tüketimine göre kümeleme analizi aracılığıyla binaların sınıflandırılması.

Kategori adı	Küme No.	Örnek Büyüklüğü	Değişkenler		
			Bina Alanı ^a	Enerji Tüketimi ^b	S
Elektrik	Küme 1	1	41852,877	41,22	15,94
	Küme 2	2	31896,98	85,00	23,64
	Küme 3	10	13044,55	28,54	3,27
	Küme 4	2	2325,48	184,11	1,98

^a birim: m² .

^b birim: kWh/m² (elektrik tüketimi).

Elektrik tüketimi ile ilgili yapılan sınıflandırmada Küme 1, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ve Rektörlük binalarından oluşmaktadır ve katkı oranı 15,94'dür. Küme 2'de, Fen-Edebiyat Fakültesi ve Tıp Fakültesi Hastanesi var olup 23,64 ile en yüksek katkı oranına sahiptir. Küme 3, incelenen binaların ana bölümünü kapsayan 10 binadan oluşmaktadır. Bina alanları 10394,63 m²'den 19328,67 m²'ye kadar değişmekte, ortalama elektrik tüketim miktarı 28,54 kWh/m² ile en düşük ve katkı oranı 3,27'dir. Katkı oranının diğer kümelere göre düşük olması, tüm kampüsün elektrik yükünün maksimuma ulaştığı zamanda bu binaların düşük elektrik yük oranına sahip olduğunu göstermektedir. Küme 4'teki binaların (Merkezi Laboratuvar ve Deney Hayvanları Merkezi), bina toplam alanında ve katkı oranında en küçük değerlere sahip olması, bu binaların kampüsün maksimum yükünün kaymasını çok fazla etkilemediğini ifade eder. 1 ve 2 numaralı kümelerdeki binalar, 41,22 kWh/m² & 85,00 kWh/m² ile nispeten yüksek elektrik tüketimine ve 15,94 & 23,64 ile yüksek katkı oranlarına sahiptir. Bu durum bu binaların, enerji tasarrufuna karşı önlemler alınması halinde tüm kampüsün maksimum yükünü azaltmada büyük bir potansiyele sahip olduklarını göstermektedir. Bu kümelere ait binalar Tablo 3.8'de listelenmiştir.

Tablo 3.8: Elektrik tüketimine göre oluşturulan gruplar.

Küme 1	Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Rektörlük
Küme 2	Fen-Edebiyat Fakültesi, Tıp Fakültesi Hastanesi,
Küme 3	Mediko Sosyal, Meslek Yüksek Okulu, Turizm Fakültesi, Uygulama Oteli, Kapalı Spor Salonu, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, Yemekhane, Veteriner Fakültesi, Morfoloji
Küme 4	Merkezi Laboratuvar, Deney Hayvanları Merkezi

Tablo 3.9, küme modellerinin ANOVA test sonuçlarını göstermektedir. Buna göre bina alanları ve binaların toplam enerji tüketimine katkı oranlarının “Sig.” değeri $0,000 < 0,05$ olduğu için grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır. Birim alana düşen doğalgaz tüketimi “Sig.” değeri $0,075 > 0,05$ ve birim alana düşen elektrik tüketimi “Sig.” değeri $0,082 > 0,05$ olduğu için grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.

Tablo 3.9: ANOVA analizleri.

Kategori adı	Değişkenler	Küme		Hata		F	Sig.
		Ortalama kare	df	Ortalama kare	df		
Doğalgaz	Bina Alanı	371618576,1	3	5587650,638	13	66,507	0,000
	Doğalgaz	43,955	3	15,169	13	2,898	0,075
	Doğalgaz S	211,301	3	17,266	13	12,238	0,000
Elektrik	Bina Alanı	545031286,9	3	7396417,823	11	73,689	0,000
	Elektrik	14075,253	3	4823,787	11	2,918	0,082
	Elektrik S	273,747	3	61,619	11	4,443	0,028

Yapılan bu sınıflandırmalar sonucunda doğalgaz ve elektrik tüketiminde toplama olan katkısının büyüklüğünden dolayı adı geçen Fen-Edebiyat Fakültesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ve Rektörlük binası çalışma kapsamında incelenmek için seçilmiştir. Ayrıca B.E.S.Y.O binası en son yapılan binalardan bir tanesi ve cam cephe oranının diğer binalara göre daha fazla olması sebebiyle detaylı incelenecek binalar arasına eklenmiştir.

3.4 Binaların Mevcut Durumları ile Modellenmesi

Bina enerji modellemesi, çeşitli simülasyon programları kullanılarak gerçekleştirilir. Bu modelleri oluşturmak için kullanılan simülasyon programları, enerji verimli ve çevre dostu binaları tasarlamak için önemli bir destektir (Ramdani, Candau, Dautin, Delille, Rahni ve Dalicieux, 1997, s.223). Enerji simülasyon programları ile, binaların inşa edilmeden önce ısı davranışları, enerji tüketimleri, vb. açıdan performansları tahmin edilebilir ve mevcut binalarda en iyi enerji etkin yenileme önlemleri uygulanabilir ve enerji tüketimleri istenilen koşullarında simüle edilebilir (Sousa, 2012). Binalar için simülasyon programları, uygun HVAC sistemi seçimini, boyutunu belirlemeyi ve enerji tüketimini analiz etmeyi sağlar. Ayrıca enerji tüketimi haricinde aşağıdaki değişkenleri hesaplamak için de simülasyon programları kullanılabilir:

- İç ortam sıcaklıkları,
- Isıtma ve soğutma ihtiyaçları,
- Kullanıcıların doğal aydınlatma ihtiyaçları,
- Havalandırma seviyeleri,
- Kullanıcıların iç mekân konforu,
- Yenilenebilir enerjilerin katkıları,
- Su tüketimleri,
- HVAC sistemlerinin tüketim değerleri (Sousa, 2012).

Farklı karmaşıklık düzeyinde ve farklı değişkenlere cevap veren çok çeşitli bina enerji simülasyon programları bulunmaktadır ve yıllar içerisinde gelişim göstermektedir. Daha fazla değişken ve daha titiz bir yaklaşımla enerji gereksinimlerini hesaplayabilen bina enerji simülasyon programlarının sayısı da giderek artmaktadır (Sousa, 2012). Binaları ve enerji sistemlerini modellemek için kullanılan bina enerji simülasyon programları farklı yazılım mimarilerine, bina ve enerji sistemlerini modellemek için farklı algoritmalara sahip olabilir ve aynı bina kabuğu veya HVAC sistem bileşenini tanımlamak için bile farklı girdileri gerektirebilir (Andolsun ve Culp, 2008; Waddell ve Kaserekar, 2010; Judkoff ve Neymark, 1995). Enerji simülasyon programlarının her biri belirli özelliklere ve özel uygulamalara sahiptir. Yaygın olarak kullanılan simülasyon programları arasında IES

VE, HEED, eQUEST, Energy Plus, DOE-2, ESP-r, IDA ICE, ECOTECT, Energy-10, Green Building Studio, DesignBuilder, BLAST ve TRNSYS bulunmaktadır (Attia, Beltran, De Herde ve Hensen, 2012). Bu tür programlar, iklim ve güneş ışınımı dahil olmak üzere ilgili tüm bina enerji özelliklerini dikkate almalı ve program kullanıcıları için kullanımı kolay olmalıdır (Li, 2017, s.16).

Bu çalışmada bina modellemeleri için bina enerji simülasyon programı “DesignBuilder” seçilmiştir. DesignBuilder, bina enerji tüketimi ve iç mekan konforunu simüle edebilen D.J.Sailor tarafından geliştirilen Energy Plus dinamik hesaplama motorunu içermekte ve grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) kullanmaktadır (El-Darwish ve Gomaa, 2017, s.583). DesignBuilder simülasyon programının seçilmesinin nedeni, esnek geometri girişine müsaade etmesi, malzeme kütüphanelerinin geniş olması ve yük profilleri sunmasıdır. EnergyPlus ile karmaşık HVAC sistemlerinin ayrıntılı olarak modellenebilmesi nedeniyle özellikle HVAC sistemlerinin modellenmesinde daha fazla yetenek ve esnekliğe sahiptir (Al-janabi, Kavgiç, Mohammadzadeh ve Azzouz, 2019, s.265). Ayrıca bağımsız Energy Plus motoruna kıyasla sonuçların doğruluğunu garanti eden kalite kontrol prosedürlerine sahiptir (An-Naggar, Ibrahim ve Khalil, 2017, s.4189). Kullanım kolaylığı sağlayan DesignBuilder, bina modellerinin hızlı bir şekilde oluşturulmasını mümkün kılar. DesignBuilder, Autocad yazılımı ile bağlantı kurabilme avantajına sahiptir. Hem bina geometrisi hem de dxf dosyalarını programa aktarmaya olanak sağlar (Li, 2017).

Isıl Bölgeleme Yaklaşımı

ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers) standardı 90.1'de, bina enerji simülasyon programları ile model oluştururken kullanılacak farklı bölgeleme tanımları yapılmıştır (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2016). Bunlar HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) bölgesi ve ısıl blok olarak ikiye ayrılmaktadır. HVAC bölgesi ısıl bölge olarak da anılmaktadır ve tek bir iklimlendirme cihazı ile şartlandırılacak kadar benzer alana sahip olan bina içindeki tek bir mekân veya mekânlar topluluğudur. HVAC bölgesi ısıl bir kavramdır, geometrik bir kavram değildir: mekânların tek bir HVAC bölgesi olarak birleştirilmesi için bitişik/yan yana olması gerekmez. Fakat günışığı gereksinimleri, bitişik olmayan alanların tek bir HVAC bölgesi olarak tanımlanmasını engelleyebilir.

Bireysel mekânlar tek tek modellenmeden bir bölge olarak tanımlanmışsa alan büyüklükleri sağlanmalıdır.

Isıl blok ise simülasyon için birlikte gruplandırılmış bir veya daha fazla HVAC bölgesi topluluğudur. Isıl bölgeler, aşağıdaki şartları sağlıyorsa tek bir ısı blok olarak birleştirilebilirler:

- Aynı tip HVAC sistemi tarafından şartlandırılıyorsa,
- Benzer bir mekân tipi dağılımından oluşuyorsa,
- Benzer doluluk, donanım, aydınlatma, çalışma saatleri ve termostat sıcaklık değerlerine sahip ise,
- Aynı yönlerde bakıyorsa veya en fazla 45° derece farklılık varsa.

Oluşturulacak bina ısı modelinde ki zon sayısının az olması kullanılan programın simülasyonu tamamlama süresini önemli ölçüde kısaltabilir ve hata payının azaltılmasında olumlu katkı sağlayabilir.

Simülasyon programlarında binalar 3D olarak modellenmeden önce ısı bölgeleme yapılmalıdır. Böylece simülasyon sonuçlarını etkilemeden modelin karmaşıklığı ve simülasyonun çalışma süresinin azaltılması sağlanabilir.

Enerji simülasyon modeli, mümkün olduğunca az sayıda ve ihtiyaç duyulduğu kadar ısı bölge içermelidir. Çeşitli simülasyon araçlarının kabiliyetleri ve sınırlamalarındaki farklılıklar ve derecelendirme yönteminin uygulanabileceği binaların boyut ve karmaşıklığındaki aşırı çeşitlilik nedeniyle, ısı bölgeleri tanımlamada katı kurallar kullanılması her zaman mümkün değildir. Çoğu durumda, bir binayı bölgelemek ve modellemek için en uygun yolun belirlenmesinde kullanıcı kararı belirleyicidir.

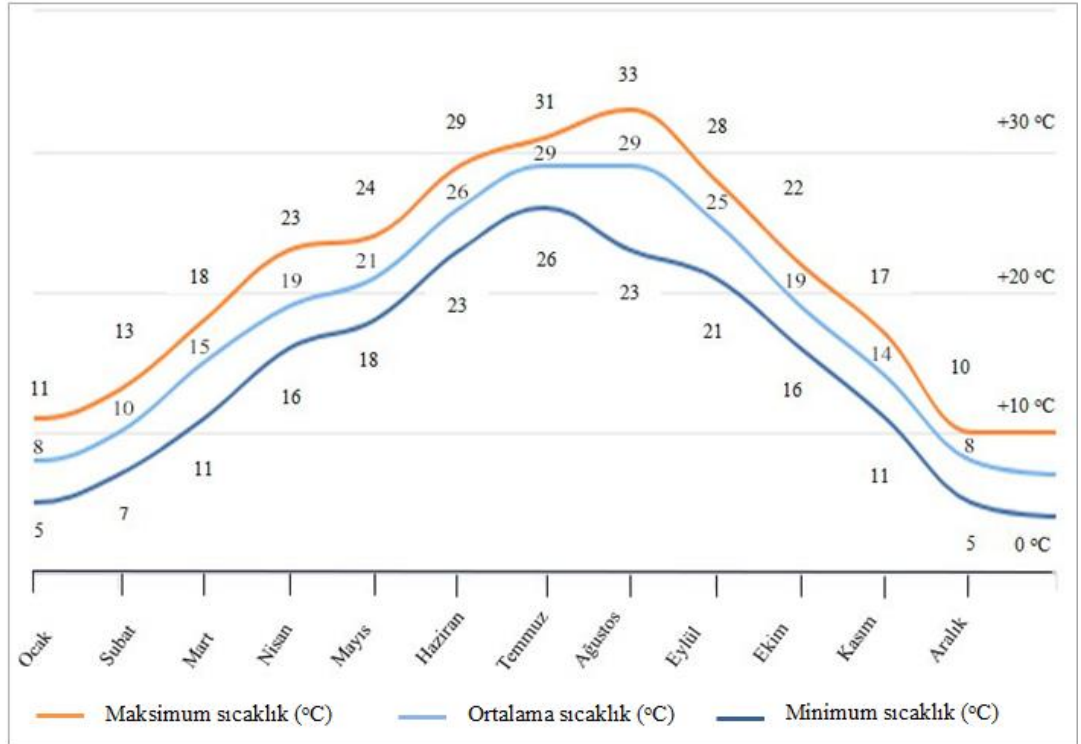
Isıl bölgeler olabildiğince benzer ısı yüklerine sahip mekânlardan oluşmalıdır. Farklı pencere yönlerine sahip dış alanlar, bazı durumlar hariç, aynı ısı bölgede birleştirilmemelidir (URL 9). Çalışma içindeki 4 farklı üniversite binası ısı bölgelere ayrılarak DesignBuilder programı ile modellenmiştir.

İklim Verileri

Çalışma alanı olan Balıkesir ili, genel anlamda Akdeniz iklimi etkisi altındadır. Akdeniz ikliminde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır.

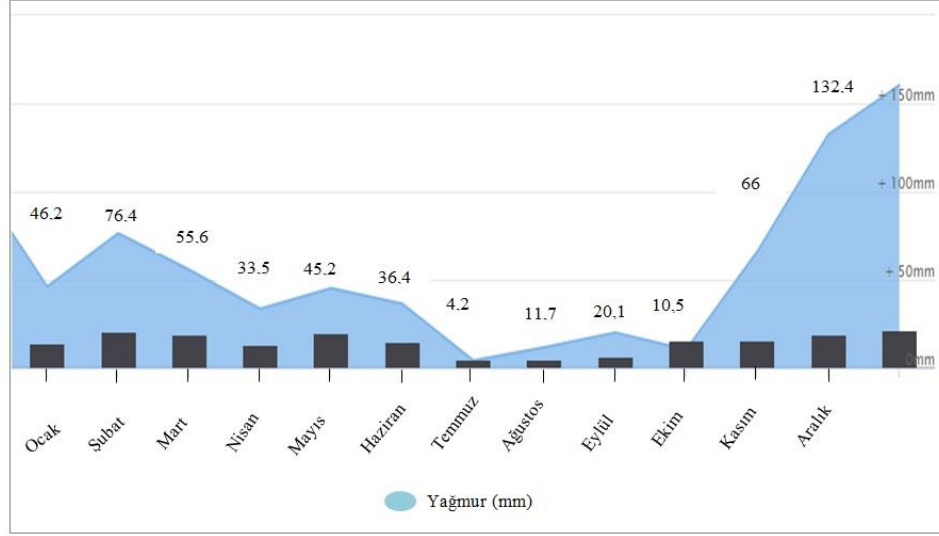
Balıkesir ili için, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 1938-2017 yılları arası verilerine göre Ocak ayı ortalama sıcaklığı 4,8 °C ile en düşük, Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 24,8 °C ile en yüksektir. Buna ek olarak, 1938-2017 yılları arası ortalama en yüksek sıcaklık değerleri arasında 8,8 °C ile Ocak ayı en düşük, Temmuz ve Ağustos ayı 31,2 °C ile en yüksek sıcaklığa sahiptir. Ortalama en düşük sıcaklık değerleri arasında ise en yüksek sıcaklık 17,9 °C ile Ağustos ayında, en düşük sıcaklık 1,3 °C ile Ocak ayında gerçekleşmiştir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2019).

2018 yılı sıcaklık verilerine bakıldığında ise Şekil 3.20'deki değerler görülmektedir. Bu grafiğe göre, aylık ortalama en yüksek sıcaklık değeri 29 °C ile Temmuz ve Ağustos aylarına ait iken Aralık ve Ocak ayı 8 °C ile aylık ortalama en düşük sıcaklık değerine sahiptir.



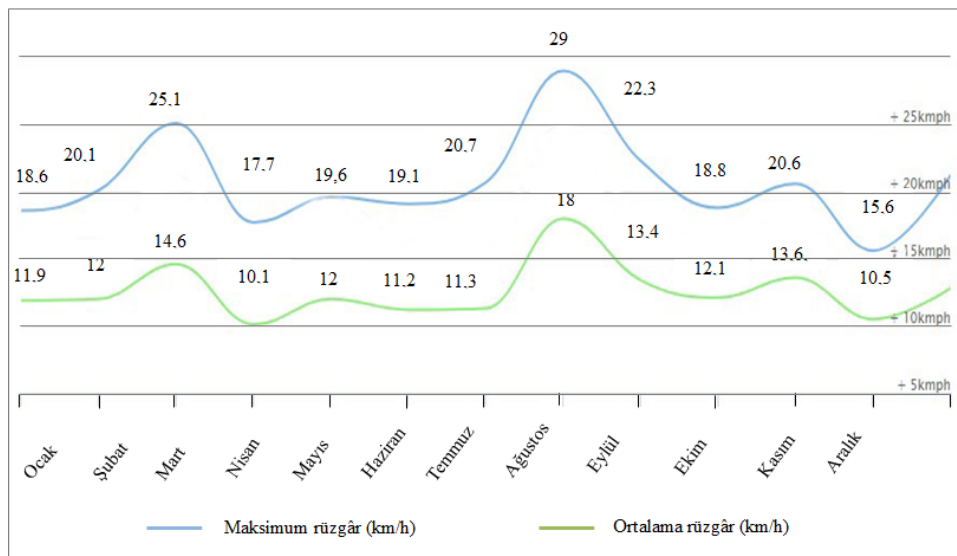
Şekil 3.20: 2018 yılı Balıkesir iline ait aylık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri (World Weather Online, 2019).

Balıkesir ilinde genellikle yaz aylarında kış aylarından daha az yağış görülmektedir. 2018 yılı verilerine bakıldığında yılın en kurak ayı Temmuz, en yağışlı ayı ise Aralık'tır (Şekil 3.21).



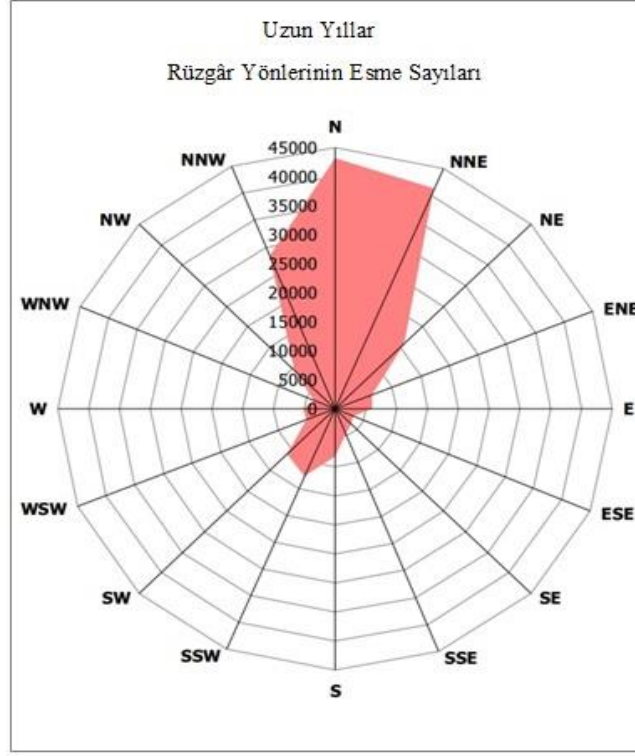
Şekil 3.21: 2018 yılı Balıkesir ili aylık ortalama yağış miktarı (World Weather Online, 2019).

2018 yılı aylık maksimum ve ortalama rüzgâr hızları Şekil 3.22'de görülmektedir. Buna göre aylık maksimum rüzgâr hızları arasında Ağustos ayı, 29 km/h ile en yüksek, Aralık ayı 15,6 km/h ile en düşüktür. Aylık ortalama rüzgâr hızlarına bakıldığında ise 18 km/h ile Ağustos ayı en yüksek, 10,1 km/h ile Nisan ayı en düşük rüzgâr hızına sahiptir. Yılda ortalama 12,55 km/h hız ile rüzgâr esmektedir.



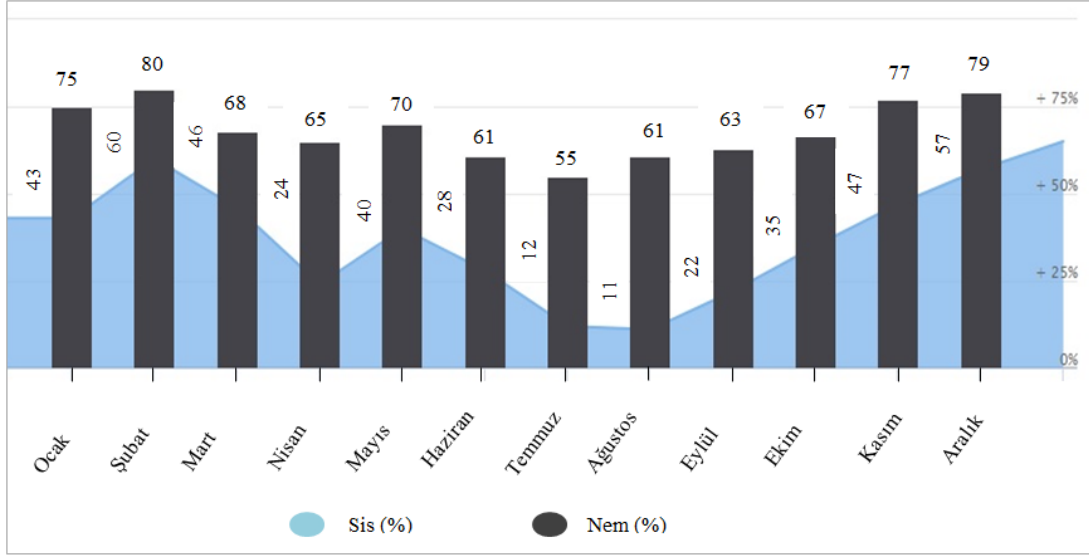
Şekil 3.22: 2018 yılı Balıkesir ili aylık maksimum ve ortalama rüzgâr hızı (World Weather Online, 2019).

Bölgedeki rüzgârlar çoğunlukla kuzeye yöneliktir (Şekil 3.23). Fakat mevsimsel değişikliklere göre ikincil derece hâkim rüzgâr yönü Kuzey-Kuzeydoğu olmaktadır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı/ Meteoroloji Genel Müdürlüğü)



Şekil 3.23: Balıkesir iline ait hâkim rüzgâr yönü (Orman ve Su İşleri Bakanlığı/ Meteoroloji Genel Müdürlüğü).

Bölgenin nem ve sis oranlarına bakıldığında ise Şekil 3.24'deki değerler görülmektedir. 2018 yılı aylık ortalama sis ve nem oranlarına göre Şubat ayındaki nem seviyesi %80 ile en yüksektir ve kış ayları boyunca nemli bir iklim gözlemlenmektedir. En düşük nem oranı %55 ile Temmuz ayında gerçekleşmiştir. Genel olarak yaz aylarında iklim daha kuru hale gelmektedir. 2018 yılı yıllık ortalama nem oranı %68,41 olmuştur. En yüksek ve en düşük sis oranları ise sırasıyla Şubat (%60) ve Ağustos (%11) aylarıdır.



Şekil 3.24: 2018 yılı Balıkesir ili aylık ortalama nem ve sis oranı (World Weather Online, 2019).

Bu çalışmada DesignBuilder programında kullanılmak üzere Meteonorm programı ile Balıkesir için saatlik iklim verileri oluşturulmuştur.

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Binasının Modellenmesi

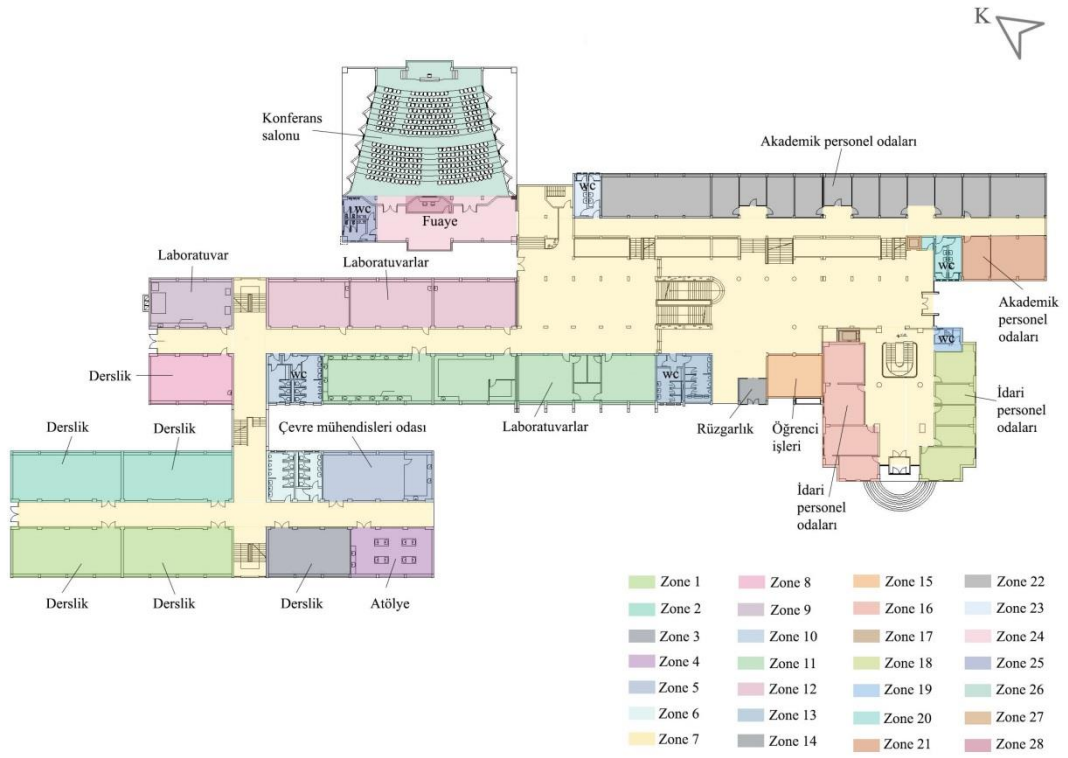
1993 yılında inşa edilen Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda uzanan dikdörtgen şeklindeki bloklardan oluşmaktadır (Resim 3.2). Binada, idari giriş ve öğrenci girişi olmak üzere güneybatı yönünde 2 ana giriş bulunmaktadır. Öğrenci alanları, laboratuvarlar, kantin, sınıflar, ofisler vb. dahil olmak üzere çeşitli alan türlerinden mekanları barındırmaktadır. Bodrum katta depolar, laboratuvarlar, tesisat merkezi, kantin ve amfi bulunmaktadır. Zemin katta derslik ve laboratuvarlar, akademik ve idari personel odaları ve konferans salonu yer almaktadır. 1. ve 2. katta derslikler, akademik ve idari personel odaları ve seminer odası vardır. 3. katta idari personel odaları, atölyeler ve kütüphane bulunmaktadır. Son olarak 4.5.6. ve 7. katlarda akademik personel odaları devam etmektedir. Farklı blokların farklı kat sayısına sahip olduğu bu binada 2,4,5 ve 9 katlı bloklar bulunmaktadır ve bina toplam alanı 20001,25 m²'dir. Bu toplam alanın yaklaşık %90'ı ısıtılmakta ve yaklaşık %18'i soğutulmaktadır.



Resim 3.2: Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binası genel görünüşü.

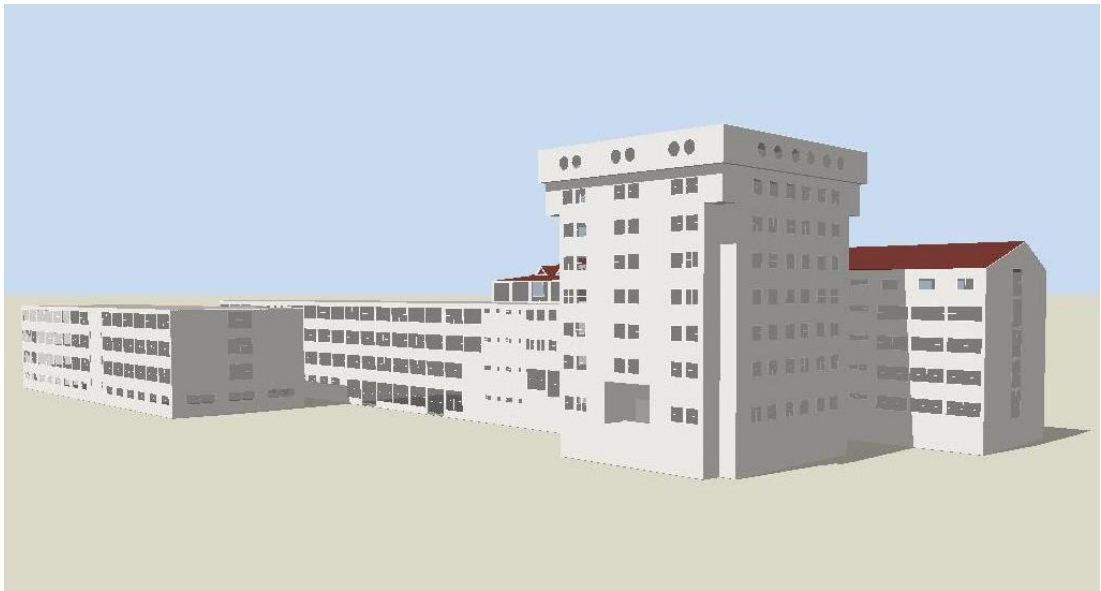
Şekil 3.25’de Mühendislik-Mimarlık Fakültesi’nin zemin kat ısı bölgelemesi görülmektedir. 75 ayrı mekâna sahip olan zemin kat, 28 ısı bölgeye ayrılarak sadeleştirilmiştir. Kuzeydoğu cephede yer alan akademik personel odaları, birbirleriyle aynı termostat sıcaklıkları ve benzer iç kazançlara sahip olduğu için tek bir ısı bölge olarak kabul edilmiştir. Yine aynı şekilde kuzeydoğu ve güneybatı cephelerinde konumlanan birbirine bitişik odalarda yer alan laboratuvar ve derslikler kendi içlerinde tek bir ısı bölge olarak birleştirilmiştir. Güneybatı cephedeki derslik ve atölye mekânları, farklı iç kazançlara ve termostat sıcaklıklarına sahip mekânlar olduğundan ayrı ısı bölge olarak modele katılmıştır. Aynı cephelerde bulunan, aynı ısı şartlarına sahip idari personel odaları da tek bir ısı bölgeye indirgenmiştir. Koridorlar ve tuvaletler farklı sıcaklık termostat değerlerine sahip oldukları için diğer mekânlardan farklı ısı bölgeye ayrılmıştır.

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi’nin diğer katları için yapılan ısı bölgelemeler Ek A’da verilmiştir.



Şekil 3.25: M.M.F zemin kat planı ve ısı bölgeleme.

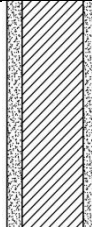
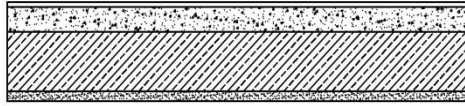

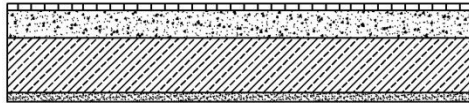
Yapılan ısı bölgelemelere göre Mühendislik-Mimarlık Fakültesinin 3 boyutlu modeli DesignBuilder programında oluşturulmuştur (Resim 3.3).



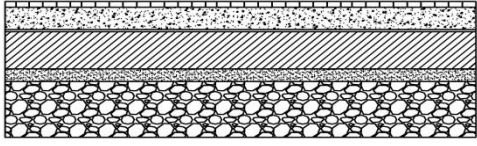
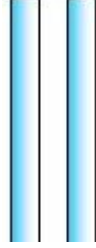
Resim 3.3: M.M.F binasının DesignBuilder programında oluşturulan 3D modeli.

Model oluşturulduktan sonra binanın mevcut özellikleri (bina içerisindeki faaliyetler, sızdırmazlık oranı, malzemeler, açıklıklar, aydınlatma ve HVAC sistemi, vb.) ile ilgili bilgiler programa girilmiştir. Bina'nın mevcut durumunu temsil eden ana simülasyon modeli ile binanın yıllık enerji tüketimi tahmin edilebilir. Ayrıca iyileştirme önerileri belirlendikten sonra her bir bileşeni enerji tasarruf potansiyeli açısından karşılaştırmak mümkün olacaktır. Tablo 3.10'da, binanın yapı elemanlarının malzeme bileşenleri ve U değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3.10: Mühendislik-Mimarlık Fakültesi yapı elemanları malzeme bileşenleri.

Yapı elemanları	Malzeme bileşenleri	U değeri (W/m ² K)
Dış duvar	 <ul style="list-style-type: none"> -30 mm çimento harçlı dış sıva -190 mm düşey delikli tuğla -20 mm çimento harçlı iç sıva 	1,287
Teras çatı	 <ul style="list-style-type: none"> -6 mm polimer bitümlü su yalıtım örtüsü -0,005 mm astar -50 mm eğim betonu -120 mm döşeme betonu -20 mm çimento harçlı sıva 	3,42
İç duvar	 <ul style="list-style-type: none"> -20 mm çimento harçlı sıva -85 mm yatay delikli tuğla -20 mm çimento harçlı sıva 	1,843
Ara kat döşeme	 <ul style="list-style-type: none"> -15 mm seramik yer karosu -60 mm tesviye betonu+harç -120 mm döşeme betonu -20 mm çimento harçlı sıva 	2,267

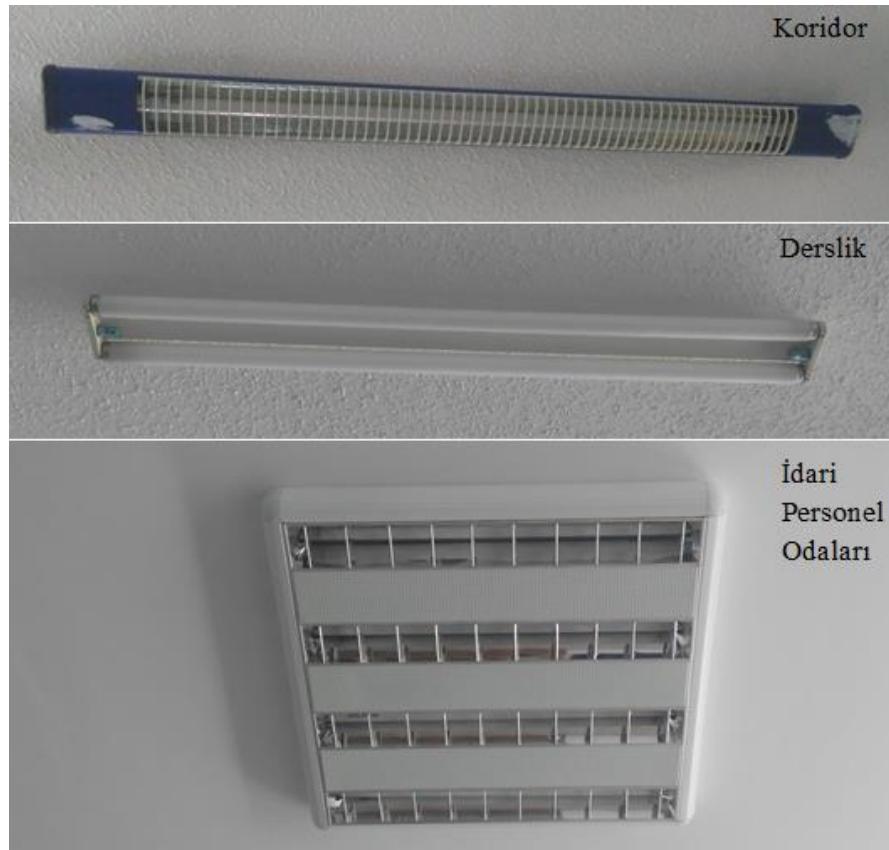
Tablo 3.10 (devam): Mühendislik-Mimarlık Fakültesi yapı elemanları malzeme bileşenleri.

Taban		1,014
Pencere		2,708

İç kazançlar enerji tüketimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Ward, Choudhary, Heo ve Rysanek, 2016). Bu nedenle kişiler, aydınlatma elemanları ve ekipmanlar gerçeğe yakın kullanım zamanları dikkate alınarak iç kazançlar olarak DesignBuilder programında tanımlanmıştır:

- Kullanıcı Yoğunluğu: Fakülte'deki bölümlerin ders programları incelenerek mekân kullanım özelliklerine bağlı yoğunluklar tanımlanmıştır. Bina akademik takvim dönemi içinde çoğunlukla hafta içi sabah 8 ile akşam 21 saatleri arasında kullanılmaktadır. Yaz döneminde ise hafta içi sabah 8 ile akşam 17 saatleri arasında kullanıldığı kabul edilmiştir. M.M.F, 2017 yılında 4778 öğrenci ve 165 idari-akademik personel ile toplamda 4943 kişiye hizmet vermiştir. Birim alan başına düşen kişi yoğunluğu hesaplandığında 0,20 kişi/m² değeri bulunmuş ve programa girilmiştir. Kullanıcı yoğunluğunun yaz dönemi nedeniyle haziran, temmuz ve ağustos aylarında büyük oranda azaldığı varsayılmıştır. Çünkü kullanıcının büyük çoğunluğunun öğrenciler olduğu bu binada, yaz aylarında sadece yaz okulu olduğu zamanlarda öğrenci bulunmaktadır. Yazın diğer aylarında sadece idari ve akademik personel görev yapmaktadır. Ayrıca kişilerin faaliyet düzeyi her bir mekânın kullanım amacını yansıtacak şekilde tanımlanmıştır; laboratuvarlar ve öğrenci alanlarına ofislerden daha yüksek bir aktivite seviyesi atanmıştır.

- Aydınlatma: Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'nde hem örgün öğretim hem 2.öğretim olarak ders verilmektedir. Buna göre kış döneminde lambaların hafta içi iş gününde saat 8:00-10.00 ve 16:00-21:00 saatleri arasında açık olduğu, günün geri kalanında gün ışığının yeterli olacağı kabul edilmiştir. Yaz döneminde (haziran, temmuz, ağustos) ise lambaların kapalı olduğu varsayılmaktadır. Koridor, derslik ve idari personel odalarında bulunan aydınlatma elemanları Resim 3.4'de görülmektedir. Yapılan gözlemler sonucunda mevcut bir lamba 72 volt olmakla beraber birim alan başına 5,26 W/m² elektrik tüketilmektedir.



Resim 3.4: M.M.F binasında bulunan mevcut aydınlatma elemanları.

- Cihazlar: Fakültede bilgisayar, yazıcı, fotokopi cihazı gibi ekipmanlar kullanılmaktadır. Bu cihazların birim alan başına 2W/m² elektrik tükettikleri kabul edilmiştir.
- Hava Sızdırmazlık: M.M.F için yapılan gözlemler sonucunda hava sızdırmazlık değeri 0,7 ac/h olarak alınmıştır.

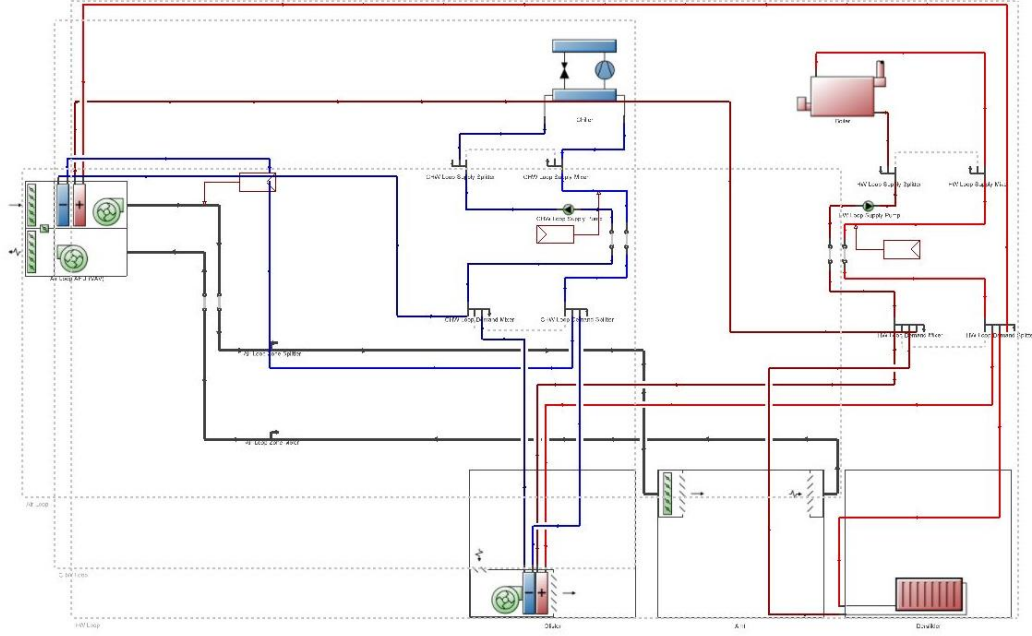
- Termostat sıcaklık değerleri: Hafta içi ısıtma döneminde (ekim, kasım, aralık, ocak, Şubat, mart, nisan) 21 Ç, soğutma döneminde (mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül) ise 25 Ç olarak tanımlanmıştır.

HVAC Sistemi

Dersliklerde, tuvaletlerde, laboratuvar ve atölye gibi odalarda sadece radyatörlü ısıtma sistemi mevcuttur (Resim 3.5). İdari ve akademik personel odalarında ve bazı koridorlarda ise hem ısıtma hem soğutma sisteminin olduğu 4 borulu fan coil sistemi bulunmaktadır (Resim 3.5). Amfi de ise hem ısıtma hem soğutma sisteminin olduğu farklı bir sistem mevcuttur. Bu yüzden HVAC sistemi programda öncelikle 3 ayrı bölgede cozlmŐtr (Şekil 3.26).



Resim 3.5: M.M.F binasında bulunan mevcut radyatör ve fan coil.



Şekil 3.26: M.M.F binasının DesignBuilder programında tanımlanan HVAC sistemi.

Bina Simülasyon Modelinin Kalibrasyonu: Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

DesignBuilder programında mevcut bina özellikleri tanımlandıktan sonra enerji simülasyonu gerçekleştirilecek model, simülasyon sonuçlarının güvenilirliğini ve geçerliliğini test için mevcut enerji tüketim değerleri kullanılarak kalibre edilmiştir. Herhangi bir enerji etkin iyileştirme stratejisi uygulamadan önce, sonuçlar bina gerçek doğalgaz ve elektrik tüketim verileriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma için oluşturulan modellerin güvenilirliği ve geçerliliğini test etmek için ortalama sapma hatası (MBE) ve CVRMSE (Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error) değerleri kullanılmıştır.

Öncelikle ortalama sapma hatası (MBE) hesaplanmıştır. MBE (Mean Bias Error), her ay için gerçekte ölçülen ve simülasyon sonucunda elde edilen enerji tüketim verileri arasındaki ortalama fark ile ilgilidir (Coakley, Raftery ve Keane, 2014). Aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$MBE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} (m_i - s_i)}{\sum_{i=1}^{N_p} (m_i)} \quad (3.2)$$

m_i : ölçülen gerçek değer

s_i : simüle edilmiş değer

N_p : “p” aralığındaki verilerin sayısıdır ($N_{aylık}=12$).

Hesaplanacak diğer bir parametre, hata karelerinin ortalamasının kökünü ifade eden RMSE (Root Mean Squared Error) değeridir. Bunun için, her ay ölçülen ve simüle edilen enerji tüketim değerleri arasındaki farkların kareleri alınmaktadır. Daha sonra her ay için elde edilen hata karelerinin ortalamasının karekökü hesaplanmakta ve RMSE değeri bulunmaktadır. Bulunan bu RMSE değeri, ölçülen gerçek enerji tüketim değerlerine bölüldüğünde CVRMSE (Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error) ortaya çıkmaktadır. CVRMSE aşağıdaki gibi formüle edilmektedir:

$$CVRMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_p} ((m_i - s_i)^2 / N_p)}}{\overline{M_p}} \quad (3.3)$$

m_i : ölçülen gerçek değer

s_i : simüle edilmiş değer

N_p : “p” aralığındaki verilerin sayısı ($N_{aylık}=12$).

$\overline{M_p}$: ölçülen gerçek değerlerin ortalamasıdır.

$\overline{M_p}$ değeri de aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$\overline{M_p} = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} m_i}{N_p} \quad (3.4)$$

m_i : ölçülen gerçek değer

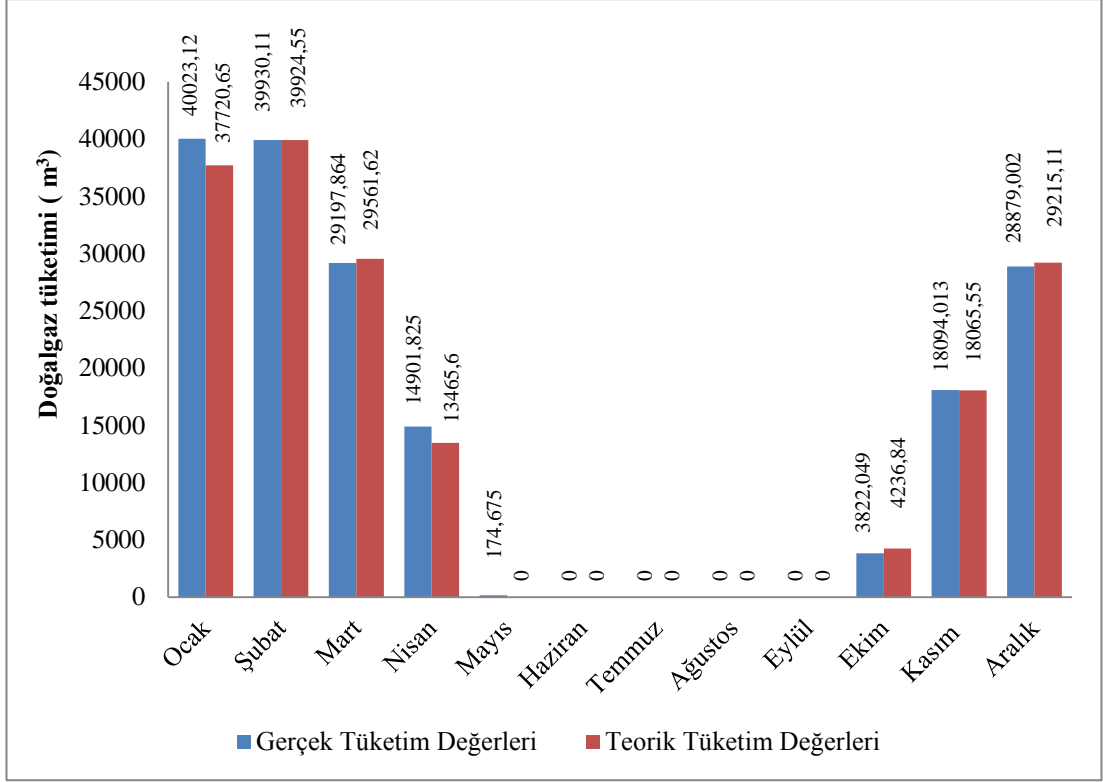
N_p : “p” aralığındaki verilerin sayısıdır ($N_{aylık}=12$).

Bina enerji simülasyon modellerinin kalibrasyonu için hesaplanan MBE ve CVRMSE değerleri, verilerin aylık yada saatlik ölçülme durumuna göre belirlenmiş çeşitli standart kriterlere dayanmaktadır (Coakley, Raftery ve Keane, 2014). Sonuçlar “ASHRAE Kılavuzu 14” tarafından belirlenen Tablo 3.11’de gösterilen kriterlere uygun olduğu sürece bina enerji simülasyon modeli, genellikle “güvenilir” şeklinde kabul edilir (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2002).

Tablo 3.11: Bina enerji simülasyon modellerinin kalibrasyonu için kriter kabulleri (Coakley vd., 2014).

Standart/ilke	Aylık kriter (%)		Saatlik kriter (%)	
	MBE	CVRMSE(aylık)	MBE	CVRMSE(saatlik)
ASHRAE	5	15	10	30
IPMVP	20	-	5	20
FEMP	5	15	10	30

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi’nin kalibrasyonu için öncelikle oluşturulan modelin 1 yıllık simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucu elde edilen aylık doğalgaz tüketim verileri ve 2017 yılına ait gerçek doğalgaz tüketim verileri Şekil 3.27’deki gibi karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.27: M.M.F binası gerçek ve teorik doğalgaz tüketimleri.

Bu verilere göre modelin geçerliliğini kontrol etmek için MBE ve CVRMSE değerleri hesaplanmıştır (bkz. Denklemler (3.2)-(3.4)). Doğalgaz tüketimi için yapılan hesaplamalar sonucunda; MBE değeri %2,89; CVRMSE değeri ise %5,53 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ASHRAE Kılavuzu 14'den alınan aşağıdaki kurallara göre $MBE_{aylık} = \%2,89 < \%5$ ve $CVRMSE_{aylık} = \%5,53 < \%15$ olduğundan doğalgaz tüketimi için model geçerli ve güvenilirdir.

$$-\%5 \leq MBE_{aylık} \leq \%5 \text{ ve } CVRMSE_{aylık} \leq \%15 \quad (3.5)$$

Elektrik tüketimi için kalibrasyon hesabında kullanılacak, 1 yıllık simülasyon sonucundan elde edilen aylık elektrik tüketimi verileri ise Tablo 3.12'de görülmektedir. Fakat M.M.F binasının gerçek elektrik tüketimleri tek başına bilinemediği için karşılaştırma yapılamamıştır. Rektörlük binası ile gerçek elektrik tüketimleri ortak olduğu için iki modelin simülasyon sonucundaki elektrik tüketim değerleri toplanmıştır. Rektörlük binasının 1 yıllık simülasyon sonucunda elde edilen elektrik tüketim değerleri, Tablo 3.13'de görülmektedir.

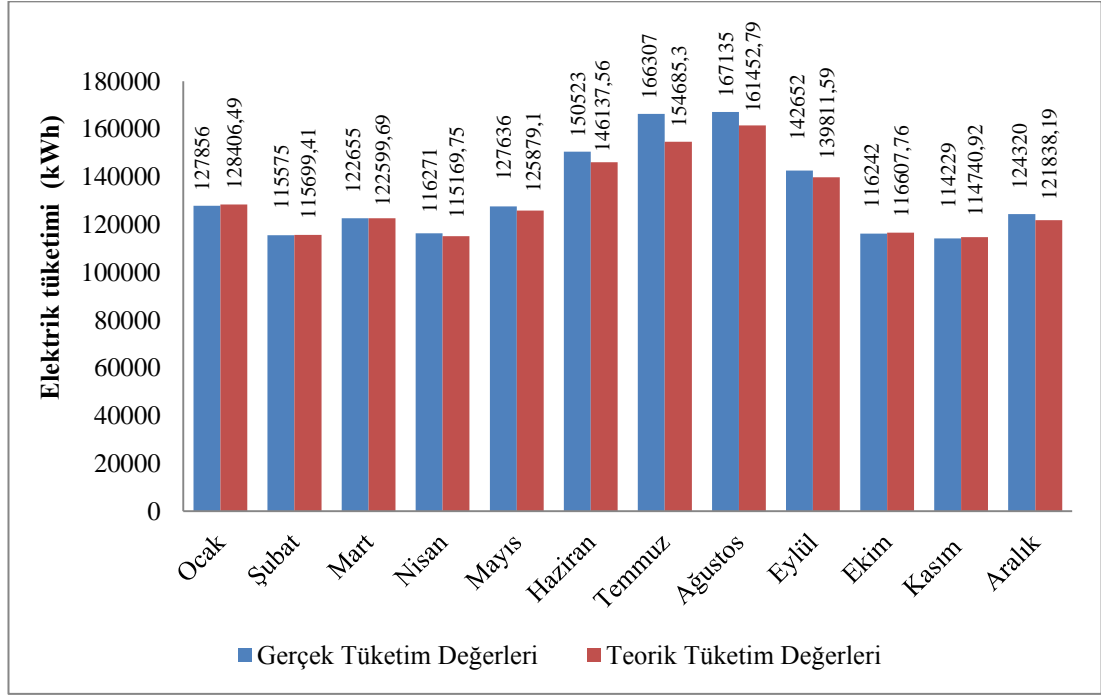
Tablo 3.12: M.M.F binası elektrik tüketimi 1 yıllık simülasyon sonuçları.

Aylar	Genel aydınlatma (kWh)	Bilgisayar +ekipman (kWh)	Sistem fanları (kWh)	Sistem pompaları (kWh)	Soğutma (kWh)	Toplam (kWh)
Ocak	10121,99	3810,432	40093,09	1350,984	0	55376,5
Şubat	8045,51	3464,029	36213,11	817,9515	0	48540,6
Mart	5274,65	3983,633	40093,09	503,8677	0	49855,24
Nisan	4044,63	3464,029	38799,76	194,1917	0	46502,61
Mayıs	353,03	3983,633	40093,09	204,1042	3423,427	48057,28
Haziran	0	3810,432	40093,09	587,9172	15433,24	59924,68
Temmuz	0	3637,23	40093,09	1006,563	18649,56	63386,44
Ağustos	0	3983,633	40093,09	987,7082	19540,07	64604,5
Eylül	11299,11	3637,23	38799,76	350,2988	6186,945	60273,34
Ekim	2384,76	3810,432	40093,09	80,10156	0	46368,38
Kasım	815,94	3810,432	38799,76	539,3634	0	43965,5
Aralık	5942,56	3637,23	40093,09	1075,878	0	50748,76

Tablo 3.13: Rektörlük binası elektrik tüketimi 1 yıllık simülasyon sonuçları.

Aylar	Genel aydınlatma (kWh)	Bilgisayar +ekipman (kWh)	Sistem fanları (kWh)	Sistem pompaları (kWh)	Soğutma (kWh)	Toplam (kWh)
Ocak	6862,916	9817,856	54425,85	1923,3751	0	73030
Şubat	6693,56	9561,688	49158,83	1744,7316	0	67158,81
Mart	6947,594	9945,941	54425,85	1425,0704	0	72744,46
Nisan	5338,712	9561,688	52670,18	1096,56454	0	68667,14
Mayıs	5389,5189	9945,941	54425,85	1135,4313	6925,083	77821,82
Haziran	0	9817,856	54425,85	1540,3538	20428,83	86212,89
Temmuz	0	9689,772	54425,85	2036,136	25147,1	91298,86
Ağustos	0	9945,941	54425,85	2093,252	30383,25	96848,29
Eylül	5355,6476	9689,772	52670,18	1291,6419	10531,01	79538,25
Ekim	5372,5833	9305,519	54425,85	1135,4313	0	70239,38
Kasım	6862,916	9817,856	52670,18	1424,4801	0	70775,43
Aralık	5889,1191	9049,35	54425,85	1725,1196	0	71089,44

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi & Rektörlük binası 1 yıllık simülasyon sonucunda ortaya çıkan aylık elektrik tüketimleri toplanmış ve gerçekte ortak olarak ölçülen 2017 yılı elektrik tüketimleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçları da Şekil 3.28’de görülmektedir.



Şekil 3.28: M.M.F ve Rektörlük binalarının gerçek ve teorik elektrik tüketimleri.

Bu verilere göre, (3.2), (3.3) ve (3.4) eşitliği yardımıyla MBE ve CVRMSE değerleri hesaplanmıştır. Elektrik tüketimi için; MBE değeri %1,98 ve CVRMSE değeri %3,12 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada kriter alınan (3.5) değerlere göre $MBE_{aylık} = 1,98 < 5$ ve $CVRMSE_{aylık} = 3,12 < 15$ olduğundan elektrik tüketimi için model geçerli ve güvenilirdir.

Fen-Edebiyat Fakültesi Binasının Modellenmesi

1994 yılında inşa edilen Fen-Edebiyat Fakültesi, kuzeybatı ve güneydoğu doğrultusunda uzanan dikdörtgen şeklindeki bloklardan oluşmaktadır (Resim 3.6). Binada, idari giriş ve öğrenci girişi olmak üzere güneybatı yönünde 2 ana giriş bulunmaktadır. Öğrenci alanları, laboratuvarlar, kantin, sınıflar, ofisler vb. dahil olmak üzere çeşitli alan türlerinden mekanları barındırmaktadır. Bodrum katta sığınak, arşiv, depolar, laboratuvarlar, tesisat merkezi, mescit ve kafeterya

bulunmaktadır. Zemin katta derslikler, laboratuvarlar, akademik personel odaları, ofisler, seminer ve konferans salonu yer almaktadır. 1., 2. ve 3. katlarda derslikler, laboratuvarlar, akademik personel odaları, seminer odaları ve depolar vardır. 4. katta seminer odası, ofisler, akademik personel odaları, laboratuvarlar, bilgisayar odası ve kütüphane bulunmaktadır. Son olarak 5. ve 6. katlarda akademik personel odaları devam etmektedir. Farklı blokların farklı kat sayısına sahip olduğu bu binada 2,5,6 ve 8 katlı bloklar bulunmaktadır ve bina toplam alanı 28021,98 m²'dir. Bu toplam alanın yaklaşık %91'i ısıtılmakta ve yaklaşık %12,50'si soğutulmaktadır.



Resim 3.6: Fen-Edebiyat Fakültesi binası genel görünüşü.

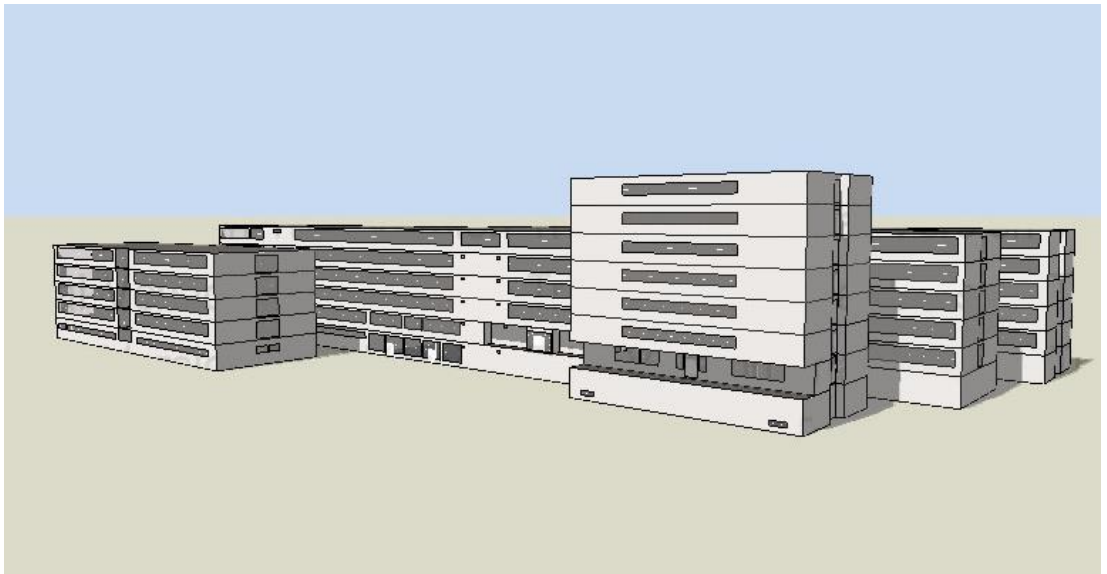
Şekil 3.29'da Fen-Edebiyat Fakültesi'nin zemin kat için ısıtılma bölgelemesi görülmektedir. 75 ayrı mekâna sahip olan zemin kat, 32 ısıtılma bölgeye ayrılarak sadeleştirilmiştir. Kuzeydoğu ve güneybatı cephelerinde yer alan akademisyen odalarının aralarındaki koridorların farklı bir ısıtılma bölge olarak ayrılmasıyla, kendi içlerinde birbirleriyle aynı termostat sıcaklıkları ve benzer iç kazançlara sahip olduğu için tek bir ısıtılma bölge olarak kabul edilmiştir. Yine aynı şekilde kuzeydoğu ve güneybatı cephelerinde konumlanan yan yana odalarda yer alan laboratuvarlar ayrı tek bir ısıtılma bölge, derslikler de ayrı tek bir ısıtılma bölge olarak ayrılmıştır. Güneybatı cephedeki derslik ve seminer odaları, aynı termostat sıcaklıklarına sahip olduğu için tek ısıtılma bölge olarak modele dahil edilmiştir. Koridorlar ve tuvaletler farklı termostat sıcaklık değerlerine sahip oldukları için kattaki diğer mekânlardan ayrı bir ısıtılma bölge olarak tanımlanmıştır.

Fen-Edebiyat Fakültesi'nin diğer katları için yapılan ısıtılma bölgelemeler Ek B'de verilmiştir.



Şekil 3.29: F.E.F zemin kat planı ve ısıl bölgeleme.

Tüm katlar için ısıl bölgelemesi yapılan Fen-Edebiyat Fakültesinin DesignBuilder programında 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur (Resim 3.7).



Resim 3.7: F.E.F binasının DesignBuilder programında oluşturulan 3D modeli.

Model DesignBuilder ile oluşturulduktan sonra binanın mevcut özellikleri ile ilgili bilgiler programa girilmiştir. Fen-Edebiyat Fakültesi ve Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binaları yapı kuruluşu bakımından benzer özelliklere sahiptir ve bu durumda M.M.F binası için yapılan yapı elemanları malzeme bileşenleri tablosu F.E.F binası için de geçerlidir (bkz. Tablo 3.10).

Binanın mevcut özelliklerine dair programa girilen parametrelerden biri olan iç kazançlar DesignBuilder programında tanımlanmıştır:

- Kullanıcı Yoğunluğu: Bina akademik takvim dönemi içinde yoğunlukla hafta içi sabah 8 ile akşam 21 saatleri arasında kullanılmaktadır. Yaz döneminde ise hafta içi sabah 8 ile akşam 17 saatleri arasında kullanıldığı kabul edilmiştir. F.E.F, 2017 yılında 3677 öğrenci ve 170 idari-akademik personel ile toplamda 3847 kişiye hizmet etmiştir. Birim alan başına düşen kişi yoğunluğu hesaplandığında $0,11$ kişi/m² değeri bulunmuş ve programa girilmiştir. Kullanıcı yoğunluğunun yaz dönemi nedeniyle haziran, temmuz ve ağustos aylarında büyük oranda azaldığı varsayılmıştır. Çünkü kullanıcının büyük çoğunluğunun öğrenciler olduğu bu binada, yaz aylarında sadece yaz okulu olduğu zamanlarda öğrenci bulunmaktadır. Yazın diğer aylarında sadece idari ve akademik personel görev yapmaktadır. Ayrıca kişilerin faaliyet düzeyi her bir mekânın kullanım amacını yansıtacak şekilde tanımlanmıştır; laboratuvarlar ve öğrenci alanlarına ofislerden daha yüksek bir aktivite seviyesi atanmıştır.
- Aydınlatma: Fen-Edebiyat Fakültesi'nde hem örgün öğretim hem 2.öğretim olarak ders verilmektedir. Buna göre kış döneminde lambaların hafta içi iş gününde saat 8:00-10.00 ve 16:00-21:00 saatleri arasında açık olduğu, günün geri kalanında gün ışığının yeterli olacağı kabul edilmiştir. Yaz döneminde (haziran, temmuz, ağustos) ise lambaların kapalı olduğu varsayılmaktadır. Binada bulunan aydınlatma elemanları Resim 3.8'de görülmektedir. Yapılan gözlemler sonucunda mevcut bir lamba 72 volt olmakla beraber birim alan başına $5,26$ W/m² elektrik tüketilmektedir.



Resim 3.8: F.E.F binasında bulunan aydınlatma elemanları.

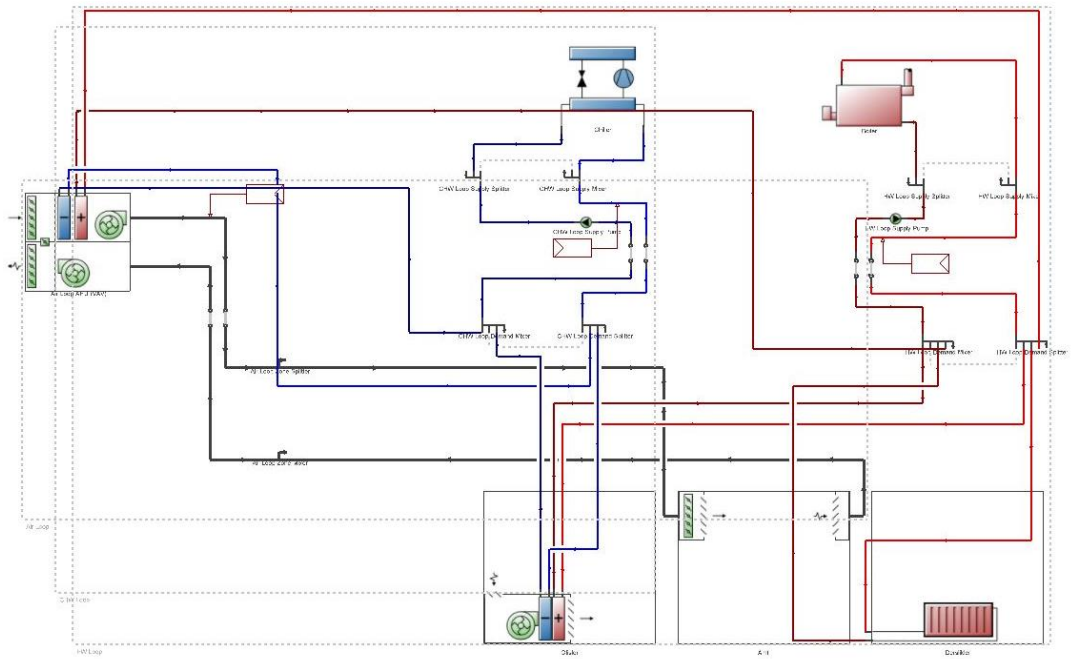
- Cihazlar: Fakültede bilgisayar, yazıcı, fotokopi cihazı gibi ekipmanlar kullanılmaktadır. Bu cihazların birim alan başına ise $2,2 \text{ W/m}^2$ elektrik tükettikleri kabul edilmiştir.
- Hava Sızdırmazlık: F.E.F için yapılan gözlemler sonucunda hava sızdırmazlık değeri $0,7 \text{ ac/h}$ olarak kabul edilmiştir.
- Termostat sıcaklık değerleri: Hafta içi ısıtma döneminde (Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan) $21 \text{ }^\circ\text{C}$, soğutma döneminde (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül) ise $25 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak tanımlanmıştır.

HVAC Sistemi

Dersliklerde, tuvaletlerde, laboratuvar ve atölye gibi odalarda sadece ısıtma sistemi mevcuttur ve radyatör kullanılmaktadır (Resim 3.9). İdari ve akademik personel odalarında ise hem ısıtma hem soğutma sisteminin olduğu 4 borulu fan coil sistemi mevcuttur (Resim 3.9). Amfi de ise hem ısıtma hem soğutma sisteminin olduğu farklı bir sistem mevcuttur. Bu yüzden HVAC sistemi programda öncelikle 3 ayrı bölgede çözülmüştür (Şekil 3.30).



Resim 3.9: F.E.F binasında bulunan radyatör ve fancoil.

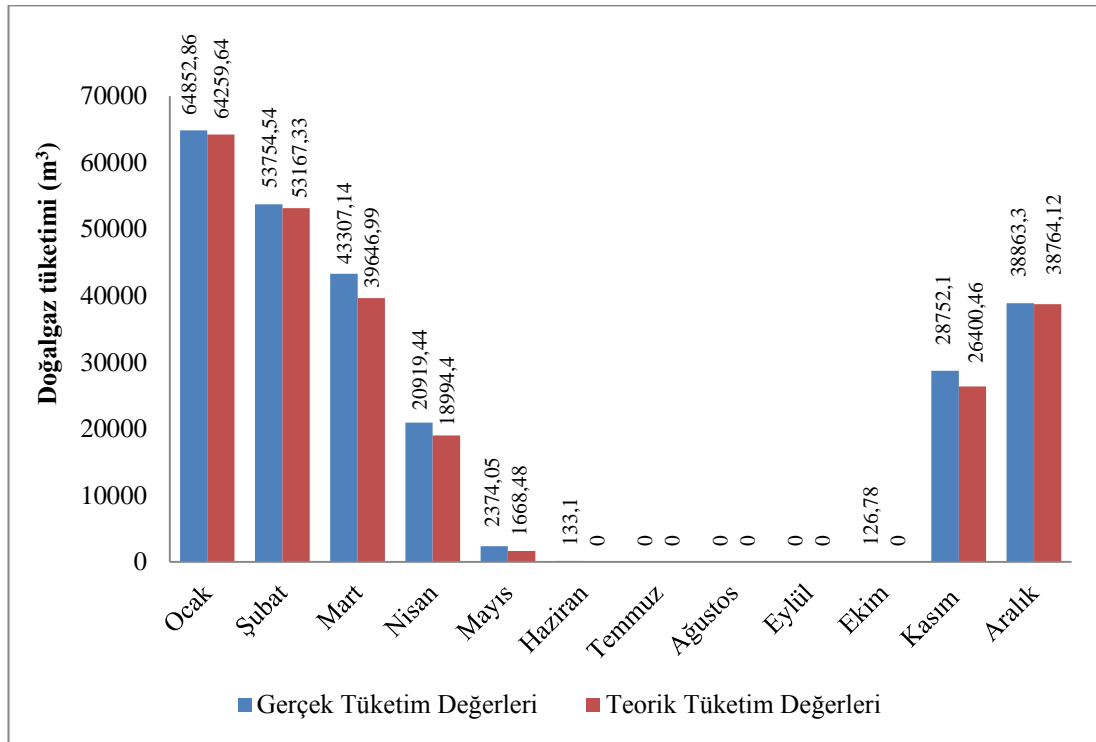


Şekil 3.30: F.E.F binasının DesignBuilder programında tanımlanan HVAC sistemi.

Bina Simülasyon Modelinin Kalibrasyonu: Fen-Edebiyat Fakültesi

DesignBuilder programında mevcut bina özellikleri tanımlandıktan sonra, model mevcut durum için kalibre edilmiştir.

Fen-Edebiyat Fakültesi'nin kalibrasyonu için öncelikle oluşturulan modelin 1 yıllık simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucu elde edilen aylık doğalgaz tüketim verileri ve 2017 yılına ait doğalgaz tüketim verileri Şekil 3.31'de gösterilmiştir.



Şekil 3.31: F.E.F binası gerçek ve teorik doğalgaz tüketimleri.

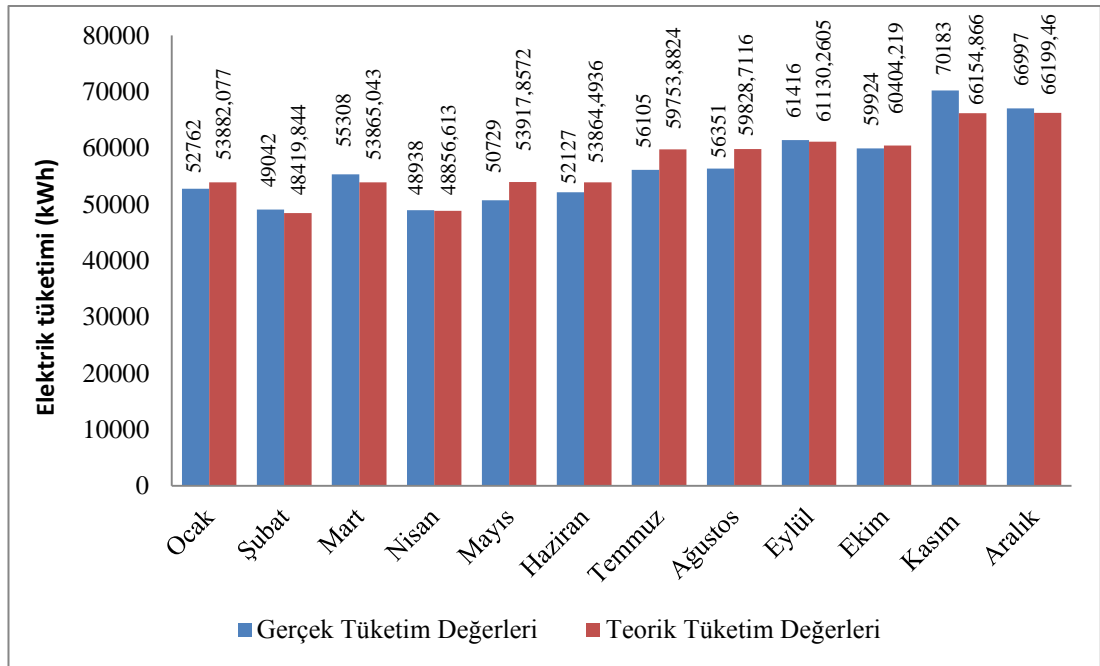
Bu verilere göre modelin geçerliliğini kontrol etmek için MBE ve CVRMSE değerleri hesaplanmıştır (bkz. Denklemler (3.2)-(3.4)). Doğalgaz tüketimi için yapılan hesaplamalar sonucunda; MBE değeri %4,02; CVRMSE değeri ise %6,69 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ASHRAE Kılavuzu 14'den alınan (3.5) değerlere göre $MBE_{aylık} = \%4,02 < \%5$ ve $CVRMSE_{aylık} = \%6,69 < \%15$ olduğundan doğalgaz tüketimi için model geçerli ve güveniliridir.

Elektrik tüketimi için kalibrasyon hesabında kullanılacak, 1 yıllık simülasyon sonucundan elde edilen aylık elektrik tüketimi verileri ise Tablo 3.14'de görülmektedir.

Tablo 3.14: F.E.F binası elektrik tüketimi 1 yıllık simülasyon sonuçları.

Aylar	Genel aydınlatma (kWh)	Bilgisayar + ekipman (kWh)	Sistem fanları (kWh)	Sistem pompaları (kWh)	Soğutma (kWh)	Toplam (kWh)
Ocak	8399,912	5085,48	38215,63	2181,055	0	53882,077
Şubat	6423,427	5450,286	34517,35	2028,781	0	48419,844
Mart	7575,87	5995,314	38215,63	2078,229	0	53865,043
Nisan	4809,103	5450,286	36982,87	1614,354	0	48856,613
Mayıs	0	5085,48	38215,63	946,4552	9670,292	53917,8572
Haziran	0	811,6102	36982,87	658,2434	15411,77	53864,4936
Temmuz	0	774,7188	38215,63	624,8436	20138,69	59753,8824
Ağustos	0	848,5015	38215,63	597,5901	20166,99	59828,7116
Eylül	4809,103	5722,8	36982,87	756,5175	12858,97	61130,2605
Ekim	15044,63	5995,314	38215,63	1148,645	0	60404,219
Kasım	20268,25	6834,712	36982,87	2069,034	0	66154,866
Aralık	19346,97	6267,829	38215,63	2369,031	0	66199,46

Fen-Edebiyat Fakültesi için simülasyon sonucunda ortaya çıkan aylık elektrik tüketimleri ile 2017 yılına ait gerçek elektrik tüketimleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçları da Şekil 3.32’de görülmektedir.



Şekil 3.32: F.E.F binası gerçek ve teorik elektrik tüketimleri.

Bu verilere göre, (3.2), (3.3) ve (3.4) eşitliği yardımıyla MBE ve CVRMSE değerleri hesaplanmıştır. F.E.F binası elektrik tüketimi için; MBE değeri %3,08 ve CVRMSE değeri %3,93 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada kriter alınan (3.5) değerine göre $MBE_{aylık} = \%3,08 < \%5$ ve $CVRMSE_{aylık} = \%3,93 < \%15$ olduğundan elektrik tüketimi için model geçerli ve güvenilirdir.

Rektörlük Binasının Modellenmesi

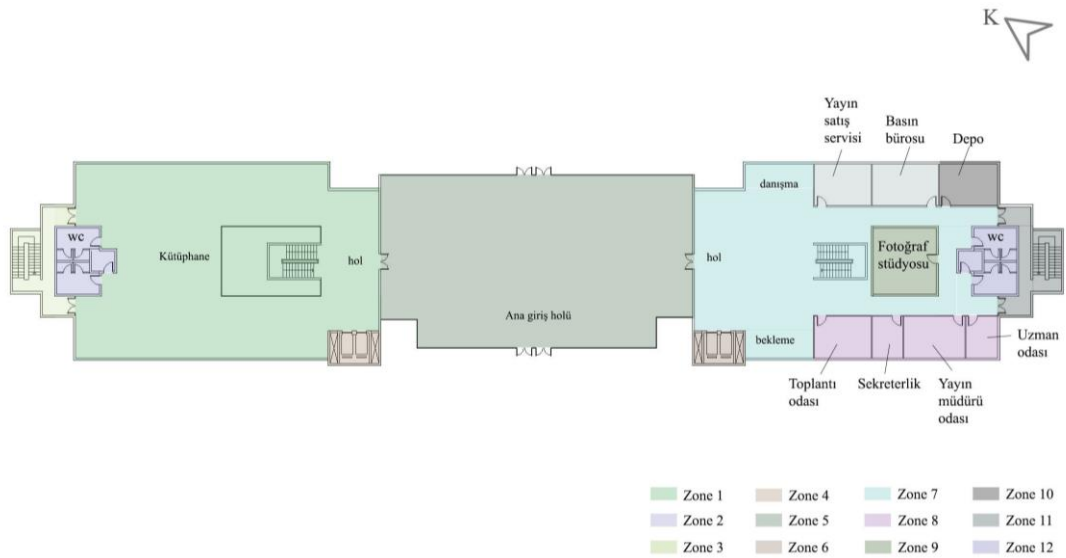
1996 yılında inşa edilen Rektörlük binası, kuzeybatı ve güneydoğu doğrultusunda dikdörtgen şeklinde uzanmaktadır (Resim 3.10). Binada, güneybatı yönünde tek bir giriş mevcuttur. Çoğunluğu ofis mekânlarından oluşan bu binada, ayrıca üniversite kütüphanesi bulunmaktadır. Bodrum katta kütüphane, arşivler, depo, kazan dairesi, klima santrali, jeneratör ve trafo bulunmaktadır. Zemin katta giriş, kütüphane ve ofisler yer almaktadır. Diğer tüm katlarda ofisler ve arşivler devam etmektedir. Buna ek olarak 5. katta rektör makam odası ve ilgili birimler, 6. katta da toplantı salonları bulunmaktadır. Bina, bodrum ve zemin kat dahil toplam 8 kattan oluşmaktadır ve bina toplam alanı $15202,34 \text{ m}^2$ 'dir. Bu toplam alanın yaklaşık %85,50'si ısıtılmakta ve soğutulmaktadır.



Resim 3.10: Rektörlük binası genel görünüşü.

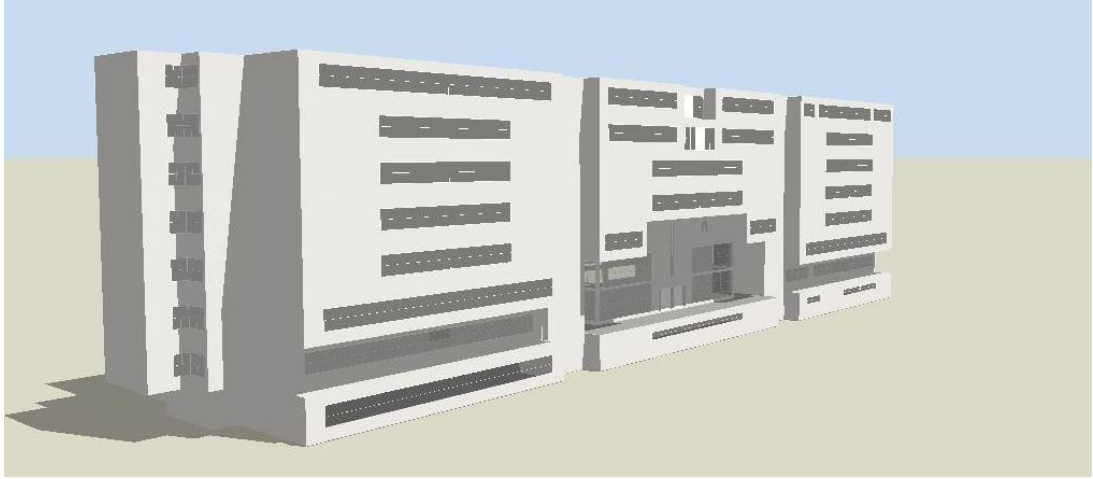
Şekil 3.33’de Rektörlük binasının zemin kat için ısıl bölgelemesi görülmektedir. 23 ayrı mekâna sahip olan zemin kat, 12 ısıl bölgeye ayrılarak sadeleştirilmiştir. Güneybatı cephesinde yer alan ofis birimleri aynı termostat sıcaklıkları ve benzer iç kazançlara sahip olduğu için tek bir ısıl bölge olarak kabul edilmiştir. Kuzeydoğu cephesinde yan yana yer alan 2 ofis ve 1 depo birimi, deponun ofislerden farklı sıcaklık termostat değeri ve farklı iç kazançlara sahip olmasından dolayı ofis birimlerinden ayrı bir ısıl bölge olarak belirlenmiştir. Yine aynı sebeplerden dolayı kütüphane içerisindeki wc ve yangın merdiveni holü, kütüphaneden ayrı ısıl bölgelere ayrılmıştır. Ayrıca katta bulunan asansörlerde bağlı buldukları holden ayrı ısıl bir bölgede yer almaktadır.

Rektörlük binasının diğer katları için yapılan ısıl bölgelemeler Ek C’de verilmiştir.



Şekil 3.33: Rektörlük zemin kat planı ve ısıl bölgeleme.

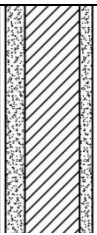
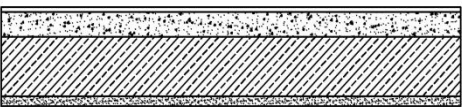
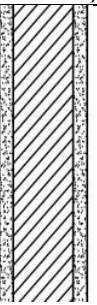
Tüm katlar için ısıl bölgelemesi yapılan Rektörlük binasının DesignBuilder programında 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur (Resim 3.11).



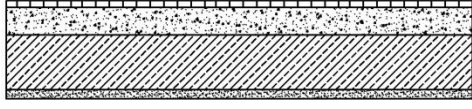
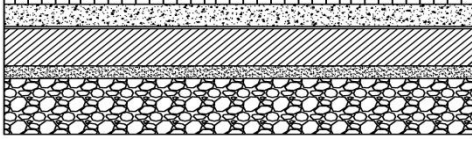
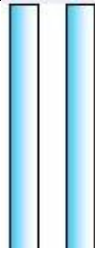
Resim 3.11: Rektörlük binasının DesignBuilder programında oluşturulan 3D modeli.

Model oluşturulduktan sonra binanın mevcut özellikleri ile ilgili bilgiler programda tanımlanmıştır. Binanın programda tanımlanan bina yapı elemanlarının malzeme bileşenleri Tablo 3.15’de verildiği gibidir.

Tablo 3.15: Rektörlük binası yapı elemanları malzeme bileşenleri.

Yapı elemanları	Malzeme bileşenleri	U değeri (W/m ² K)
Dış duvar	 <ul style="list-style-type: none"> -15 mm kompozit dış cephe kaplama -30 mm çimento harçlı dış sıva -190 mm düşey delikli tuğla -20 mm çimento harçlı iç sıva 	1,249
Teras çatı	 <ul style="list-style-type: none"> -6 mm polimer bitümlü su yalıtım örtüsü -0,005 mm astar -50 mm eğim betonu -120 mm döşeme betonu -20 mm çimento harçlı sıva 	3,42
İç duvar	 <ul style="list-style-type: none"> -20 mm çimento harçlı sıva -85 mm yatay delikli tuğla -20 mm çimento harçlı sıva 	1,843

Tablo 3.15 (devam): Rektörlük binası yapı elemanları malzeme bileşenleri.

Ara kat döşeme		2,267
Taban		1,014
Pencere		2,708

Binanın programda tanımlanan diğer bir önemli parametresi iç kazançlardır. İç kazançlar olarak kişiler, aydınlatma ve ekipmanlar ile ilgili özellikler aşağıda sıralanmıştır:

- Kullanıcı Yoğunluğu: Bina yıl içerisinde hafta içi sabah 8:00 ile akşam 17:00 saatleri arasında kullanılmaktadır. Rektörlük binası, 2017 yılında toplam 297 idari ve akademik personel ile hizmet vermiştir. Birim alan başına düşen kişi yoğunluğu hesaplandığında $0,01$ kişi/ m^2 değeri bulunmuş ve programa girilmiştir. Kullanıcı yoğunluğunun yılın 12 ayı hafta içi her gün genellikle aynı şekilde olduğu varsayılmıştır.
- Aydınlatma: Rektörlük binası hafta içi 08:00-17:00 arası kullanılmaktadır. Buna göre kış döneminde lambaların hafta içi iş gününde saat 8:00-10.00 ve 16:00-17:00 saatleri arasında açık olduğu, günün geri kalanında gün ışığının yeterli olduğu düşünülmektedir. Yaz aylarında ise gün ışığından daha fazla

yararlanıldığı için lambaların açılmasına gerek duyulmadığı ve kapalı olduğu varsayılmıştır. Binada bulunan mevcut aydınlatma elemanı Resim 3.12’de görülmektedir. Mevcut lamba 72 voltur ve birim alan başına 5,76 W/m² enerji tüketilmektedir.



Resim 3.12: Rektörlük binasında bulunan aydınlatma elemanı

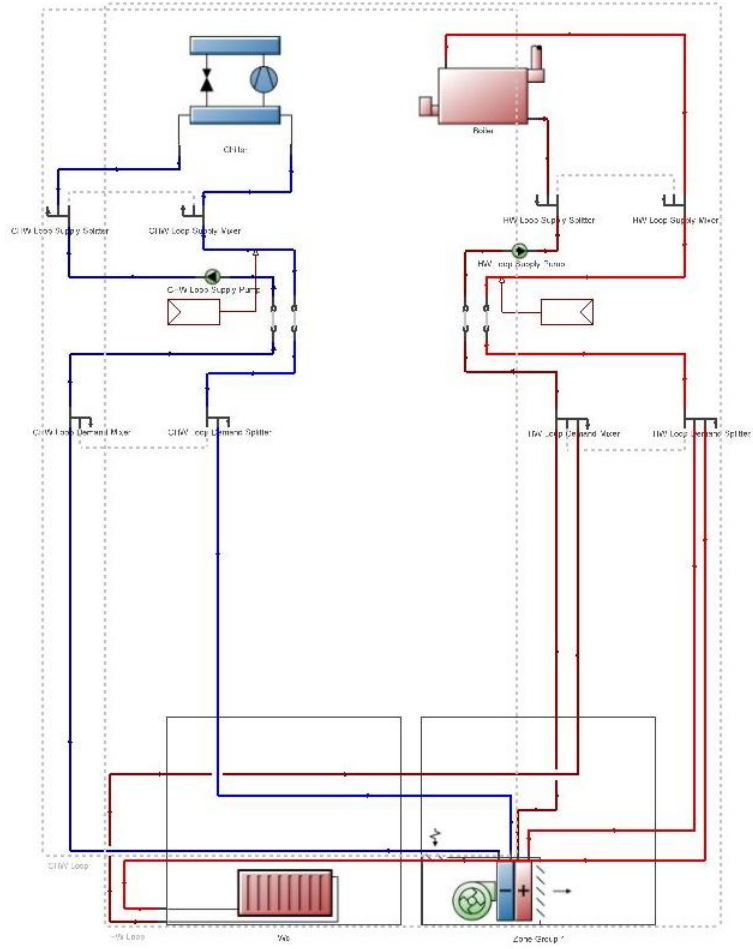
- Cihazlar: Fakültede bilgisayar, yazıcı, fotokopi cihazı gibi ekipmanlar kullanılmaktadır. Birim alan başına 6 W/m² elektrik tükettikleri kabul edilmiştir.
- Hava Sızdırmazlık: Rektörlük için yapılan gözlemler sonucunda hava sızdırmazlık değeri 0,7 ac/h olarak kabul edilmiştir.
- Termostat sıcaklık değerleri: Hafta içi ısıtma döneminde (ekim, kasım, aralık, ocak, şubat, mart, nisan) 21 °C, soğutma döneminde (mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül) ise 25 °C olarak tanımlanmıştır.

HVAC Sistemi

İdari ve akademik personel odalarında ve koridorlarda hem ısıtma hem soğutma sisteminin olduğu 4 borulu fan coil sistemi mevcuttur (Resim 3.13). Tuvalet ve arşiv gibi odalarda ise sadece ısıtma sistemi mevcuttur ve radyatör kullanılmaktadır. Bu yüzden HVAC sistemi programda öncelikle 2 ayrı bölgede tanımlanmıştır (Şekil 3.34).



Resim 3.13: Rektörlük binasında bulunan mevcut fan coil.

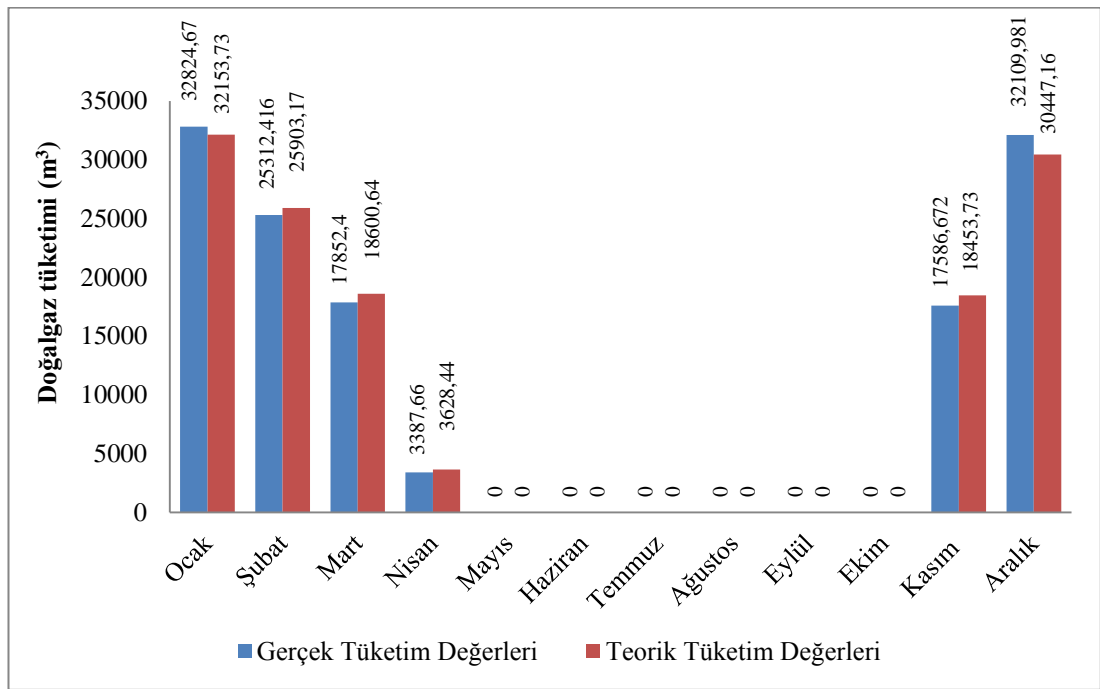


Şekil 3.34: Rektörlük binasının DesignBuilder programında tanımlanan HVAC sistemi.

Bina Simülasyon Modelinin Kalibrasyonu: Rektörlük

DesignBuilder programında mevcut bina özellikleri tanımlandıktan sonra, herhangi bir enerji etkin iyileştirme stratejisi uygulamadan önce, model mevcut durum ile kalibre edilmiştir.

Rektörlük binasının kalibrasyonu için öncelikle oluşturulan modelin 1 yıllık simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucu elde edilen aylık doğalgaz tüketim verileri ve 2017 yılına ait gerçek doğalgaz tüketim verileri Şekil 3.35’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.35: Rektörlük binası gerçek ve teorik doğalgaz tüketimleri.

Bu verilere göre modelin geçerliliğini kontrol etmek için MBE ve CVRMSE değerleri hesaplanmıştır (bkz. Denklemler (3.2)-(3.4)). Doğalgaz tüketimi için yapılan hesaplamalar sonucunda; MBE değeri %3,70; CVRMSE değeri ise %5,96 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ASHRAE Kılavuzu 14’den alınan (3.5) değerlere göre $MBE_{aylık} = \%3,70 < \%5$ ve $CVRMSE_{aylık} = \%5,96 < \%15$ olduğundan doğalgaz tüketimi için model geçerli ve güveniliridir.

Fakat modelin elektrik tüketimi için geçerliliği tek başına hesaplanamamıştır. Daha önce de belirtildiği gibi elektrik tüketiminde Rektörlük binası, M.M.F ile birlikte kalibre edilmiştir. Rektörlük binasının 1 yıllık simülasyon sonucundan elde

edilen aylık elektrik tüketimi verileri Tablo 3.13’de gösterilmiştir. Ayrıca elektrik tüketiminde M.M.F ile ortak olarak yapılan gerçek-teorik elektrik tüketimi karşılaştırması da Şekil 3.28’de verilmiştir. Modellerin elektrik tüketiminde kalibrasyonu için hesaplanan MBE ve CVRMSE değerleri “Bina Simülasyon Modelinin Kalibrasyonu: Mühendislik-Mimarlık Fakültesi” başlığı adı altında anlatılmıştır.

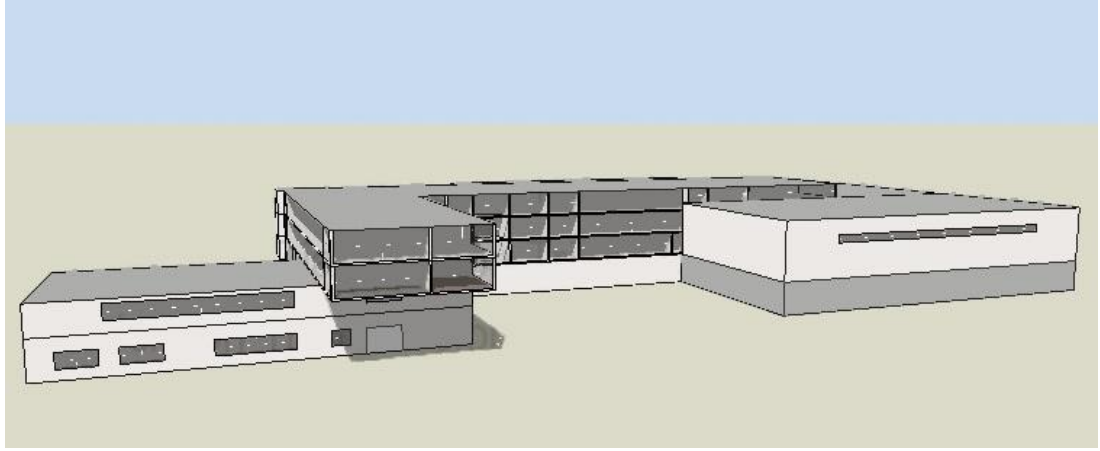
Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu Binasının Modellenmesi

2010 yılında inşa edilen Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, kuzeybatı ve güneydoğu doğrultusunda uzanan dikdörtgen şeklindeki bloklardan oluşmaktadır (Resim 3.14). Binada, idari giriş ve öğrenci girişi olmak üzere güneybatı yönünde 2 ana giriş bulunmaktadır. Spor salonları, sınıflar, ofisler vb. dahil olmak üzere çeşitli alan türlerinden mekanları barındırmaktadır. Bodrum katta akademik ve idari personel odaları, toplantı odası, arşiv, depo, makine dairesi, seminer salonu, sığınak, ısı merkezi ve jeneratör odası bulunmaktadır. Zemin katta akademik ve idari personel odaları, toplantı odası, arşiv, masa tenisi odası, kantin, kondisyon ve antrenman odası, soyunma odaları ve spor salonları yer almaktadır. 1. katta derslikler, bilgisayar odası, güreş salonu, personel odası, savunma sporları salonu ve antrenman odası vardır. 2. katta ise derslikler, kütüphane, seminer odası, laboratuvar, arşiv ve depolar bulunmaktadır. Farklı blokların farklı kat sayısına sahip olduğu bu binada 1,2 ve 4 katlı bloklar bulunmaktadır ve bina toplam alanı 9020,50 m²’dir. Bu toplam alanın yaklaşık %88’i ısıtılmakta ve yaklaşık %17’si soğutulmaktadır.



Resim 3.14: Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binası genel görünüşü.

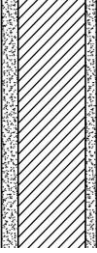
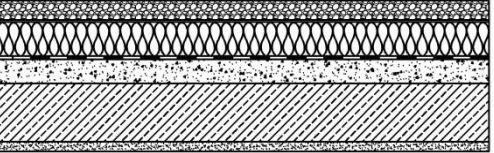
Tüm katlar için ısıl bölgelemesi yapılan B.E.S.Y.O binasının DesignBuilder programında 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur (Resim 3.15).



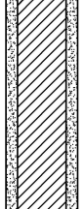
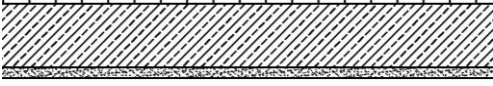
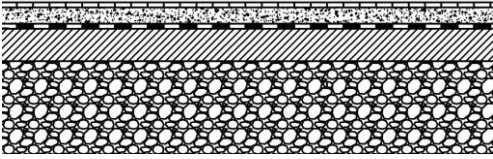

Resim 3.15: B.E.S.Y.O binasının DesignBuilder programında oluşturulan 3D modeli.

B.E.S.Y.O binasının DesignBuilder programında modeli oluşturulduktan sonra binanın mevcut özellikleri ile ilgili bilgiler programda tanımlanmıştır. Binanın programda tanımlanan bina yapı elemanlarının malzeme bileşenleri ve U değerleri Tablo 3.16’da verilmiştir.

Tablo 3.16: Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu yapı elemanları malzeme bileşenleri.

Yapı elemanları	Malzeme bileşenleri	U değeri (W/m ² K)
Dış duvar	 <ul style="list-style-type: none"> -30 mm çimento harçlı dış sıva -190 mm düşey delikli tuğla -20 mm çimento harçlı iç sıva 	1,287
Teras çatı	 <ul style="list-style-type: none"> -40 mm granülometrik çakıl -4 mm geotekstil keçe -70 mm EPS ısı yalıtımı -3 mm su yalıtımı -50 mm eğim betonu -150 mm döşeme betonu -20 mm çimento harçlı sıva 	0,431

Tablo 3.16 (devam): Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu yapı elemanları malzeme bileşenleri.

İç duvar		-20 mm çimento harçlı sıva -85 mm yatay delikli tuğla -20 mm çimento harçlı sıva	1,843
Ara kat döşeme		-15 mm granit seramik -150 mm döşeme betonu -20 mm çimento harçlı sıva	2,393
Taban		-15 mm granit seramik -50 mm temel betonu -3 mm su yalıtımı -100 mm grobeton -300 mm kum-çakıl dolgusu	1,407
Pencere		-6 mm cam -13 mm hava boşluğu -6 mm cam	2,708

Kişiler, aydınlatma elemanları ve ekipmanlar gerçeğe yakın kullanım zamanları dikkate alınarak iç kazançlar olarak DesignBuilder programında tanımlanmıştır:

- Kullanıcı Yoğunluğu: Yüksekokuldaki bölümlerin ders programları incelenerek mekân kullanım özelliklerine bağlı yoğunluklar tanımlanmıştır. Bina akademik takvim dönemi içinde çoğunlukla hafta içi 8:00-21:00 saatleri arasında kullanılmaktadır. Yaz döneminde ise hafta içi 8:00-17:00 saatleri arasında kullanıldığı kabul edilmiştir. B.E.S.Y.O, 2017 yılında 998 öğrenci ve 19 idari-akademik personel ile toplamda 1017 kişiye hizmet vermiştir. Birim alan başına düşen kişi yoğunluğu hesaplandığında 0,09 kişi/m² değeri bulunmuş ve programa girilmiştir. Kullanıcı yoğunluğunun yaz dönemi

nedeniyle haziran, temmuz ve ağustos aylarında büyük oranda azaldığı varsayılmıştır. Çünkü kullanıcının büyük çoğunluğunun öğrenciler olduğu bu binada, yaz aylarında sadece yaz okulu olduğu zamanlarda öğrenci bulunmaktadır. Yazın diğer aylarında sadece idari ve akademik personel görev yapmaktadır. Ayrıca kişilerin faaliyet düzeyi her bir mekânın kullanım amacını yansıtacak şekilde tanımlanmıştır; derslikler ve spor salonlarına ofislerden daha yüksek bir aktivite seviyesi atanmıştır.

- Aydınlatma: Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu'nda hem örgün öğretim hem 2.öğretim olarak ders verilmektedir. Buna göre kış döneminde lambaların hafta içi iş gününde saat 8:00-10.00 ve 16:00-21:00 saatleri arasında açık olduğu, günün geri kalanında gün ışığının yeterli olacağı kabul edilmiştir. Yaz döneminde (haziran, temmuz, ağustos) ise lambaların kapalı olduğu varsayılmaktadır. Mevcut aydınlatma elemanları Resim 3.16'da gösterilmektedir. Yapılan gözlemler sonucunda mevcut bir lamba 72 volt olmakla beraber birim alan başına 6 W/m² elektrik tüketilmektedir.



Resim 3.16: B.E.S.Y.O binasında bulunan aydınlatma elemanları.

- Cihazlar: Fakültede bilgisayar, yazıcı, fotokopi cihazı gibi elektrikli ekipmanlar kullanılmaktadır. Bu cihazların birim alan başına 2 W/m² elektrik tükettikleri kabul edilmiştir.
- Hava Sızdırmazlık: B.E.S.Y.O için yapılan gözlemler sonucunda hava sızdırmazlık değeri 0,7 ac/h olarak alınmıştır.

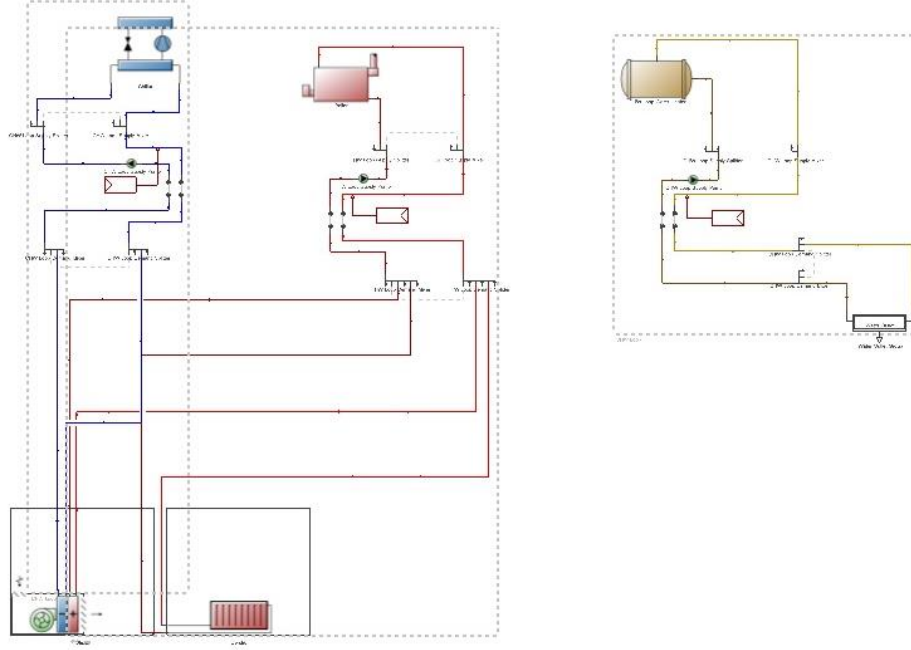
- Termostat sıcaklık değerleri: Hafta içi ısıtma döneminde (ekim, kasım, aralık, ocak, Şubat, mart, nisan) 22 Ç, soğutma döneminde (mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül) ise 25 Ç olarak tanımlanmıştır.

HVAC Sistemi

İdari ve akademik personel odalarında hem ısıtma hem soğutma sisteminin olduğu 4 borulu fan coil sistemi bulunmaktadır (Resim 3.17). Bunun dışındaki her yerde sadece ısıtma sistemi mevcuttur ve radyatör kullanılmaktadır (Resim 3.17). Ayrıca su ısıtmak için kullanılan sıcak su sistemi de mevcuttur (domestic hot water). Buna göre HVAC sistemi programda öncelikle 2 ayrı bölgede ozmlenmiŐtir. Soyunma odalarına gönderilen sıcak su için de ayrı bir sıcak su sistemi eklenmiştir (Şekil 3.37).



Resim 3.17: B.E.S.Y.O binasında bulunan radyatör ve fan coil.

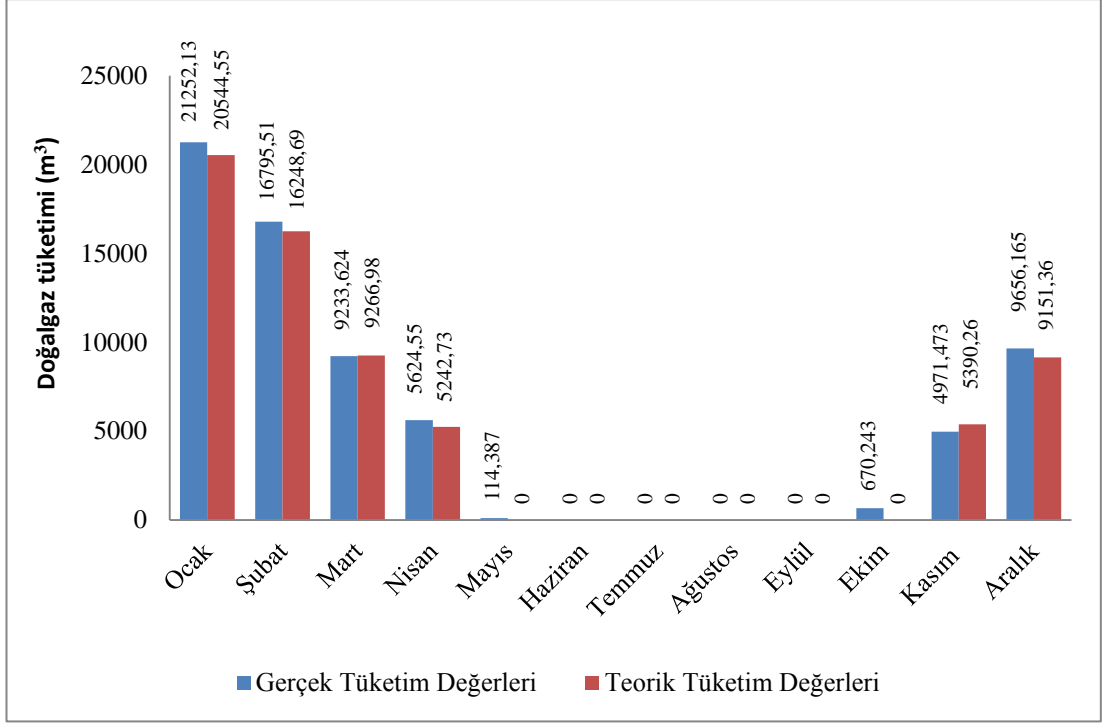


Şekil 3.37: B.E.S.Y.O binasının Design Builder programında tanımlanan HVAC sistemi.

Bina Simülasyon Modelinin Kalibrasyonu: B.E.S.Y.O

B.E.S.Y.O binasının DesignBuilder programında mevcut bina özellikleri tanımlandıktan sonra, model mevcut durum için kalibre edilmiştir.

Kalibrasyon için öncelikle oluşturulan modelin 1 yıllık simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucu elde edilen aylık doğalgaz tüketim verileri ve 2017 yılı gerçek doğalgaz tüketim verileri Şekil 3.38’de gösterilmiştir.



Şekil 3.38: B.E.S.Y.O binasının gerçek ve teorik doğalgaz tüketimleri.

Bu verilere göre modelin geçerliliğini kontrol etmek için MBE ve CVRMSE değerleri hesaplanmıştır (bkz. Denklemler (3.2)-(3.4)). Doğalgaz tüketimi için yapılan hesaplamalar sonucunda; MBE değeri %4,94; CVRMSE değeri ise %6,88 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ASHRAE Kılavuzu 14'den alınan (3.5) değerlere göre $MBE_{aylık} = \%4,94 < \%5$ ve $CVRMSE_{aylık} = \%6,88 < \%15$ olduğundan doğalgaz tüketimi için model geçerli ve güvenilirdir.

B.E.S.Y.O binası elektrik tüketimi için kalibrasyon hesabında kullanılacak, 1 yıllık simülasyon sonucundan elde edilen aylık elektrik tüketimi verileri ise Tablo 3.17'de gösterilmiştir.

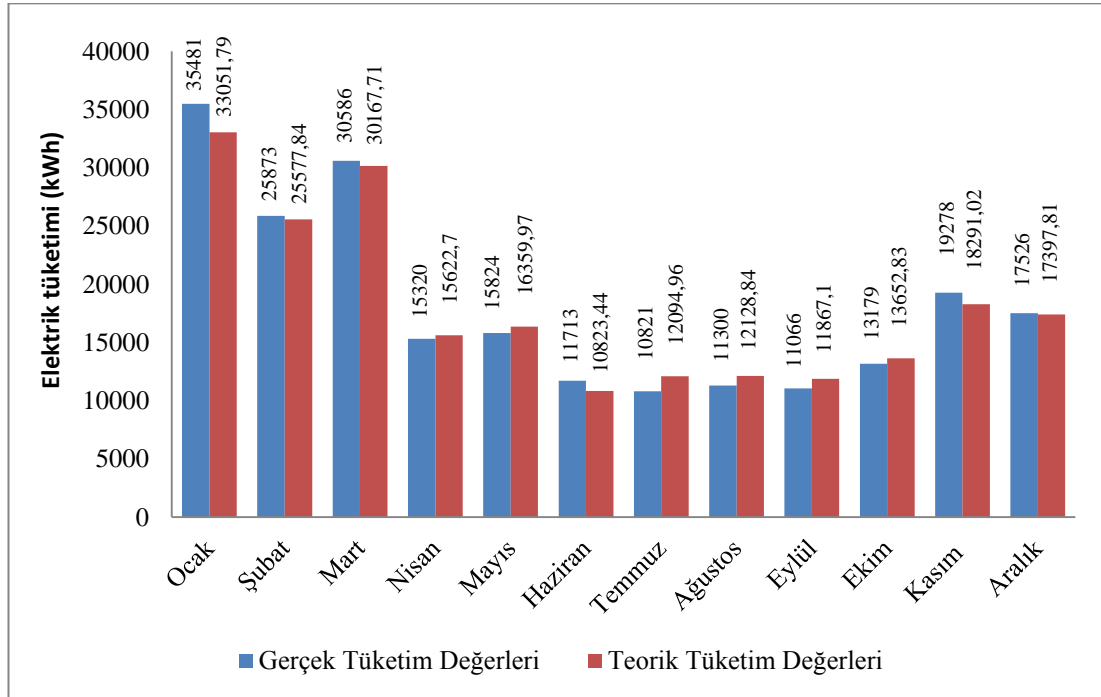
Tablo 3.17: B.E.S.Y.O elektrik tüketimi simülasyon sonuçları.

Aylar	Genel aydınlatma (kWh)	Bilgisayar + ekipman (kWh)	Sistem fanları (kWh)	Sistem pompaları (kWh)	Soğutma (kWh)	DHW (kWh)	Toplam (kWh)
Ocak	18901,7	3494,433	9764,359	813,1511	0	78,15591	33051,79
Şubat	13779,95	2254,473	8819,422	652,0811	0	71,92011	25577,84
Mart	16462,77	3494,433	9764,359	364,4728	0	81,67775	30167,71
Nisan	3658,394	2254,473	9449,381	192,1639	0	68,28828	15622,70

Tablo 3.17 (devam): B.E.S.Y.O elektrik tüketimi simülasyon sonuçları.

Mayıs	5609,538	848,5015	9764,359	0,653676	62,73268	74,18913	16359,97
Haziran	0	811,6102	9449,381	3,762515	558,6925	0	10823,44
Temmuz	0	774,7188	9764,359	12,4023	1543,48	0	12094,96
Ağustos	0	848,5015	9764,359	11,36904	1504,614	0	12128,84
Eylül	1280,438	774,7188	9449,381	2,52669	360,0455	0	11867,10
Ekim	1341,411	2479,92	9764,359	0,009596	0	67,13218	13652,83
Kasım	6036,351	2479,92	9449,381	253,9837	0	71,38736	18291,02
Aralık	5249,796	1803,578	9764,359	507,8308	0	72,25606	17397,81

Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, 1 yıllık simülasyon sonucunda ortaya çıkan aylık elektrik tüketimleri ile 2017 yılı elektrik tüketimleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçları da Şekil 3.39’da görülmektedir.



Şekil 3.39: B.E.S.Y.O binasının gerçek ve teorik elektrik tüketimleri.

Bu verilere göre, (3.2), (3.3) ve (3.4) eşitliği yardımıyla MBE ve CVRMSE değerleri hesaplanmıştır. B.E.S.Y.O binası elektrik tüketimi için; MBE değeri %4,30 ve CVRMSE değeri %5,39 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada kriter alınan (3.5) değerlere göre $MBE_{aylık} = \%4,30 < \%5$ ve $CVRMSE_{aylık} = \%5,39 < \%15$ olduğundan elektrik tüketimi için model geçerli ve güvenilirdir.

4. ENERJİ ETKİN İYİLEŞTİRME ÖNERİLERİ VE SONUÇLAR

Binalarda enerjiyi daha verimli kullanarak tasarruf etmek için, birçok strateji geliştirilebilir. Binanın fosil kaynaklı enerji ihtiyacını azaltmak, mimari anlamda değişiklikler, HVAC sistemlerinin daha verimli sistemlerle değiştirilmesi yada yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi ile mümkündür. Bu çalışmada seçilen üniversite binalarının enerji tüketimini en aza indirmek için uygulanacak enerji tasarrufu stratejileri Tablo 4.1’de sıralanmıştır.

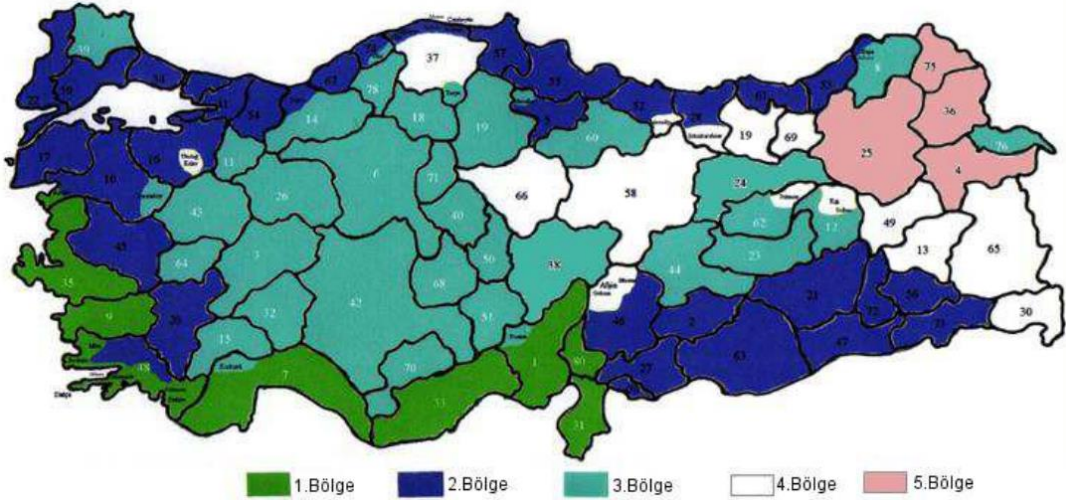
Tablo 4.1: Enerji tasarrufu stratejileri.

Dış Duvar	Pencere	Çatı	Aydınlatma Sistemi	HVAC Sistemi	Diğer
D1: 7 cm yalıtım	P1: 4 mm Low-E dış cam 12 mm hava boşluğu 4 mm renksiz iç cam	Ç1: 10 cm yalıtım	A1: LED ampul kullanılması	H1: Yüksek verimli fan kullanımı	E1: Güneye 50 cm güneş kırıcı, doğu ve batıya dıştan jaluzi eklenmesi
D2: 10 cm yalıtım	P2: 4 mm Solar Low-E dış cam 12 mm hava boşluğu 4 mm renksiz iç cam	Ç2: 15 cm yalıtım			E2: Tüm cephelere dıştan jaluzi uygulanması
D3: 15 cm yalıtım	P3: 4 mm Low-E dış cam 12 mm hava boşluğu 4 mm renksiz orta cam 12 mm hava boşluğu 4 mm renksiz iç cam	Ç3: 20 cm yalıtım			E3: Hava sızdırmazlık değerinin düşürülmesi
	P4: 4 mm Low-E dış cam 12 mm hava boşluğu 4 mm renksiz orta cam 12 mm hava boşluğu 4 mm Low-E iç cam				
	P5: 4 mm Solar Low-E dış cam 12 mm hava boşluğu 4 mm renksiz orta cam 12 mm hava boşluğu 4 mm Low-E iç cam				

Kombinasyon 1 = D1+P2+Ç1+A1+H1+E2+E3
 Kombinasyon 2 = D3+P4+Ç3+A1+H1+E2+E3

Binalarda enerji tüketimini en aza indirmek için kışın ısı kayıplarını yazın ise ısı kazançlarını azaltmak gerekmektedir. Isı kayıp ve kazançlarını azaltmak ve ısı konforu sağlamak amacıyla binaların dış cephe ve çatılarına ısı yalıtımı uygulaması önerilmiştir. Isı yalıtımı, kış döneminde ısı kayıplarını azaltırken yaz döneminde ısı kazançlarını azaltır. Ayrıca ısı yalıtımının bir diğer avantajı, binanın yoğuşma riskini azaltarak küflenmeyi önlemesidir.

2013 yılında yürürlüğe giren TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardına göre Türkiye, binalarda ısı yalıtımı uygulamaları açısından Resim 4.1’de gösterildiği gibi 5 derece gün bölgesine ayrılmıştır (TS 825, 2013, s.78). Çalışma alanı olan Balıkesir ili 2. bölgede yer almaktadır.



Resim 4.1: Derece gün bölgelerine göre illerimiz (TS 825, 2013, s.78).

Derece gün bölgelerine göre önerilen toplam ısıl geçirgenlik değerleri ise Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Derece gün bölgelerine göre önerilen U değerleri (TS 825, 2013, s.33).

Bölge	U _{duvar} (W/m ² K)	U _{tavan} (W/m ² K)	U _{taban} (W/m ² K)	U _{pencere} (W/m ² K)
1. bölge	0,66	0,43	0,66	1,8
2. bölge	0,57	0,38	0,57	1,8

Tablo 4.3 (devam): Derece gün bölgelerine göre önerilen U değerleri (TS 825, 2013, s.33).

3. bölge	0,48	0,28	0,43	1,8
4. bölge	0,38	0,23	0,38	1,8
5. bölge	0,36	0,21	0,36	1,8

Bu çalışmada duvara ve çatıya önerilen ısı yalıtımının kalınlıklarına karar vermek için İZODER TS825 programı kullanılmıştır. Binaların duvar ve çatı için kullanılan yapı elemanlarına ait malzeme bileşenleri programa girildikten sonra U değerleri hesaplanmıştır. Balıkesir ili 2. derece gün bölgesinde yer aldığı için Tablo 4.2’de 2. bölge için verilen U değerleri geçerlidir. Bu değerler baz alınarak minimum ısı yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda bu çalışma kapsamında incelenen binalarda; dış duvar için minimum ısı yalıtım kalınlığı 7 cm, çatı için ise minimum ısı yalıtım kalınlığı 10 cm olarak bulunmuştur. Buna göre dış duvarda 7 cm, 10 cm ve 15 cm taş yünü ısı yalıtımı; çatıda 10 cm, 15 cm ve 20 cm taş yünü ısı yalıtımı önerilmiştir. Taş yünü, kireç taşı ve bazalt gibi minerallerden oluşan lifli bir yapıdadır. Isı, ses ve yangın yalıtımı için kullanılabilir. Dış duvarlarda kullanılması önerilen taş yünü malzemesinin ısı iletim katsayısı $k=0,037$ W/mK, çatılarda kullanılması önerilen taş yünü malzemesinin ısı iletim katsayısı $k=0,039$ W/mK’dir. Isı yalıtımının dıştan uygulanması ısı köprülerinin ve yoğuşmanın oluşmasını engellediği için tercih edilmiştir. İncelenen binalarda uygulanacak yalıtım kalınlıkları ve yeni durumdaki dış duvar U değerleri ile çatılara uygulanan yalıtım kalınlıkları ve U değerleri Tablo 4.3’de gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Duvar ve çatı önerilerine ait U değerleri.

Duvar ve Çatı Tipi	Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığı	U değeri
D1	7 cm	0,372 W/m ² K
D2	10 cm	0,286 W/m ² K
D3	15 cm	0,206 W/m ² K
Ç1	10 cm	0,35 W/m ² K
Ç2	15 cm	0,242 W/m ² K
Ç3	20 cm	0,184 W/m ² K

Binalarda enerji tasarrufu sağlamak için önerilen diğer bir diğer strateji de pencerelerin değiştirilmesi ve gölgelendirme elemanlarının eklenmesidir. Pencereler

binalarda ısı kayıp ve kazancına önemli katkısı olan yapı elemanlarıdır. Pencerele rin enerji performansını kullanılan camların ısı l iletkenlik katsayısı (k), güneş enerjisi toplam geçirgenliği (SHGC) ve ışık geçirgenliği gibi termofiziksel özellikleri önemli ölçüde etkilemektedir. Önerilen cam tipleri ve termofiziksel özellikleri Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Önerilen cam tipleri ve termofiziksel özellikleri.

No	Cam tipi	Güneş Enerjisi Toplam Geçirgenliği	Gün Işığı Geçirgenliği	U değeri
Mevcut durum	Çift cam	%69,7	%78,1	2,708
P1	Çift cam	%56	%79	1,6
P2	Çift cam	%44	%72	1,6
P3	Üçlü cam	%51	%72	1,2
P4	Üçlü cam	%48	%70	0,9
P5	Üçlü cam	%39	%64	0,9

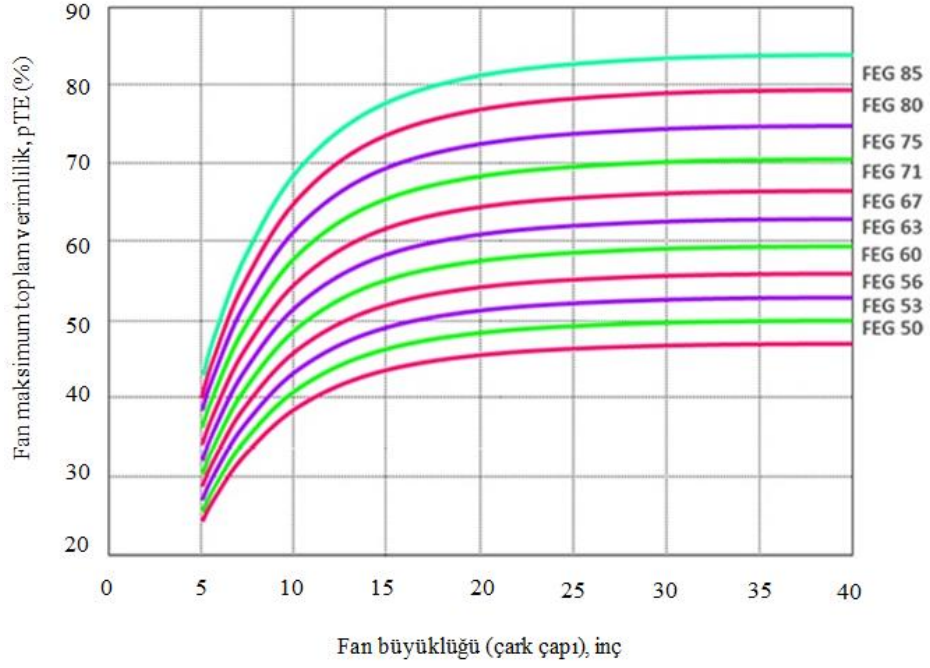
Güneş kontrolünü sağlamak için birçok farklı şekillerde gölgelendirme elemanı kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında incelenen binalara öncelikle gölgelendirme elemanı olarak, güneybatı cepheye yatayda 50 cm'lik güneş kırıcı, güneydoğu ve kuzeybatı cephelerine dış jaluzi eklenmesi (E1) önerilmiştir. Gölgelendirme elemanı için diğer bir öneri (E2) ise tüm cephelere dış jaluzi uygulanmasıdır. Jaluziler ile gün ışığı kontrolü, isteğe göre açılıp kapatılabilir olması nedeniyle kolaylıkla sağlanabilmektedir. Bunun yanı sıra jaluzilerde ayna etkili lameller kullanılıp gün ışığı doğrudan tavana yansıtılarak mekanın eşit olarak aydınlatılması da sağlanabilir. Bu çalışmada jaluziler DesignBuilder programında kış döneminde açık, yaz döneminde kullanılır olarak kurgulanmıştır.

Enerji tasarrufu stratejilerinden bir diğeri de binada kullanılan mevcut aydınlatma elemanlarının LED ampullerle değiştirilmesidir. Yapılan gözlemlere göre incelenen binalarda floresan ampul kullanılmaktadır ve bir ampul ortalama 18 Watt enerji tüketmektedir. Bu durumda Tablo 4.5'de verilen karşılaştırma değerlerine göre aynı ışık akısı (lümen) değerine sahip LED ampulün güç değeri ortalama 7-10 W arasındadır. Buna göre LED ampul, floresan ve akkor ampullere göre daha az enerji harcamaktadır.

Tablo 4.6: Ampullerin güç tüketimi ve minimum parlaklık değerleri (Viribright, 2019).

Lümen (Parlaklık)	LED ampul (Watt)	Kompakt floresan ampul (Watt)	Akkor ampul (Watt)
400-500	6-7 W	8-12 W	40 W
650-850	7-10 W	13-18 W	60 W
1000-1400	12-13 W	18-22 W	75 W
1450-1700+	14-20 W	23-30 W	100 W
2700+	25-28 W	30-55 W	150 W

Bir binanın enerji tüketiminin büyük bir kısmı HVAC sistemi tarafından tüketilmektedir (Brendel, 2012). Buna göre HVAC sisteminde yapılacak enerji etkin iyileştirmeler ile enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu çalışmada öncelikle incelenen binalardaki mevcut ısıtma/soğutma sistemleri değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda enerji tasarrufu sağlamak için, HVAC sisteminde fan coil ünitesi içindeki sıcak ve soğuk hava üfleyen fanların yüksek verimli fanlarla değiştirilmesi önerilmiştir. Yüksek verimli bir fan düşük verimli bir fandan daha az enerji tüketmektedir. Fan verimi, verilen hava gücünün fan mil gücüne oranıdır (Brendel, 2012). Bu çalışma kapsamında incelenen binaların mevcuttaki fan verimleri araştırılmış ve yaklaşık olarak %65 fan verimi olduğu gözlemlenmiştir. AMCA standardı 205 tarafından belirlenen fanlar için enerji verimliliği sınıflandırması olan FEG (Fan Efficiency Grades) Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Buna göre bu çalışmada enerji etkin iyileştirme önerisi olarak kullanılacak yüksek verimli fanın verimi %85'dir.



Şekil 4.1: Çeşitli fan verimleri ve boyutları (Mathson ve Ivanovich, 2011).

Bina kabuğundan, iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı ve rüzgardan kaynaklı basınç farkı nedeniyle hava sızıntıları oluşabilmektedir. Hava sızdırmazlık istenmeyen hava kaçakları olarak tarif edilebilir. Binalarda oluşan ısı kayıplarının yaklaşık %20-%50'si hava sızıntılarından kaynaklanmaktadır (Ulukavak-Harputlugil ve Kılınç, 2016). Hava sızıntıları, binanın enerji performansını düşürmekte ve yoğunlaşmaya bağlı yapı hasarları meydana gelmektedir. Doğru yalıtım uygulamaları ve pencere-kapı iyileştirmeleri ile hava sızdırmazlığı azaltılabilir ve böylece enerji ihtiyacı da azalır. Hava sızdırmazlık daha konforlu, sağlıklı ve enerji verimli mekanlar sunabilir. Yapılan araştırmalar, yeterli hava sızdırmazlığının sağlandığı binalarda %50'ye kadar ısıtma enerjisi tasarrufunun gerçekleştiğini ortaya koymuştur (Šadauskienė, Paukštys, Šeduikytė ve Banionis, 2014, s.4973). Bu çalışmada enerji tasarrufu sağlamak için önerilen çatı yalıtımı, dış duvar yalıtımı ve pencerelerin değiştirilmesi sonucunda hava sızdırmazlık değerinin düşeceği kabul edilmiştir. Mevcut durumunda alınan 0.7 ac/h hava sızdırmazlık değerinin enerji etkin iyileştirmeler yapılması sonucunda 0.5 ac/h'ye düşeceği varsayılmıştır.

Tüm bu enerji tasarrufu stratejilerinin uygulanması ve sonrasında enerji tasarrufuna etkilerinin analiz edilmesi ile binaların enerji tasarruf potansiyeli belirlenecektir. Çalışma kapsamında incelenen binalara enerji tasarrufu stratejileri

DesignBuilder programında oluşturulan modellere uygulanmıştır ve çok sayıda simülasyon yürütülmüştür. İncelenen 4 bina için toplamda 80 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarında binaların enerji tüketimi çıktıları kWh cinsinden alınmıştır. Tez kapsamında simülasyon çıktıları, ısıtma ve soğutma için harcanan enerji olarak değerlendirilmiştir.

Belirlenen stratejilerin her birinin enerji tasarrufuna ne kadar etki ettiklerini görebilmek için öncelikle tek tek uygulanmıştır. Daha sonra her iyileştirme önerisi ile elde edilen tasarruf miktarları kendi içerisinde karşılaştırılarak en düşük ve en yüksek tasarruf potansiyeline sahip stratejiler belirlenip çoklu kombinasyonlar oluşturulmuştur.

4.1 Enerji Tasarruf Potansiyellerinin Belirlenmesi

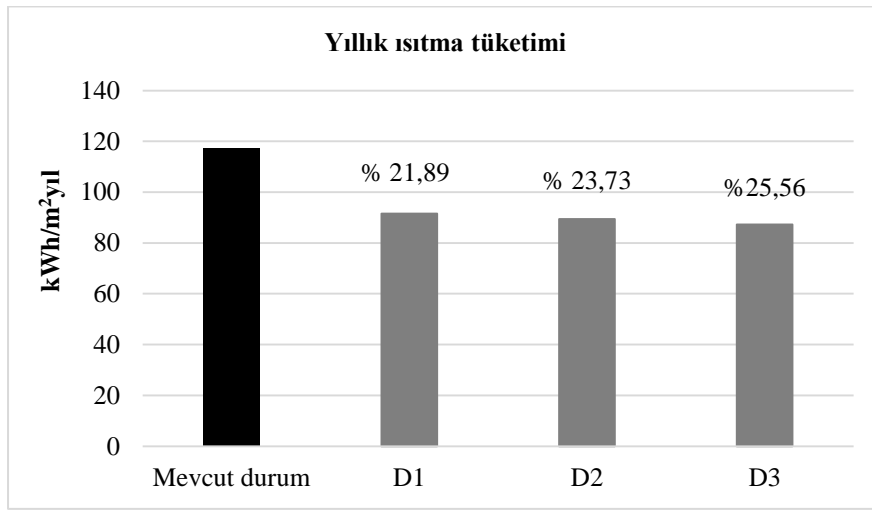
4.1.1 Enerji Tasarruf Potansiyelinin Belirlenmesi: Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Duvar İyileştirme Önerileri

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binası dış duvarlarına dıştan uygulanması önerilen 7 cm'lik taşıyıcı ısı yalıtımı sonucunda duvarın toplam ısıl geçirgenlik değeri (U) 1,287 W/m²K değerinden 0,372 W/m²K değerine düşmüştür. 10 cm ısı yalıtımı uygulanması durumunda bu değer 0,286 W/m²K'ye, 15 cm ısı yalıtımı uygulanması sonucunda 0,206 W/m²K değerine kadar azalmıştır. Bu durumun, enerji tüketim miktarında da azalmaya sebep olması beklenmektedir.

DesignBuilder programında oluşturulan mevcut durum bina modeli, gerçek enerji tüketim verileri ile kalibre edildikten sonra 1 yıllık simülasyonu yapılmıştır. Sonuçta ortaya çıkan ısıtma ve fan coil fanlarının tükettikleri enerji değerleri toplanıp yıllık ısıtma tüketimi elde edilmiştir. Mevcut durumdaki ısıtma tüketimini azaltmak için dış duvarlara 7-10-15 cm kalınlığında taşıyıcı ısı yalıtımı uygulanması ile oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Mevcuttaki yıllık ısıtma

tüketimi ile duvar iyileştirme önerileri sonucunda ortaya çıkan yıllık ısıtma tüketimleri, bina ısıtılan toplam alanına bölünerek birim alan başına düşen tüketim değerleri belirlenmiştir. Buna göre 117,27 kWh/m² olan mevcut ısıtma tüketimi, dış duvarlara uygulanan 7 cm ısı yalıtımı sonrasında 91,6 kWh/m² değerine düşmüştür ve %21,89 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Isı yalıtım kalınlığı arttıkça yıllık ısıtma tüketimi değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. 10 cm ısı yalıtımı, mevcuttaki yıllık ısıtma tüketimi değerini 89,44 kWh/m²'ye azaltırken, 15 cm ısı yalıtımı 87,3 kWh/m²'ye kadar azaltmıştır. 10 ve 15 cm ısı yalıtımı sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf miktarı %23,75 ve %25,56' dır.

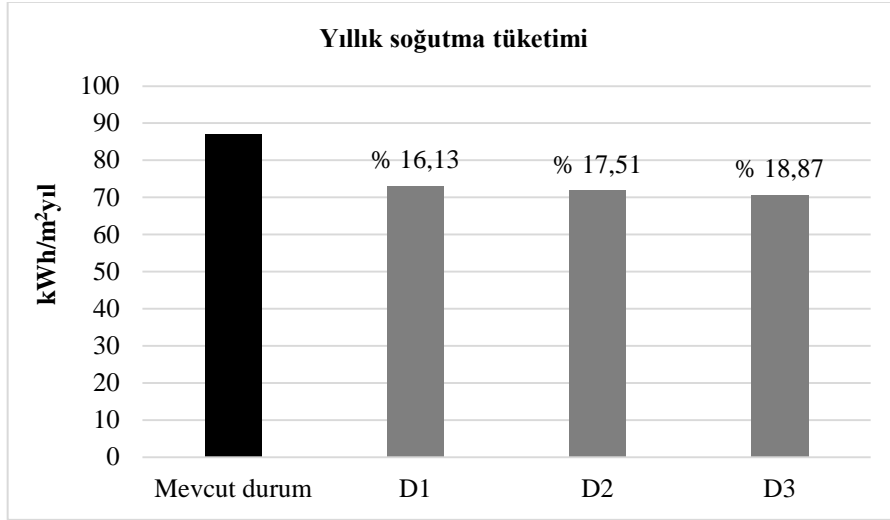


Şekil 4.2: M.M.F binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi soğutma tüketimi ve fanların soğutma dönemi içerisinde tükettikleri enerji toplanmış ve yıllık soğutma tüketimi elde edilmiştir. Daha sonra dış duvarlara önerilen 7-10-15 cm taşyünü ısı yalıtımı uygulanması ile yıllık soğutma tüketiminde meydana gelen enerji tasarruf potansiyelleri belirlenmiştir. Şekil 4.3'te, yıllık soğutulan alan başına enerji tüketimleri verilmiştir. Buna göre mevcut binanın soğutulan birim alana düşen soğutma tüketimi 87,08 kWh/m² iken, dış duvarlara dıştan uygulanan 7 cm ısı yalıtımı sonrasında 73,03 kWh/m² değerine düşmüştür. 10 cm ısı yalıtımı, yıllık soğutma tüketimi değerini 71,83 kWh/m²'ye, 15 cm ısı yalıtımı ise 70,65 kWh/m²'ye azaltmıştır. Böylece ısı yalıtım kalınlığının artması ile yıllık soğutma tüketimi değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. 7-10-15 cm ısı yalıtımı uygulanması

sonucunda oluşan yıllık soğutma tüketimindeki enerji tasarruf potansiyelleri %16,13, %17,51 ve %18,87 olduğu bulunmuştur.

Isıtma ve soğutma tüketimi enerji tasarruf potansiyelleri kıyaslandığında ısıtma tüketiminin soğutma tüketiminden daha fazla enerji tasarruf potansiyeline sahip olduğu görülmüştür.



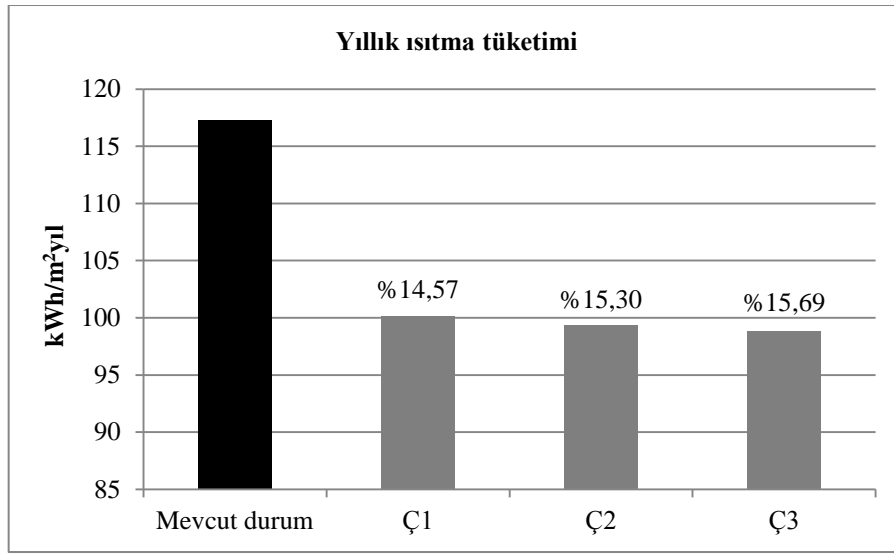
Şekil 4.3: M.M.F binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları.

Çatı İyileştirme Önerileri

M.M.F binasındaki blokların çoğunluğu teras çatı olmakla birlikte mevcut çatılarında ısı yalıtımı bulunmamaktadır. Binanın tükettiği enerji miktarını azaltmak için çatıya 10 cm, 15 cm ve 20 cm'lik taşıyünü ısı yalıtımı uygulanması öngörülmüştür. Çatıya 10 cm taş yünü ısı yalıtımı uygulanması önerisi (Ç1) sonucunda mevcut çatının toplam ısıl geçirgenlik değeri 3,42 W/m²K değerinden 0,35 W/m²K değerine azalmıştır. 15 cm taşıyünü ısı yalıtımı uygulanması (Ç2) ile bu değer 0,242 W/m²K'ye düşerken, 20 cm taşıyünü ısı yalıtımı uygulanmasıyla (Ç3) 0,184 W/m²K değerine kadar düşmüştür. Mevcut çatının ısıl geçirgenlik değerinin azalmasının, enerji tüketim miktarında da azalmaya sebep olması beklenmektedir.

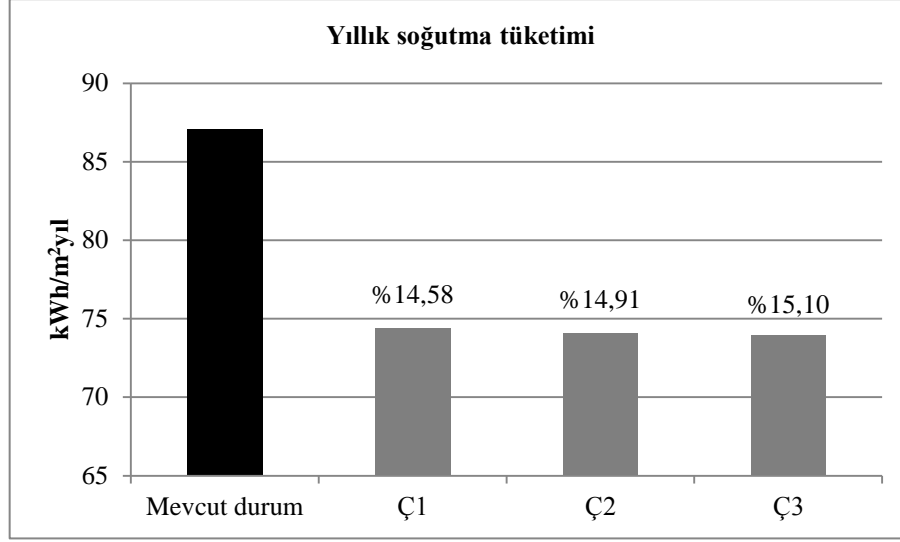
M.M.F binası için çatıya önerilen Ç1, Ç2 ve Ç3 önerilerinin uygulanması ile oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Buna göre Ç1

önerisi sonucunda, ısıtılan birim alana düşen yıllık ısıtma tüketimi $117,27 \text{ kWh/m}^2$ değerinden $100,18 \text{ kWh/m}^2$ değerine düşmüştür ve %14,57 değerinde ısıtma enerjisinden tasarruf sağlanmıştır. Ç2 önerisi ile ısıtma enerjisi $99,32 \text{ kWh/m}^2$ değerine düşmüştür. Ç3 önerisiyle ise yıllık ısıtma tüketimi $98,86 \text{ kWh/m}^2$ değerine azalmıştır. Ç2 ve Ç3 önerisi sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları sırasıyla, %15,30 ve %15,69'dur. Çatı için uygulanması önerilen ısı yalıtımlarının, kalınlığı arttıkça ısıtma tüketimi değerinin azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.4: M.M.F binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

M.M.F binası çatısına uygulanması önerilen Ç1, Ç2 ve Ç3 önerileri sonucunda meydana gelen soğutma enerjisi tasarruf potansiyelleri Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Buna göre, çatıya 10 cm taşyünü ısı yalıtımı uygulanması önerisi olan Ç1 ile soğutulan birim alana düşen yıllık soğutma tüketimi $87,08 \text{ kWh/m}^2$ 'den $74,38 \text{ kWh/m}^2$ değerine düşmüştür. Ç2 ile yıllık soğutma tüketimi değeri $74,09 \text{ kWh/m}^2$ 'ye azalırken, Ç3 ile $73,93 \text{ kWh/m}^2$ 'ye azalmıştır. Ç1, Ç2 ve Ç3 önerilerinin uygulanması sonucunda oluşan soğutma enerjisi tasarruf oranları sırasıyla; %14,58, %14,91 ve %15,10'dur. Bu önerilerin soğutma enerjisi üzerindeki etkilerine bakıldığında, yalıtım kalınlığının soğutma enerjisinden tasarruf oranını olumlu yönde etkilediği görülmüştür.



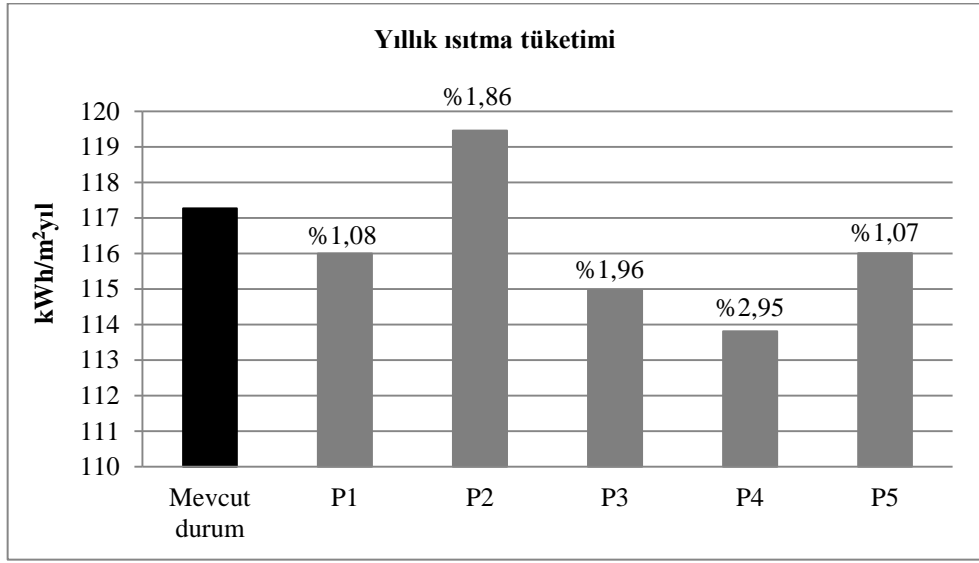
Şekil 4.5: M.M.F binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları.

Pencere İyileştirme Önerileri

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binasında PVC doğramalı çift cam pencere kullanılmaktadır. Kullanılan pencere sisteminin, güneş enerjisi toplam geçirgenlik değeri (SHGC) %69,7 ve toplam ısıl geçirgenlik değeri (U) 2,708 W/m²K 'dir. Mevcut pencerelerin enerji performansını geliştirmek için farklı termofiziksel özelliklere sahip 5 cam tipi önerilmiştir. Önerilen pencere sistemlerinin termofiziksel özellikleri Tablo 4.4'te gösterilmiştir (bkz. Tablo 4.4). Termofiziksel özelliklerin değişmesi genel olarak enerji tüketim miktarında da değişmeye sebep olacaktır.

M.M.F binası mevcut yıllık ısıtma tüketimi ve farklı cam tiplerinin uygulanması durumunda ortaya çıkan yıllık ısıtma tüketim değerleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. P1 önerisi, low-e kaplamalı çift cam önerisidir. P1 önerisi sonucunda yıllık ısıtma tüketimi %1,08 azalmıştır. Fakat P2 önerisi uygulanması sonucunda yıllık ısıtma tüketiminde %1,86'lık bir artış görülmüştür. Bunun muhtemel sebebi güneş enerjisi toplam geçirgenliğinin belli bir değer altına inmesi ve bu durumun kışın güneşten olan kazancı önemli ölçüde azaltması olabilir. P3 önerisi üç katmanlı cam sistemine sahiptir. P3 önerisi sonucunda birim alana düşen yıllık ısıtma tüketimi %1,96 azalarak 114,97 kWh/m² değerine düşmüştür. P4 önerisi, low-e kaplamalı dış ve iç camın olduğu 3 katmanlı cam sistemidir. Birim alana düşen yıllık ısıtma

tüketimini %2,95 azaltmış ve 113,81 kWh/m² değerini almıştır. P5 önerisi de solar low-e kaplamalı dış cam ve low-e kaplamalı iç camın olduğu üç katmanlı cam sistemidir. Birim alana düşen yıllık ısıtma tüketimini %1,07 azaltarak 116,01 kWh/m² yıllık ısıtma tüketimine sahip olmuştur. Bu pencere önerilerine göre yıllık ısıtma tüketimini en fazla azaltıp maksimum enerji tasarrufu sağlayan öneri P4 olmuştur. Yıllık ısıtma tüketimini olumsuz yönde etkileyen öneri ise P2 önerisidir. Pencere sistemlerinin değiştirilmesine yönelik önerilerin yıllık ısıtma tüketimi sonuçlarına genel olarak bakıldığında, enerji tasarrufuna çok fazla katkı sağlamadıkları gözlenmiştir.

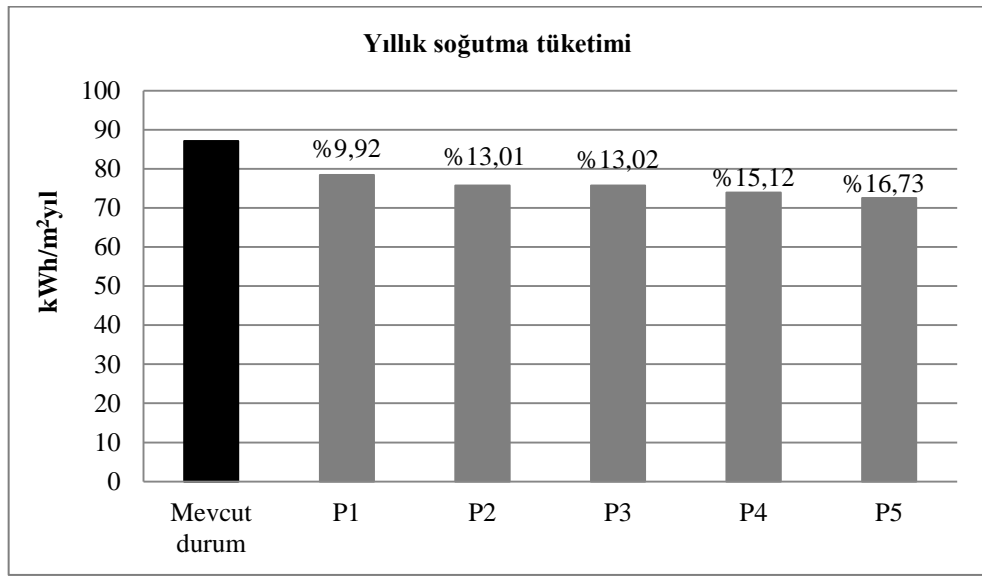


Şekil 4.6: M.M.F binası pencere iyileştirme önerileri sonucunda yıllık ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

M.M.F binası birim alana düşen mevcut yıllık soğutma tüketimi ve çeşitli cam sistemlerinin uygulanması sonucunda ortaya çıkan yıllık soğutma tüketim değerleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir. P1 önerisi sonucunda yıllık soğutma tüketiminde %9,92 azalma ile 78,44 kWh/m² değerini almıştır. P2 önerisi, yıllık soğutma tüketimini 75,75 kWh/m² değerine düşürmüş ve %13,01’lik bir azalmaya sebep olmuştur. P3 önerisi sonucunda yıllık soğutma tüketimi %13,02 azalarak 75,74 kWh/m² değerine düşmüştür. Çift cam olan P2 ile üçlü cam olan P3 önerisi soğutma tüketimi için yaklaşık olarak aynı derecede enerji tasarruf potansiyeline sahip olduğu gözlenmiştir. P4 önerisi sonucunda yıllık soğutma tüketimi %15,12 oranında azalmış ve birim alana düşen yıllık soğutma tüketimi 73,91 kWh/m² değerine düşmüştür. P5 önerisi sonucunda da yıllık soğutma tüketimi mevcut soğutma tüketimine göre %16,73 azalarak 72,51 kWh/m² değerini almıştır. Pencere önerilerine göre yıllık

soğutma tüketimini en fazla azaltıp maksimum enerji tasarrufu sağlayan öneri P5 olurken, minimum enerji tasarrufu sağlayan öneri P1 olmuştur. P1 önerisinden P5 önerisine doğru, güneş enerjisi toplam geçirgenliği ve U değeri azalmaktadır. Bundan kaynaklı olarak yıllık soğutma tüketiminin de giderek azaldığı gözlenmiştir.

Pencere sistemlerinin değiştirilmesine yönelik önerilerin yıllık ısıtma ve soğutma tüketimi üzerindeki enerji tasarruf potansiyellerine bakıldığında, soğutma tüketimi enerji tasarruf oranları, ısıtma tüketimi enerji tasarruf oranlarına göre çok daha fazladır.



Şekil 4.7: M.M.F binası pencere önerileri sonucunda yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları.

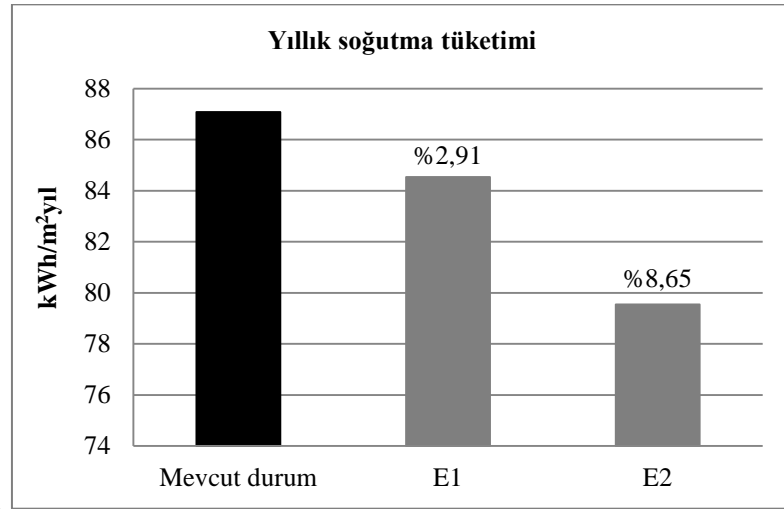
Gölgelendirme Elemanı Önerileri

M.M.F binasındaki pencerelere gölgelendirme elemanları eklenmesi sonucunda ısıtma için harcanan enerji tüketiminde önemli bir değişime sebep olmadığı gözlenmiştir. Genel olarak bakıldığında, E1 ve E2 önerileri yıllık ısıtma tüketimlerini sırasıyla %0,38 ve %0,03 oranında artırmıştır.

M.M.F binasına gölgelendirme elemanları eklenmesi ile meydana gelen yıllık soğutma tüketimleri Şekil 4.8'de görülmektedir. Buna göre her iki önerinin de soğutma için harcanan enerji tüketiminde azalmaya sebep olduğu bulunmuştur. E2 önerisi E1 (güneye 50 cm güneş kırıcı, doğu ve batıya dıştan jaluzi eklenmesi) önerisine kıyasla daha fazla soğutma tüketimini azaltmıştır. Bunun muhtemel sebebi,

E2 önerisinde tüm cephelere eklenmesi önerilen jaluzilerin soğutma döneminde güneş enerjisi kazancını daha fazla azaltması olabilir.

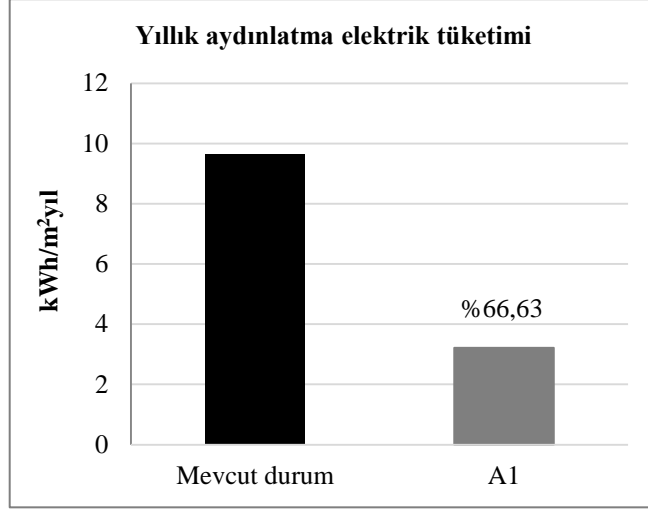
E1 ve E2 önerilerinin ısıtma ve soğutma enerjisi üzerindeki etkilerine genel olarak bakıldığında, soğutma tüketimini ısıtma tüketiminden daha fazla etkilediği gözlenmiştir. E1 ve E2 önerileri yıllık soğutma tüketimlerini sırasıyla %2,91 ve %8,65 oranında azaltarak birim alan başına düşen soğutma tüketimlerini 84,54 kWh/m² ve 79,54 kWh/m² değerine düşürmüştür.



Şekil 4.8: M.M.F binası gölgelendirme elemanı önerileri sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranları.

Aydınlatma Elemanları İyileştirme Önerisi

Mevcut aydınlatma armatürlerini LED ampullerle değiştirmek üzerine olan A1 önerisinin yıllık aydınlatma tüketimine etkisi Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Buna göre A1 önerisi, aydınlatma enerjisinde %66,63 tasarruf sağlamaktadır. Mevcut durumdaki aydınlatma elektrik tüketimi yaklaşık olarak üçte birine düşmüştür. Bunun muhtemel sebebi, LED ampullerin floresan ampullere kıyasla çok daha düşük enerji tüketmeleridir.

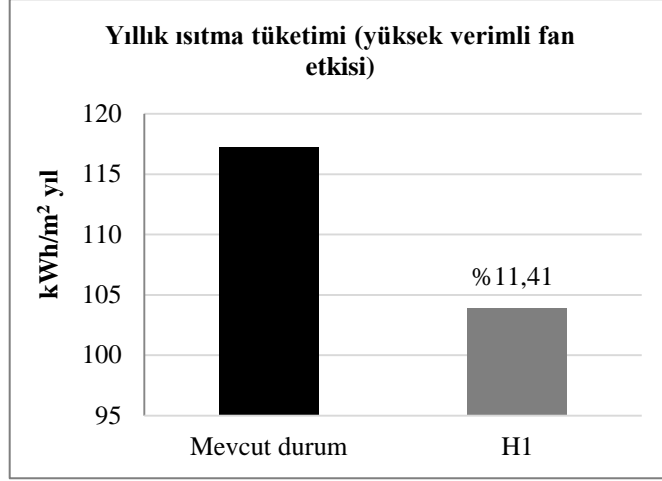


Şekil 4.9: M.M.F binası LED ampul kullanımı önerisi sonucunda aydınlatma enerjisi tasarruf oranı.

Fan İyileştirme Önerisi

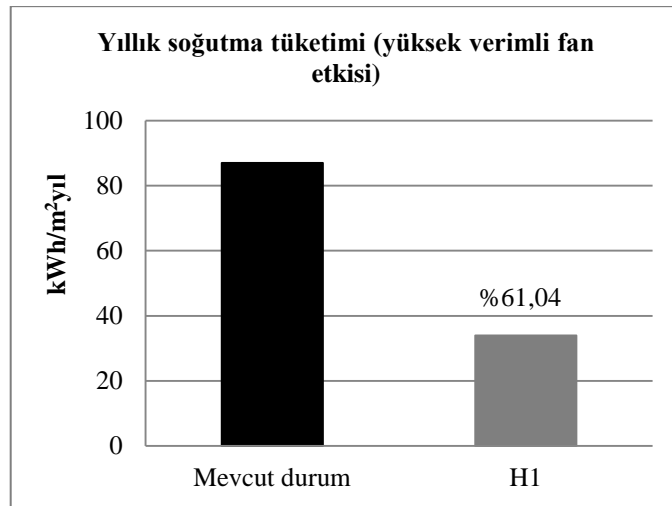
Fan coil kullanılan sistemlerde fanların enerji tüketiminin, binalarda toplam ısıtma ve soğutma tüketimi içerisindeki payının önemli olduğu bilinmektedir. Bu nedenle mevcut fanları, daha verimli fanlarla değiştirmenin enerji tasarrufuna katkı sağlaması beklenmektedir.

Yüksek verimli fan kullanılması olan H1 (%85 fan verimi) önerisinin ısıtma için harcanan enerji tüketimine etkisi Şekil 4.10'da görüldüğü gibidir. H1 önerisinin yıllık ısıtma tüketimine etkisini hesaplamak için, mevcut durumdaki yıllık ısıtma tüketimi ile mevcut ısıtma dönemi fan tüketimleri toplanmıştır ve bu sonuçtan yüksek verimli fan kullanılan durumdaki fan tüketimleri çıkarılmıştır. Sonuç olarak yüksek verimli fan kullanımının ısıtma tüketimine etkisi hesaplanmıştır. Mevcut durumda 117,27 kWh/m² olan yıllık ısıtma tüketimi, 103,89 kWh/m²'ye düşmüştür. Yüksek verimli fan kullanımıyla ısıtma için harcanan enerjiden %11,41 oranında tasarruf sağlanmıştır.



Şekil 4.10: M.M.F binası fan iyileştirme önerisi sonucunda ısıtma için harcanan enerjiden tasarruf oranı.

H1 önerisinin yıllık soğutma tüketimine etkisi de Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Daha verimli fan kullanımının soğutma için harcanan enerjiye olan etkisine bakılmıştır. Mevcut durumda 87,08 kWh/m² olan yıllık soğutma tüketimi, H1 önerisi sonrasında 33,92 kWh/m² değerine düşmüştür. Yüksek verimli fan kullanımıyla soğutma için harcanan enerjiden %61,04 oranında tasarruf sağlanmıştır. Görüldüğü gibi yüksek verimli fanların kullanılması durumunda soğutma için harcanan enerjiden sağlanan tasarruf, ısıtma için harcanan enerjiden sağlanan tasarruftan çok daha fazla olmuştur.

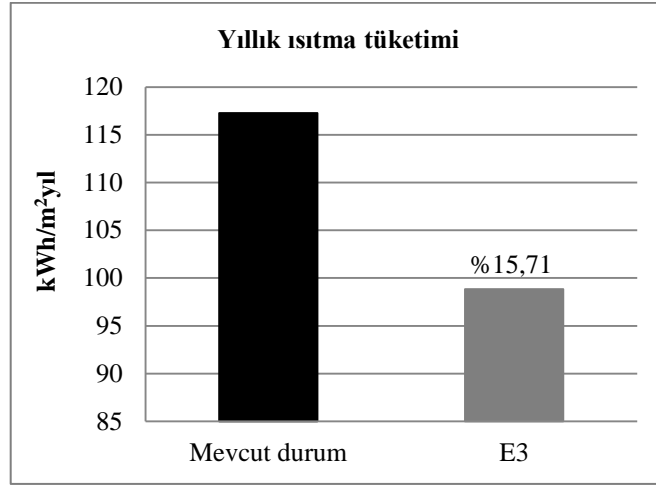


Şekil 4.11: M.M.F binası fan iyileştirme önerisi sonucunda soğutma için harcanan enerjiden tasarruf oranı.

Hava Sızdırmazlık Değerinin İyileştirilmesi

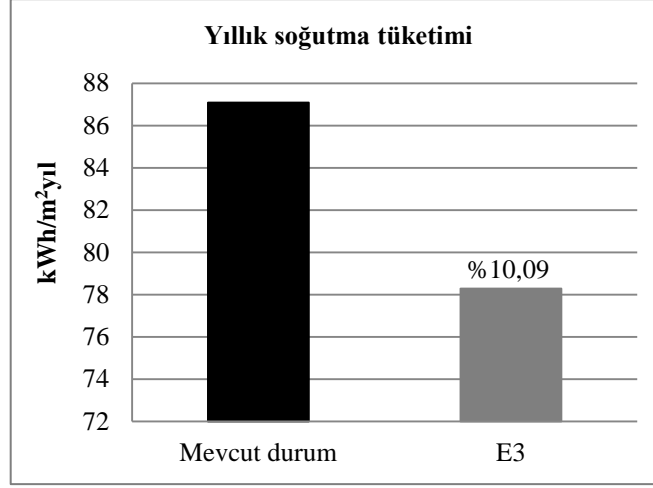
M.M.F binasına uygulanan enerji tasarruf stratejilerinden duvar yalıtımı, çatı yalıtımı ve pencere sistemlerinin değiştirilmesi ile bina hava sızdırmazlığının daha iyi sağlanabileceği kabul edilmiştir. Bina hava sızdırmazlık değerinin düşürülmesinin binanın yıllık ısıtma ve soğutma tüketimine ne kadar etki edeceğine bakılmıştır.

İstenmeyen hava kaçaklarının önlenmesinin yıllık ısıtma tüketimine etkisi Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Buna göre mevcut yıllık ısıtma tüketimi 98,84 kWh/m² değerine düşmüştür. Sonuç olarak istenmeyen hava kaçaklarının önlenmesi ile %15,71 oranında ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanabileceği görülmüştür.



Şekil 4.12: M.M.F binası hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranı.

İstenmeyen hava kaçaklarının önlenmesinin yıllık soğutma tüketimine etkisi Şekil 4.13’de görülmektedir. Buna göre mevcut yıllık soğutma tüketimi 78,29 kWh/m² değerine düşmüştür. Sonuç olarak istenmeyen hava kaçaklarının önlenmesi ile yaklaşık %10 oranında soğutma enerjisi tasarrufu sağlanabileceği görülmüştür.



Şekil 4.13: M.M.F binası hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranı.

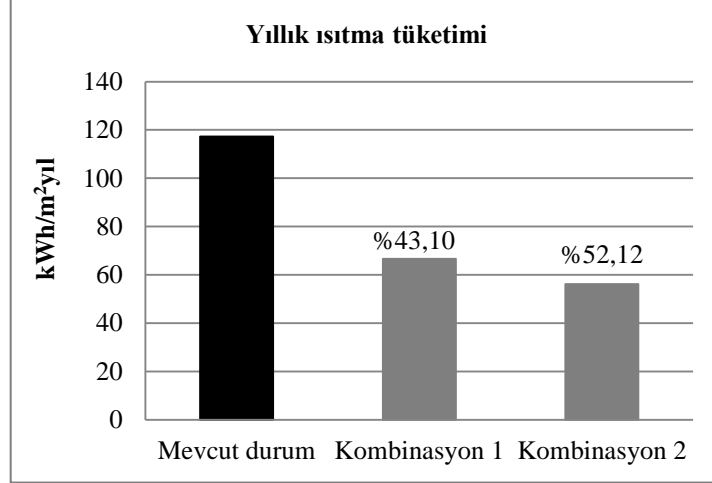
Sonuç olarak Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'ne bireysel uygulanan enerji etkin iyileştirme önerilerine genel olarak bakıldığında, ısıtma enerjisinden en fazla tasarrufa neden olan öneri dış duvarlara ısı yalıtımı uygulaması iken en az tasarrufa gölgelendirme elemanlarının kullanılması neden olmuştur. Soğutma için en yüksek tasarruf potansiyeli gösteren öneri fan coil fanlarının daha verimli fanlarla değiştirilmesidir. En az tasarruf potansiyeline sahip öneri ise gölgelendirme elemanlarının eklenmesidir.

Kombinasyonlar

M.M.F binası yapı elemanlarına uygulanan enerji tasarruf stratejilerinden duvar yalıtımı, çatı yalıtımı ve pencere sistemlerinin değiştirilmesi önerilerinin sonuçları kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. Yapı elemanlarından minimum enerji tasarrufu sağlayan öneriler ve diğer (aydınlatma, fan, gölgelendirme elemanları, sızdırmazlık) önerilerin birlikte uygulandığı kombinasyon 1 olarak belirlenmiş ve enerji tasarrufuna etkilerine bakılmıştır. Kombinasyon 2 ise yapı elemanlarının kendi içerisinde maksimum enerji tasarrufu sağlayan öneriler ile diğer (aydınlatma, fan, gölgelendirme elemanları, sızdırmazlık) önerilerin birleşiminden oluşmaktadır.

Kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanmasının yıllık ısıtma tüketimine etkisi Şekil 4.14'de gösterilmiştir. Kombinasyon 1 (D1+P2+Ç1+A1+H1+E2+E3) önerilerinin birlikte uygulanması sonucunda ısıtma enerjisi tüketimi 66,72 kWh/m² değerine

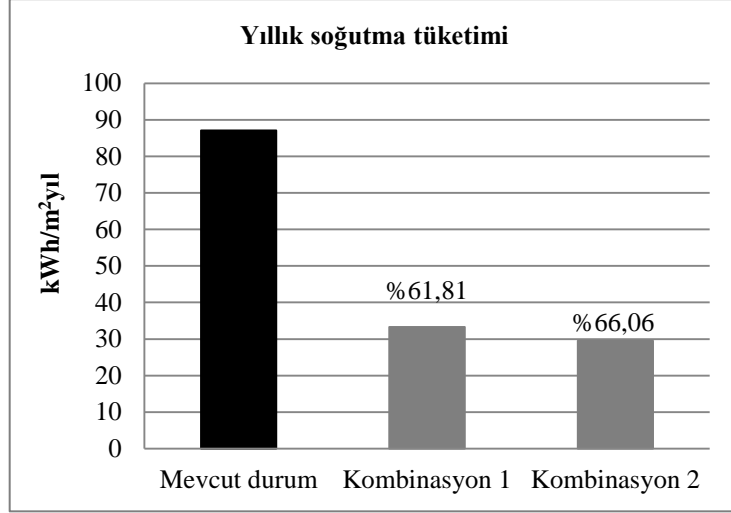
düşmekte, %43,10 değerinde tasarruf sağlanmaktadır. Kombinasyon 2 (D3+P4+Ç3+A1+H1+E2+E3) önerileri ile mevcut tüketim 56,14 kWh/m² değerine düşmektedir ve grafikten de anlaşıldığı üzere ısıtma enerjisinde azalma %52,12'dir. Kombinasyon 2, kombinasyon 1'e göre yaklaşık olarak %9 oranında daha fazla ısıtma enerjisi tasarrufu sağlamıştır.



Şekil 4.14: M.M.F binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranı.

Kombinasyon 1 ve kombinasyon 2'nin uygulanmasının yıllık soğutma tüketimine etkisi Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Kombinasyon 1 (D1+P2+Ç1+A1+H1+E2+E3) önerileri sayesinde soğutma enerjisi 33,25 kWh/m² değerine düşmekte, %61,81 değerinde tasarruf sağlanmaktadır. Kombinasyon 2 (D3+P4+Ç3+A1+H1+E2+E3) önerileri ile mevcut soğutma tüketimi 29,55 kWh/m² değerine düşmektedir ve grafikten de görüldüğü gibi soğutma enerjisindeki azalma %66,06'dır. Kombinasyon 2, kombinasyon 1'e göre yaklaşık olarak %4 oranında daha fazla soğutma enerjisi tasarrufu sağlamaktadır.

Kombinasyon 1 ve kombinasyon 2'nin uygulanması sonuçlarına genel olarak bakıldığında, soğutma enerjisi tasarrufu ısıtma enerjisi tasarrufundan daha fazla olmuştur.



Şekil 4.15: M.M.F binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranı.

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'ne uygulanan kombinasyon 1 ve 2'nin bina toplam enerjisine etkisi ise Tablo 4.6'da gösterilmiştir. Buna göre kombinasyon 1 uygulanması ile mevcut durumdaki toplam 226,17 kWh/m² olan enerji tüketimi 114,72 kWh/m² değerine düşmüştür ve toplam enerji bakımından %49,27'lik bir enerji tasarrufu sağlanmıştır. Kombinasyon 2'nin uygulanmasıyla ise mevcut enerji tüketimi 100,44 kWh/m²'ye düşmüş ve sağlanan enerji tasarrufu %55,59 olmuştur.

Tablo 4.6: Mühendislik Mimarlık Fakültesi toplam enerji tüketimi değişimi (kWh/m²yıl).

	Isıtma	Soğutma	Aydınlatma	Bilgisayar+ekipman	Toplam
Mevcut durum	117,27	87,08	10,57	11,25	226,17
Kombinasyon 1	66,72	33,25	3,50	11,25	114,72
Kombinasyon 2	56,14	29,55	3,50	11,25	100,44

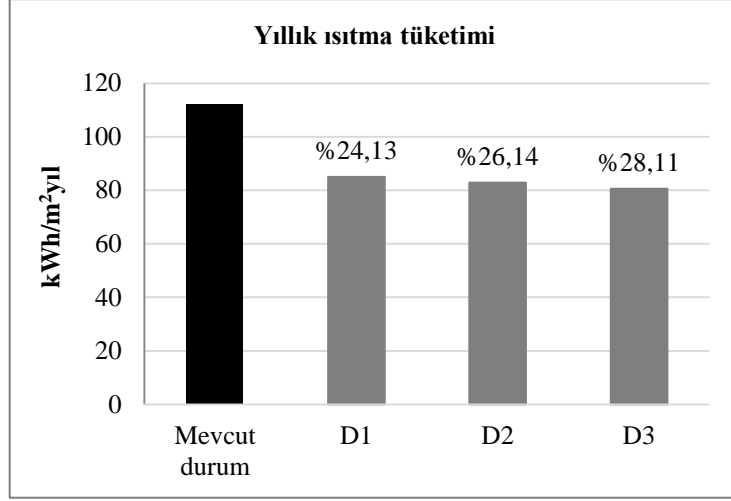
4.1.2 Enerji Tasarruf Potansiyelinin Belirlenmesi: Fen-Edebiyat Fakültesi

Duvar İyileştirme Önerileri

Fen-Edebiyat Fakültesi duvar kuruluşu bakımından Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binasına benzerdir. Bu yüzden F.E.F ve M.M.F binası mevcut durumundaki duvarlar, aynı ısıl iletkenlik değerlerine sahip olmaktadır. F.E.F binası için de mevcut dış duvarlara dıştan uygulanması önerilen 7-10-15 cm'lik taşıyıcı ısı yalıtımları ısıl iletkenlik değerlerini M.M.F binasıyla aynı ölçüde değiştirmiştir. Mevcut durumda 1,287 W/m²K ısıl iletkenlik değerine sahip dış duvar D1 iyileştirmesi sonucunda 0,372 W/m²K değerine düşmüştür. D2 ile bu değer 0,286 W/m²K, D3 sonucunda ise 0,206 W/m²K değerine kadar azalmıştır.

Fen-Edebiyat Fakültesi binası modeli kalibre edildikten sonra gerçekleştirilen 1 yıllık simülasyonu sonucunda ortaya çıkan ısıtma ve fan-coil fanlarının tükettikleri enerji değerleri birlikte değerlendirilip yıllık ısıtma tüketimi bulunmuştur. F.E.F binası mevcut durumdaki dış duvarlara 7-10-15 cm kalınlığında taş yünü ısı yalıtımı uygulanması ile oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları Şekil 4.16'da verilmiştir. Buna göre birim alan başına düşen mevcut yıllık ısıtma tüketimi 112,12 kWh/m² iken, dış duvarlara uygulanan 7 cm ısı yalıtımı sonrasında 85,06 kWh/m² değerine düşmüştür. 10 cm ısı yalıtımı uygulanması ile yıllık ısıtma tüketimi 82,81 kWh/m² ye azalırken, 15 cm ısı yalıtımı ile 80,6 kWh/m² ye kadar azalmıştır. 7, 10 ve 15 cm ısı yalıtımı sonucunda oluşan yaklaşık ısıtma enerjisi tasarruf oranları sırasıyla; %24, %26 ve %28' şeklinde gerçekleşmiştir.

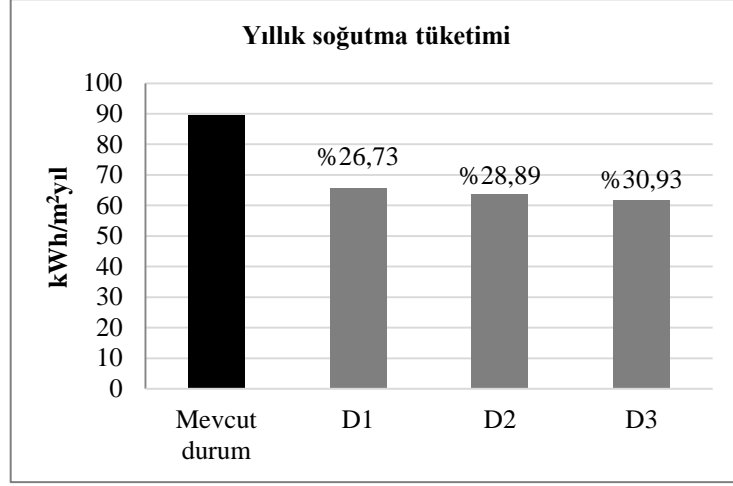
Dış duvarlara dıştan uygulanan ısı yalıtım kalınlığı arttıkça yıllık ısıtma tüketimi değerinin azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca sadece dış duvarlara ısı yalıtımı uygulanmasıyla ortalama %26 oranında ısıtma enerjisinden tasarruf etmek mümkündür.



Şekil 4.16: F.E.F binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

Fen-Edebiyat Fakültesi soğutma tüketimi ve fan coil fanlarının soğutma dönemi içerisindeki enerji tüketimleri birlikte ele alınmış ve yıllık soğutma tüketimi elde edilmiştir. Daha sonra dış duvarlara önerilen 7-10-15 cm taş yünü ısı yalıtımı uygulanması ile yıllık soğutma enerjisi tasarruf potansiyelleri tespit edilmiştir. Şekil 4.17’de, yıllık birim alan başına düşen enerji tüketimleri üzerinden hesaplanan soğutma enerjisi tasarruf oranları görülmektedir. F.E.F binasının birim alana düşen soğutma tüketimi $89,54 \text{ kWh/m}^2$ iken, D1 iyileştirmesi sonrasında $65,6 \text{ kWh/m}^2$ değerine inmiştir. 10 cm ısı yalıtımı (D2) ile $63,67 \text{ kWh/m}^2$, ye, 15 cm ısı yalıtımıyla (D3) ise $61,84 \text{ kWh/m}^2$, ye kadar azalmıştır. 7-10-15 cm ısı yalıtımı uygulanması sonucunda oluşan yıllık soğutma enerjisi tasarruf potansiyelleri sırasıyla yaklaşık %27, %29 ve %31’dir.

Dış duvarlara dıştan ısı yalıtımı uygulamasının sonuçlarına genel olarak bakıldığında, ısı yalıtım kalınlığı arttıkça yıllık soğutma tüketiminin belli bir oranda azaldığı olduğu gözlenmiştir. F.E.F binası ısıtma ve soğutma tüketimi enerji tasarruf potansiyelleri kıyaslandığında, soğutma tüketiminin ısıtma tüketiminden daha fazla enerji tasarruf potansiyeline sahip olduğu görülmüştür.

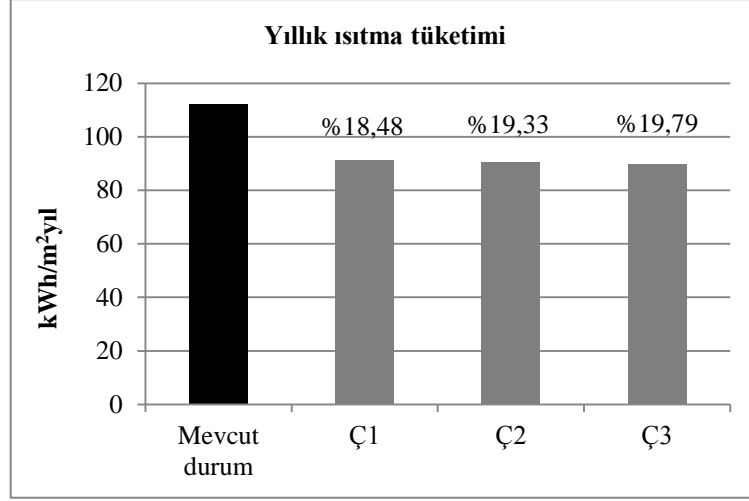


Şekil 4.17: F.E.F binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları.

Çatı İyileştirme Önerileri

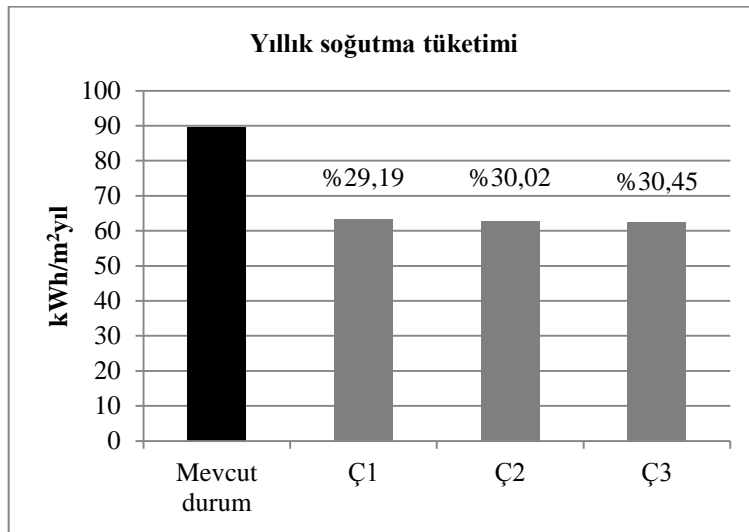
F.E.F binası, üzerinde gezilemeyen teras çatıya sahiptir ve çatı ısı yalıtımı bulunmamaktadır. Binada enerji tasarrufu sağlamak için 10 cm, 15 cm ve 20 cm'lik taşıyıcı ısı yalıtımı uygulanması önerilmiştir. Mevcut çatının toplam ısıl geçirgenlik değeri $3,42 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir. Çatıya 10 cm, 15 cm ve 20 cm'lik taşıyıcı ısı yalıtımı uygulaması önerileri sonucunda toplam ısıl geçirgenlik değerleri sırasıyla; $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$, $0,242 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $0,184 \text{ W/m}^2\text{K}$ olmaktadır.

Şekil 4.18'de, F.E.F binası için önerilen Ç1, Ç2 ve Ç3 uygulamaları ile oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları gösterilmiştir. Buna göre Ç1 (çatıya 10 cm taşıyıcı ısı yalıtımı uygulaması) önerisiyle, mevcutta ısıtılan birim alana düşen yıllık ısıtma tüketimi $112,12 \text{ kWh/m}^2$ değerinden $91,4 \text{ kWh/m}^2$ değerine düşmüş, %18,48 değerinde ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanmıştır. Ç2 (çatıya 15 cm taşıyıcı ısı yalıtımı uygulaması) sonucunda ısıtma enerjisi $90,44 \text{ kWh/m}^2$ değerine düşmüş ve sağlanan ısıtma enerjisi tasarrufu %19,33 olmuştur. Ç3 (çatıya 20 cm taşıyıcı ısı yalıtımı uygulaması) önerisiyle ise mevcut durumdaki ısıtılan birim alana düşen yıllık ısıtma tüketimi $89,93 \text{ kWh/m}^2$ değerini almıştır ve %19,79 oranında ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanmıştır. Çatı için uygulanması önerilen ısı yalıtımlarının kalınlığı arttıkça, ısıtma enerjisi tasarruf potansiyellerinin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.18: F.E.F binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

Şekil 4.19’da ise, F.E.F binasına uygulanması önerilen Ç1, Ç2 ve Ç3 sonucunda meydana gelen soğutma enerjisi tasarruf potansiyelleri gösterilmiştir. Buna göre, Ç1 önerisi ile soğutulan birim alana düşen yıllık soğutma tüketimi 89,54 kWh/m²’den 63,4 kWh/m² değerine düşmüştür ve %29,19 oranında yıllık soğutma enerjisi tasarrufu sağlanmıştır. Ç2 önerisiyle yıllık soğutma tüketimi değerini 62,66 kWh/m²’ye azalırken, Ç3 önerisiyle 62,27 kWh/m²’ye azalmıştır. Ç2 ve Ç3 önerilerinin uygulanması sonucunda meydana gelen soğutma enerjisi tasarruf oranları sırasıyla, %30,02 ve %30,45’dir. Bu önerilerin soğutma tüketimi üzerindeki etkilerine genel olarak bakıldığında, yalıtım kalınlığı artması ile yıllık soğutma tüketiminin azaldığı gözlenmiştir.



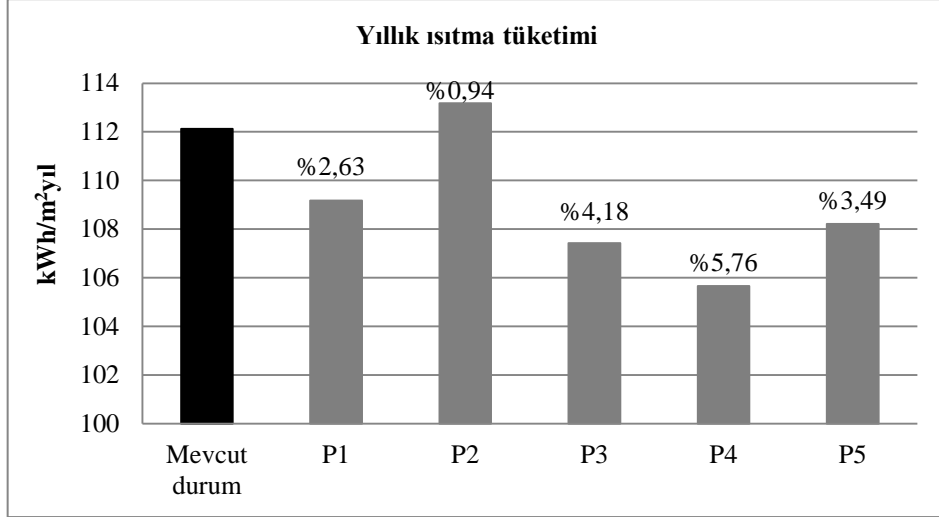
Şekil 4.19: F.E.F binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları.

Pencere İyileştirme Önerileri

Fen-Edebiyat Fakültesi binasında PVC doğramalı çift cam pencereler kullanılmıştır. Mevcut cam sisteminin, güneş enerjisi toplam geçirgenliği %69,7 ve toplam ısı geçirgenlik değeri ise $2,708 \text{ W/m}^2\text{K}$ ' dir. Mevcut cam sistemlerini enerji performansı daha iyi olan sistemlerle değiştirmek için 5 farklı cam sistemi önerilmiştir. Önerilen cam sistemlerinin termofiziksel özellikleri Tablo 4.4'te gösterilmiştir (bkz. Tablo 4.4).

F.E.F binası mevcut yıllık ısıtma tüketimi ve farklı cam sistemlerinin uygulanması durumunda ortaya çıkan yıllık ısıtma tüketim değerleri Şekil 4.20'de gösterilmiştir. P1 önerisi (low-e kaplamalı çift cam önerisi) sonucunda yıllık ısıtma tüketimi $112,12 \text{ kWh/m}^2$ ' den $109,17 \text{ kWh/m}^2$ ' ye azalarak yaklaşık %3'lük ısıtma enerjisinden tasarrufu sağlanmıştır. Fakat P2 önerisi (solar low-e kaplama çift cam önerisi) uygulanması sonucunda yıllık ısıtma tüketiminde yaklaşık %1'lik bir artış görülmüştür. Güneş enerjisi toplam geçirgenliğinin önemli ölçüde azalmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. P3 önerisi (üç katmanlı cam sistemi önerisi) sonucunda birim alana düşen yıllık ısıtma tüketimi $107,43 \text{ kWh/m}^2$ 'ye düşmüş ve yaklaşık %4 oranında tasarruf sağlanmıştır. P4 önerisi (low-e kaplamalı dış ve iç camın olduğu 3 katmanlı cam sistemi önerisi) sonucunda birim alana düşen yıllık ısıtma tüketimi yaklaşık %6 oranında azalmış ve $105,66 \text{ kWh/m}^2$ değerine düşmüştür. P5 önerisi (solar low-e kaplamalı dış cam ve low-e kaplamalı iç camın olduğu üç katmanlı cam sistemi önerisi) sonucunda ise birim alana düşen yıllık ısıtma tüketimi $108,21 \text{ kWh/m}^2$ ' ye gerilemiş ve yaklaşık %3,5 oranında ısıtma enerjisinden tasarruf sağlanmıştır.

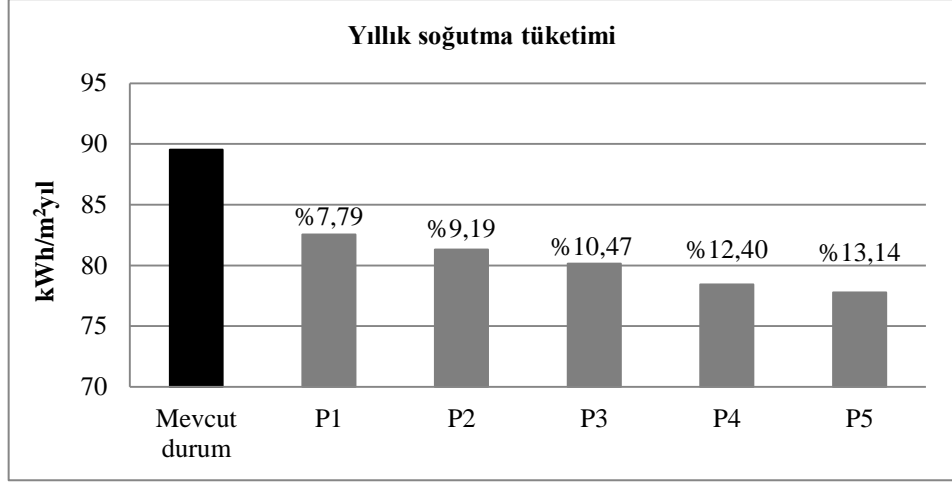
Bu önerilere göre ısıtma enerjisinden maksimum tasarruf sağlayan öneri P4 olmuştur. Yıllık ısıtma tüketimini artıran, olumsuz yönde etkileyen öneri ise P2'dir.



Şekil 4.20: F.E.F binası pencere iyileştirme önerileri sonucunda yıllık ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

F.E.F binası birim alana düşen mevcut yıllık soğutma tüketimi ve çeşitli cam sistemlerinin uygulanması sonucunda ortaya çıkan yıllık soğutma tüketim değerleri Şekil 4.21’de gösterilmiştir. P1 önerisi sonucunda, yıllık soğutma tüketiminde yaklaşık %8 azalma (82,56 kWh/m²) meydana gelmiştir. P2 önerisi sonucunda ise yıllık soğutma tüketimi 81,31 kWh/m² değerine düşmüş ve yaklaşık %9’luk bir tasarruf sağlanmıştır. P3 önerisi ile yıllık soğutma tüketimi yaklaşık %10,50 azalarak 80,16 kWh/m² değerine düşmüştür. P4 önerisi sonucunda, birim alana düşen yıllık soğutma tüketimi 78,43 kWh/m² olmuş ve yaklaşık %12,5 oranında tasarruf sağlanmıştır. P5 önerisi ile yıllık soğutma tüketimi mevcut duruma göre yaklaşık %13 azalarak 77,77 kWh/m² değerini almıştır. F.E.F binası pencere önerilerine göre maksimum soğutma enerjisi tasarrufu sağlayan öneri P5 olurken, minimum soğutma enerjisi tasarrufu sağlayan öneri P1 olmuştur. P1 önerisinden P5 önerisine doğru, güneş enerjisi toplam geçirgenliği ve U değeri azalmaktadır.

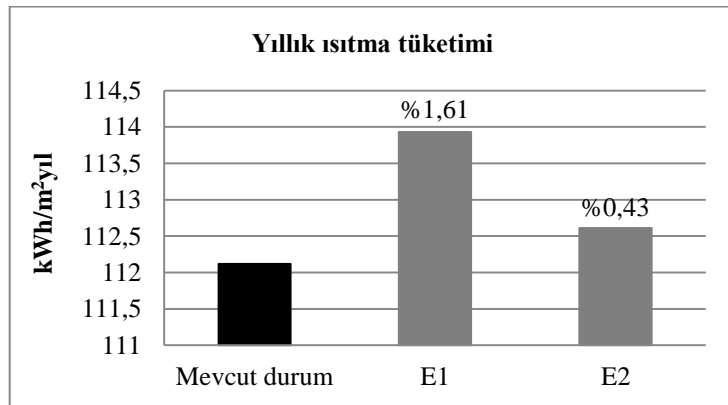
Fen-Edebiyat Fakültesi binası pencere sistemlerinin değiştirilmesine yönelik önerilerin yıllık ısıtma ve soğutma tüketimi üzerindeki enerji tasarruf potansiyellerine bakıldığında, soğutma enerjisi tasarruf oranları, ısıtma enerjisi tasarruf oranlarına göre çok daha fazladır.



Şekil 4.21: F.E.F binası pencere iyileştirme önerileri sonucunda yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları.

Gölgelendirme Elemanı Önerileri

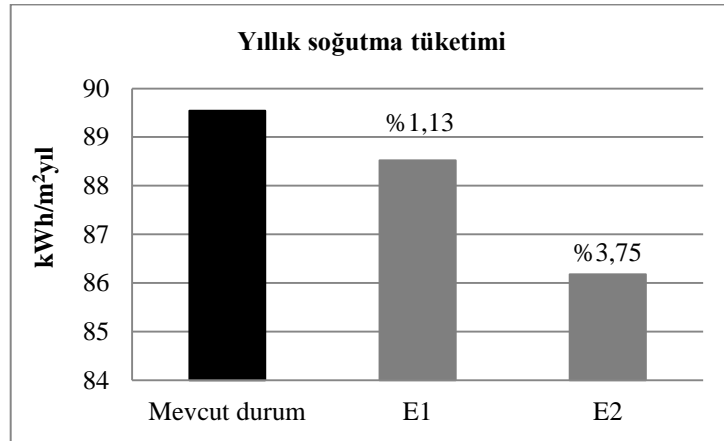
Fen-Edebiyat Fakültesi binasında pencerelere gölgelendirme elemanı eklenmesi önerileri sonucunda, ısıtma tüketiminde olumlu yönde bir değişim gözlenmemiştir. Şekil 4.22’de belirtildiği üzere, güneğe 50 cm güneş kırıcı, doğu ve batıya dıştan jaluzi eklenmesi önerisi (E1) ve tüm cephelere dıştan jaluzi eklenmesi önerisi (E2) yıllık ısıtma tüketimlerini sırasıyla %1,61 ve %0,43 oranında artırmıştır. F.E.F binası mevcut durumdaki ısıtma enerjisi tüketim değeri 112,12 kWh/m² iken E1 önerisi ile bu değer 113,93 kWh/m² değerine çıkmıştır. E2 önerisiyle ise ısıtma enerjisi 112,61 kWh/m² değerine yükselmiştir. Grafikten de anlaşıldığı üzere F.E.F binasına gölgelendirme elemanları eklenmesinin ısıtma enerjisi üzerinde çok fazla etkisi olduğu söylenemez.



Şekil 4.22: F.E.F binası gölgelendirme elemanı önerileri sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

F.E.F binasına hiçbir iyileştirme önerisi uygulanmadığı mevcut durum için gölgelendirme elemanları eklenmesi önerilerinin sonuçları Şekil 4.23’de verilmiştir. Soğutma için harcanan enerji miktarı, güneşe 50 cm güneş kırıcı, doğu ve batıya dıştan jaluzi eklenmesi durumunda (E1), mevcut 89,54 kWh/m² soğutma değerinden 88,52 kWh/m² değerine düşmüştür. E1 önerisi ile %1,13 daha az soğutma enerjisi harcanmıştır. Tüm cephelere dıştan jaluzi uygulanması önerisi olan E2 durumunda ise soğutma enerjisi 86,18 kWh/m² değerine düşmüş ve %3,75 oranında soğutma enerjisinden tasarruf sağlanmıştır.

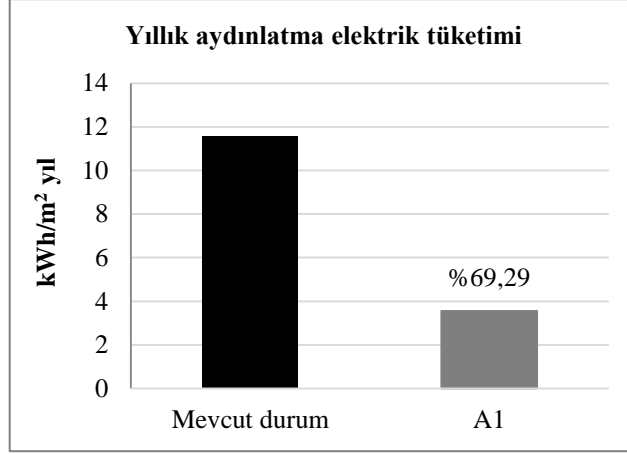
Şekil 4.23’den de anlaşıldığı üzere, E2 önerisi E1 önerisine kıyasla daha fazla soğutma tüketimini azaltmıştır. Genel olarak E1 ve E2 önerilerinin ısıtma ve soğutma tüketimi üzerindeki etkilerine bakıldığında ise, soğutma tüketimini ısıtma tüketiminden daha fazla etkilediği gözlenmiştir.



Şekil 4.23: F.E.F binası gölgelendirme elemanı önerileri sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranları.

Aydınlatma Elemanları İyileştirme Önerisi

Mevcut aydınlatma armatürlerini LED ampullerle değiştirmek üzerine olan A1 önerisinin yıllık aydınlatma tüketimine etkisi Şekil 4.24’de gösterilmiştir. Buna göre A1 önerisi, aydınlatma enerjisinde yaklaşık %69,29 değerinde tasarruf sağlamıştır. Mevcut durumdaki birim alana düşen aydınlatma elektrik tüketimi 11,52 kWh/m² iken A1 önerisi sonucunda 3,55 kWh/m² değerine düşmüştür. Bunun olası sebebi, LED ampullerin F.E.F binasında mevcutta kullanılan floresan ampullere kıyasla çok daha düşük enerji tüketmeleridir.



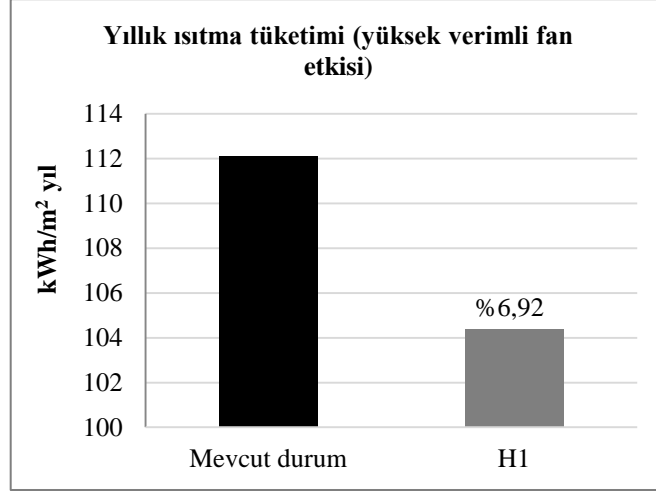
Şekil 4.24: F.E.F binası LED ampul kullanımı önerisi sonucunda aydınlatma enerjisi tasarruf oranı.

Fan İyileştirme Önerisi

Fan coil kullanılan sistemlerde fanların enerji tüketiminin, binalarda toplam ısıtma ve soğutma tüketimi içerisindeki payının önemli olduğu bilinmektedir. Bu nedenle mevcut fanları, daha verimli fanlarla değiştirmenin enerji tasarrufuna katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

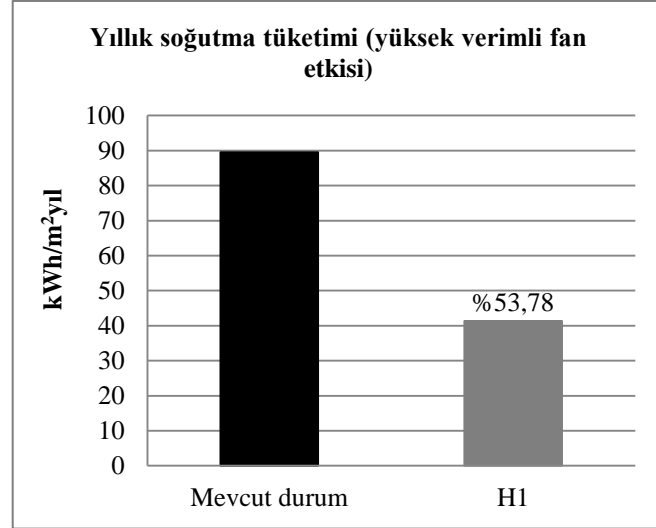
Mevcut fan (%65 fan verimi) yerine yüksek verimli fan kullanılması H1 (%85 fan verimi) önerisinin ısıtma amaçlı enerji tüketimine etkisi Şekil 4.25’de görülmektedir. H1 önerisinin ısıtma tüketimine etkisi:

(Mevcut durumdaki yıllık ısıtma tüketimi + mevcut ısıtma dönemi fan enerji tüketimleri) - yüksek verimli fan kullanılan durumdaki fan enerji tüketimleri şeklinde hesaplanmıştır. Mevcut durumda 112,12 kWh/m² olan yıllık ısıtma tüketimi, 104,36 kWh/m²’ye düşmüştür. Yüksek verimli fan kullanımıyla ısıtma için harcanan enerjiden %6,92 oranında tasarruf sağlanmıştır.



Şekil 4.25: F.E.F binası fan iyileştirme önerisi sonucunda ısıtma için harcanan enerjiden tasarruf oranı.

H1 önerisinin soğutma tüketimine etkisi Şekil 4.26’da gösterilmiştir. Mevcut durumda 89,54 kWh/m² olan yıllık soğutma tüketimi, H1 önerisi sonrasında 41,38 kWh/m² değerine gerilemiştir. Görüldüğü gibi F.E.F binasında fan-coillerde sadece yüksek verimli fan kullanılması durumunda bile yaklaşık %54 oranında daha az soğutma için enerji harcanmaktadır. Ayrıca F.E.F binası H1 önerisi sonucunda soğutma enerjisi tasarrufu, ısıtma enerjisi tasarrufundan yaklaşık %47 oranında daha fazla olmuştur.

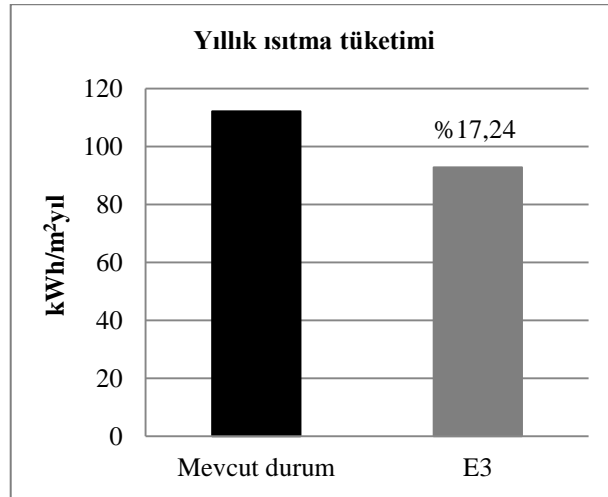


Şekil 4.26: F.E.F binası fan iyileştirme önerisi sonucunda soğutma için harcanan enerjiden tasarruf oranı.

Hava Sızdırmazlık Değerinin İyileştirilmesi

F.E.F binasına uygulanan enerji tasarruf stratejilerinden çatı yalıtımı, duvar yalıtımı ve pencere sistemlerinin değiştirilmesi ile bina hava sızdırmazlığının artacağı kabul edilmiştir. Sadece bina hava sızdırmazlık değerinin düşürülmesinin F.E.F binasının yıllık ısıtma ve soğutma tüketimine ne kadar etki edeceği araştırılmıştır.

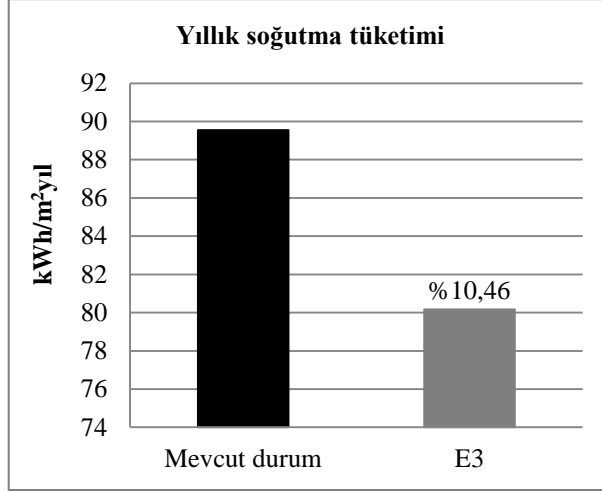
Hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesinin yıllık ısıtma tüketimine etkisi Şekil 4.27’de gösterilmiştir. Buna göre mevcut yıllık ısıtma tüketimi 112,12 kWh/m² değerinden 92,78 kWh/m² değerine düşmüştür. Sonuç olarak sadece hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi ile %17,24 oranında ısıtma enerjisinden tasarruf sağlanabileceği görülmüştür.



Şekil 4.27: F.E.F binası hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranı.

Hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi olan E4’ün yıllık soğutma tüketimine etkisi Şekil 4.28’de verilmiştir. Buna göre yıllık soğutma tüketimi 80,17 kWh/m² değerine gerilemiştir. E4 önerisi ile yaklaşık %10 oranında tasarruf sağlanabileceği görülmüştür.

F.E.F binası hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisinin yıllık ısıtma ve soğutma tüketimine olan etkisine bakıldığında, ısıtma enerjisi tasarruf oranının soğutma enerjisi tasarruf oranından daha yüksek olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.28: F.E.F binası hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranı.

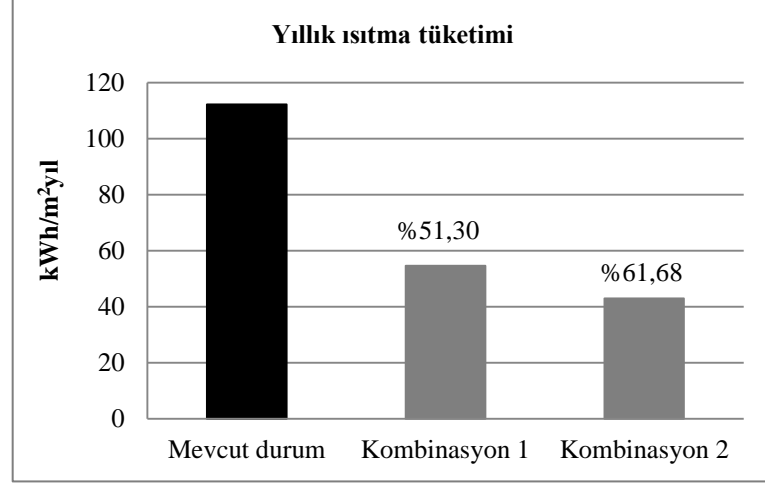
Sonuç olarak Fen-Edebiyat Fakültesi'ne bireysel uygulanan enerji etkin iyileştirme önerilerine genel olarak bakıldığında, ısıtma enerjisinden en fazla tasarrufa neden olan öneri dış duvarlara ısı yalıtımı uygulaması iken en az tasarrufa gölgelendirme elemanlarının kullanılması neden olmuştur. Soğutma için en yüksek tasarruf potansiyeli gösteren öneri fancoil fanlarının daha verimli fanlarla değiştirilmesidir. En az tasarruf potansiyeline sahip öneri ise gölgelendirme elemanlarının eklenmesidir.

Kombinasyonlar

F.E.F binası yapı elemanlarına uygulanan enerji tasarruf stratejilerinden Ç1-Ç2-Ç3 (çatı yalıtımı), D1-D2-D3 (duvar yalıtımı) ve P1-P2-P3-P4-P5 (pencere sistemlerinin değiştirilmesi) önerilerinin sonuçları kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. Minimum enerji tasarrufu sağlayan öneriler (Ç1-D1-P2) ve diğer (aydınlatma, fan, gölgelendirme elemanları, sızdırmazlık) önerilerin birlikte uygulandığı birleşim, kombinasyon 1 olarak belirlenmiştir. Kombinasyon 2 ise kendi içerisinde maksimum enerji tasarrufu sağlayan öneriler (Ç3-D3-P4) ile diğer (aydınlatma, fan, gölgelendirme elemanları, sızdırmazlık) önerilerin birleşiminden oluşmaktadır.

F.E.F binasına kombinasyon 1 ve kombinasyon 2'nin uygulanmasının yıllık ısıtma tüketimine etkisi Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Kombinasyon 1'in (D1+P2+Ç1+A1+H1+E2+E3) uygulanması sonucunda yıllık ısıtma tüketimi 112,12

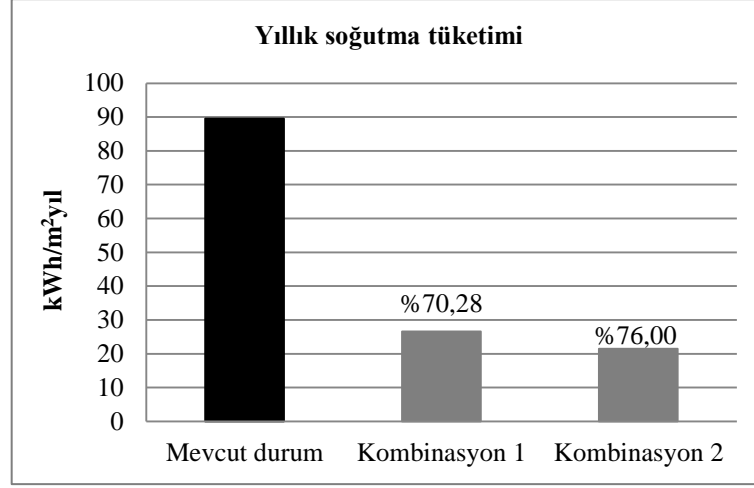
kWh/m² değerinden 54,6 kWh/m² değerine düşmüştür ve %51,30 oranında tasarruf sağlanmıştır. Kombinasyon 2 (D3+P4+Ç3+A1+H1+E2+E3) ile mevcut tüketim 42,96 kWh/m² değerine düşmüştür ve anlaşıldığı üzere ısıtma enerjisinde azalma %61,68'dir. Kombinasyon 2, kombinasyon 1'e göre yaklaşık olarak %10 oranında daha fazla ısıtma enerjisinden tasarruf sağlamıştır.



Şekil 4.29: F.E.F binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranı.

F.E.F binasına kombinasyon 1 ve kombinasyon 2'nin uygulanmasının yıllık soğutma tüketimine etkisi Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Kombinasyon 1 (D1+P2+Ç1+A1+H1+E2+E3) sayesinde soğutma enerjisi 26,61 kWh/m² olurken, %70,28 mertebesinde soğutma enerjisinden tasarruf sağlanmıştır. Kombinasyon 2 (D3+P4+Ç3+A1+H1+E2+E3) ile mevcut soğutma tüketimi 21,48 kWh/m² değerine düşmüştür ve grafikten de görüldüğü gibi soğutma enerjisindeki azalma %76,00'dır. Kombinasyon 2, kombinasyon 1'e göre yaklaşık olarak %6 oranında daha fazla soğutma enerjisi tasarrufu sağlamıştır.

F.E.F binasına kombinasyon 1 ve kombinasyon 2'nin uygulanmasının ısıtma ve soğutma tüketimine etkisine genel olarak bakıldığında, soğutma enerjisi tasarrufu ısıtma enerjisi tasarrufundan daha fazla olmuştur.



Şekil 4.30: F.E.F binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranı.

Fen-Edebiyat Fakültesi'ne uygulanan kombinasyon 1 ve 2'nin bina toplam enerjisi tüketimine etkisi ise Tablo 4.7'de gösterilmiştir. Buna göre kombinasyon 1'in uygulanması ile mevcut durumdaki toplam 225,75 kWh/m² olan toplam enerji tüketimi 97,29 kWh/m² değerine düşmüştür ve toplam enerji bakımından %56,90'lık bir enerji tasarrufu sağlanmıştır. Kombinasyon 2'nin uygulanmasıyla ise mevcut enerji tüketimi 80,52 kWh/m²'ye düşmüş ve sağlanan enerji tasarrufu %64,33 olmuştur.

Tablo 4.7: Fen-Edebiyat Fakültesi toplam enerji tüketimi değişimi (kWh/m²yıl).

	Isıtma	Soğutma	Aydınlatma	Bilgisayar+ekipman	Toplam
Mevcut durum	112,12	89,54	11,56	12,53	225,75
Kombinasyon 1	54,6	26,61	3,55	12,53	97,29
Kombinasyon 2	42,96	21,48	3,55	12,53	80,52

4.1.3 Enerji Tasarruf Potansiyelinin Belirlenmesi: Rektörlük

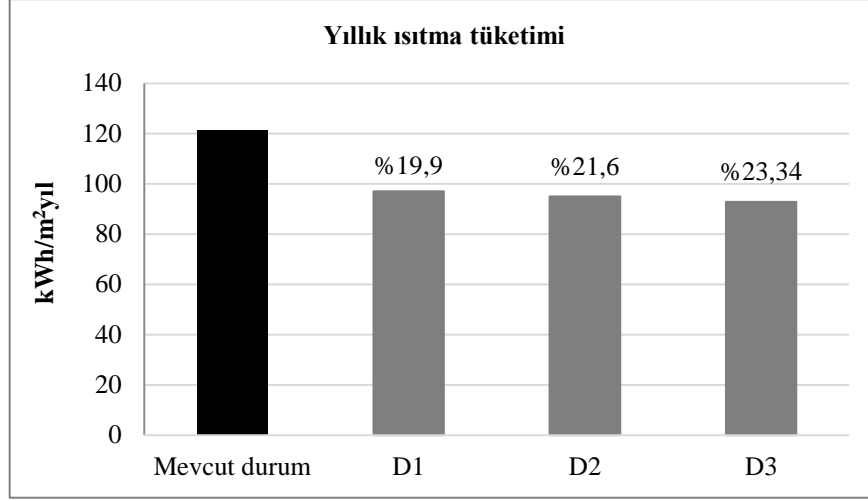
Duvar İyileştirme Önerileri

Rektörlük binası dış duvarlarında mevcutta olan kompozit dış cephe kaplamasının alt katmanına uygulanması önerilen 7 cm'lik taşıyıcı ısı yalıtımı (D1)

önerisi sonucunda duvarın ısı geçirgenlik değeri 1,249 W/m²K değerinden 0,371 W/m²K değerine düşmüştür. 10 cm ısı yalıtımı uygulanması (D2) durumunda bu değer 0,285 W/m²K'ye, 15 cm ısı yalıtımı uygulanması (D3) durumunda 0,206 W/m²K değerine kadar azalmıştır. Toplam ısı geçirgenlik değerinin azalmasının, enerji tüketim miktarında da azalmaya sebep olması beklenmektedir.

Dış duvarlarda yapılan ısı yalıtımı uygulamalarının ısıtma ve soğutma tüketimi üzerinde etkisi olduğu için öncelikle Rektörlük binasının kalibre edilmiş durumundaki mevcut yıllık ısıtma ve soğutma tüketimi ile duvar iyileştirme önerileri sonrasındaki yıllık ısıtma ve soğutma kaynaklı enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Yıllık ısıtma ve soğutma tüketimi hesapları şu şekilde yapılmıştır: Simülasyonlar sonucunda ortaya çıkan ısıtma tüketimi ve fan coil fanlarının ısıtma dönemi içerisinde tükettikleri enerji değerleri toplanıp yıllık ısıtma tüketimi, soğutma tüketimi ve fan coil fanlarının soğutma dönemi içerisinde tükettikleri enerji toplanıp yıllık soğutma tüketimi elde edilmiştir.

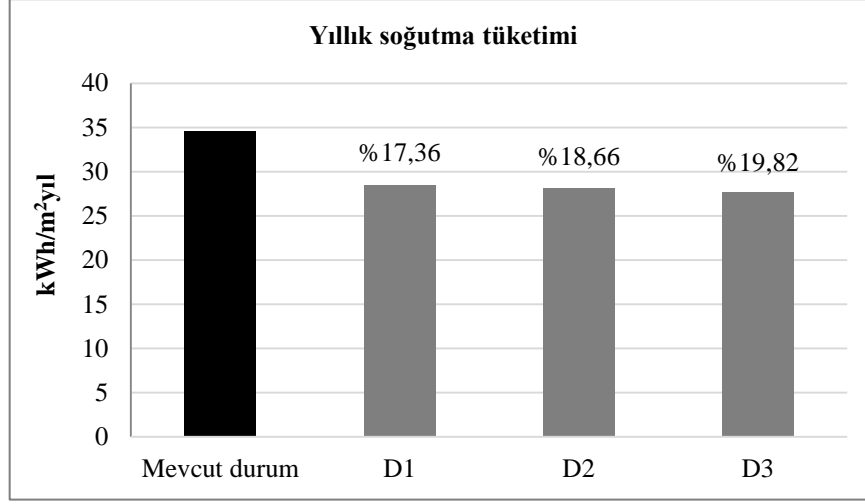
Rektörlük binası dış duvarlarına 7-10-15 cm kalınlığında taşıyıcı ısı yalıtımı uygulanması ile oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları Şekil 4.31'de gösterilmiştir. Buna göre birim alan başına düşen mevcut ısıtma tüketimi (yıllık ısıtma tüketimi/ bina ısıtılan toplam alanı) 121,12 kWh/m² iken dış duvarlara uygulanan 7 cm ısı yalıtımı (D1) sonrasında 97,02 kWh/m² değerine düşmüştür ve %19,9 oranında tasarruf sağlanmıştır. 10 cm ısı yalıtımı (D2) ile, yıllık ısıtma tüketim değeri 94,95 kWh/m² ye düşerken, 15 cm ısı yalıtımı (D3) ile yıllık ısıtma tüketimi 92,85 kWh/m² değerine azalmıştır. D2 ve D3 önerileri sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf miktarları sırasıyla, %21,6 ve %23,34' dür. Grafikten de anlaşıldığı üzere ısı yalıtım kalınlığı arttıkça ısıtma enerjisinden tasarruf oranları da artmıştır.



Şekil 4.31: Rektörlük binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

Rektörlük binası dış duvarlara önerilen 7-10-15 cm taşıyıcı ısı yalıtımı uygulanması ile yıllık soğutma tüketiminde meydana gelen enerji tasarruf potansiyelleri Şekil 4.32’de gösterilmiştir. Buna göre mevcut binanın soğutulan birim alana düşen soğutma tüketimi 34,51 kWh/m² iken dış duvarlara dıştan uygulanan 7 cm ısı yalıtımı (D1) sonrasında 28,52 kWh/m² değerine düştüğü görülmüştür. 10 cm ısı yalıtımı (D2), yıllık soğutma tüketimi değerini 28,07 kWh/m²’ye, 15 cm ısı yalıtımı (D3) ise 27,67 kWh/m²’ye azaltmıştır. Sonuç olarak ısı yalıtım kalınlığının artması ile yıllık soğutma tüketimi değerinin azaldığı gözlenmiştir. 7-10-15 cm ısı yalıtımı uygulanması sonucunda oluşan yıllık soğutma tüketimindeki enerji tasarruf potansiyelleri sırasıyla; %17,36, %18,66 ve %19,82 olarak hesaplanmıştır.

Rektörlük binasının ısıtma ve soğutma tüketimi enerji tasarruf potansiyelleri kıyaslandığında ısıtma tüketiminin soğutma tüketiminden daha fazla enerji tasarruf potansiyeline sahip olduğu görülmüştür.

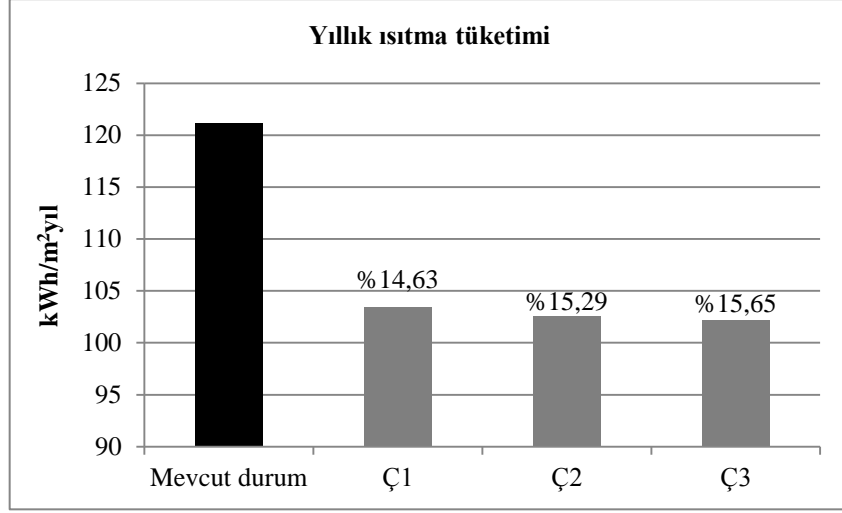


Şekil 4.32: Rektörlük binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranları.

Çatı İyileştirme Önerileri

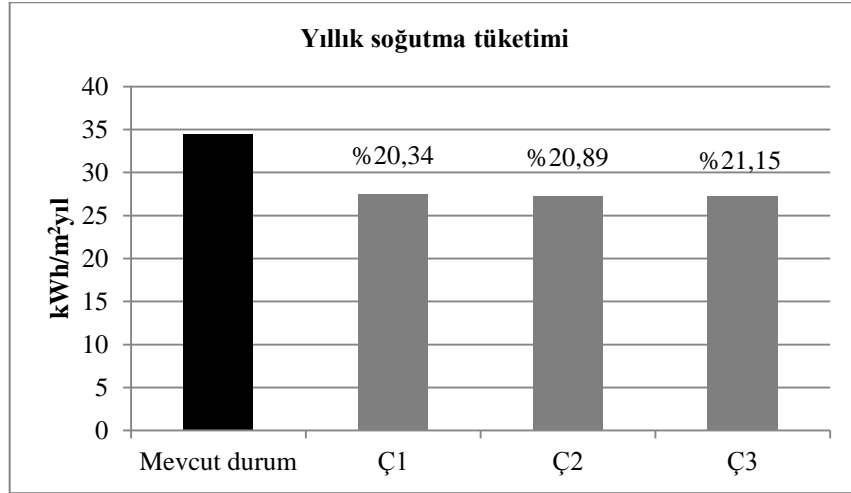
Rektörlük binasının mevcut durumdaki çatısı, üzerinde gezilemeyen teras çatı olup, ısı yalıtımı bulunmamaktadır. Binanın mevcut enerji tüketimini azaltmak adına, bina çatısına 10 cm, 15 cm ve 20 cm'lik taşıyıcı ısı yalıtımı uygulanması önerilmiştir. Farklı kalınlıklarda önerilen ısı yalıtımları, toplam ısıl geçirgenlik değerini düşürmüştür. Çatıya 10 cm taşıyıcı ısı yalıtımı uygulanması önerisi (Ç1) sonucunda çatının ısıl geçirgenlik değeri 3,42 W/m²K değerinden 0,35 W/m²K değerine düşmüştür. Çatıya 15 cm taşıyıcı ısı yalıtımı uygulanması (Ç2) ile bu değer 0,242 W/m²K'ye, 20 cm taşıyıcı ısı yalıtımı uygulanmasıyla (Ç3) ise 0,184 W/m²K değerine kadar azalmıştır.

Rektörlük binası için önerilen Ç1, Ç2 ve Ç3 ile meydana gelen ısıtma enerjisi tasarruf oranları Şekil 4.33'de gösterilmiştir. Buna göre Ç1 önerisi sonucunda, mevcutta ısıtılan birim alana düşen yıllık ısıtma tüketimi 121,12 kWh/m² değerinden 103,39 kWh/m² değerine düşerken, %14,63 oranında ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanmıştır. Ç2 önerisi ile 102,59 kWh/m² değerine düşmüş, Ç3 önerisiyle ise mevcut durumdaki ısıtılan birim alana düşen yıllık ısıtma tüketimi 102,16 kWh/m² değerini almıştır. Ç3 önerisi sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranı %15,65' dir. Sonuç olarak, Rektörlük binasında sadece çatıya yalıtım uygulanması durumunda, yaklaşık %15 oranında ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanabilecektir.



Şekil 4.33: Rektörlük binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

Rektörlük binasına uygulanması önerilen Ç1, Ç2 ve Ç3 önerileri sonucunda meydana gelen soğutma enerjisi tasarruf oranları Şekil 4.34’de gösterilmiştir. Buna göre, Ç1 önerisi ile soğutulan birim alana düşen yıllık soğutma tüketimi 34,51 kWh/m²’den 27,49 kWh/m² değerine Ç2 önerisi ile soğutulan birim alana düşen yıllık soğutma tüketimi değeri 27,3 kWh/m²’ye azalırken, Ç3 önerisiyle 27,21 kWh/m²’ye kadar azalmıştır. Ç1, Ç2 ve Ç3 önerilerinin uygulanması sonucunda oluşan soğutma enerjisi tasarruf oranları sırasıyla; %20,34, %20,89 ve %21,15’dir.

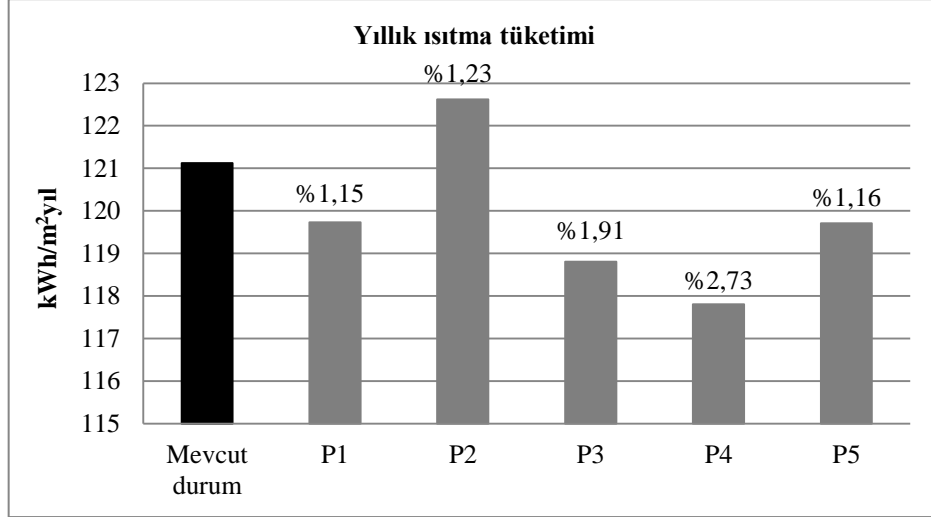


Şekil 4.34: Rektörlük binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranları.

Pencere İyileştirme Önerileri

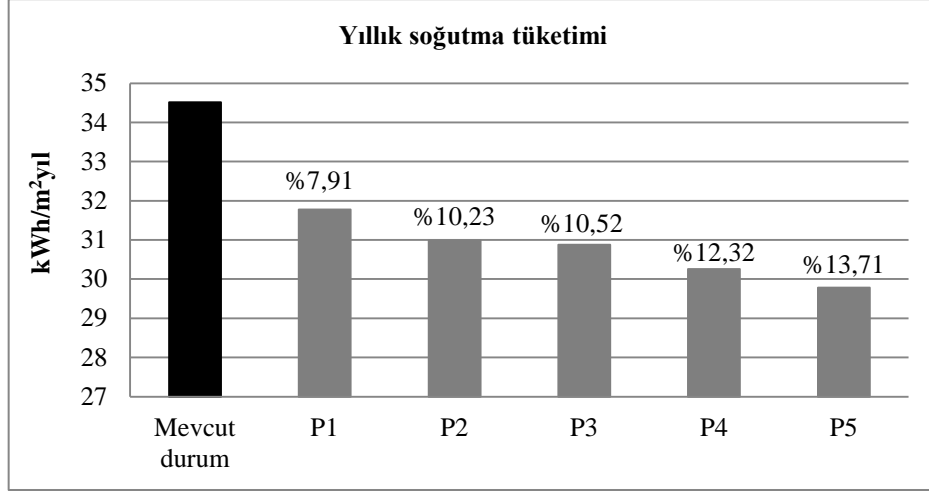
Rektörlük binasında alüminyum doğramalı çift cam pencere kullanılmaktadır. Kullanılan cam sisteminin güneş enerjisi toplam geçirgenlik değeri (shgc) %69,7 ve toplam ısı geçirgenlik değeri (U) $2,708 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir. Mevcut cam sisteminin enerji performansını geliştirmek için farklı termofiziksel özelliklere sahip 5 cam sistemi önerilmiştir (bkz. Tablo 4.4). Pencere cam sistemlerinde yapılacak değişiklikler binanın ısıtma ve soğutma enerji tüketimini etkilemektedir. Bu yüzden P1-P2-P3-P4 ve P5 önerilerinin yıllık ısıtma ve soğutma tüketimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Rektörlük binası mevcut yıllık ısıtma tüketimi ve farklı cam sistemlerinin uygulanması durumunda ortaya çıkan yıllık ısıtma tüketim değerleri Şekil 4.35'de gösterilmiştir. Pencere önerilerinden low-e kaplamalı hava boşluklu çift cam kullanılan P1 önerisi için ısıtma enerjisi tüketim değeri $119,73 \text{ kWh/m}^2$ 'ye düşerken, solar low-e kaplamalı hava boşluklu çift cam kullanılan P2 önerisi ile $122,62 \text{ kWh/m}^2$ değerine arttırmıştır. Bu durumda P1 önerisi, ısıtma enerjisi tüketiminde %1,15'lik enerji tasarrufu sağlarken P2 önerisi yıllık ısıtma tüketiminde %1,23'lük bir artışa sebep olmaktadır. Bu durumun camın SHGC değerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. P3 önerisi ile $118,81 \text{ kWh/m}^2$ yıllık ısıtma tüketimi elde edilirken, P4 önerisinde $117,81 \text{ kWh/m}^2$ ısıtma tüketimi bulunmuştur. Bu durumda P3 önerisi ile ısıtma enerjisinde %1,91 tasarruf sağlanırken, P4 önerisi ile %2,73 tasarruf sağlanmıştır. Solar low-e kaplamalı dış cam ve low-e kaplamalı iç camın olduğu üç katmanlı cam sistemine sahip P5 önerisi de birim alana düşen yıllık ısıtma tüketimini %1,16 azaltarak $119,71 \text{ kWh/m}^2$ değeri elde edilmiştir. Bu pencere önerilerine göre ısıtma enerjisi tasarruf potansiyeli en yüksek olan, low-e kaplamalı dış ve iç camın olduğu 3 katmanlı cam sistemine sahip P4 önerisidir. P2 önerisi ise ısıtma tüketimi üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir.



Şekil 4.35: Rektörlük binası pencere iyileştirme önerileri sonucunda yıllık ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

Rektörlük binası birim alana düşen mevcut yıllık soğutma tüketimi ve çeşitli cam sistemlerinin uygulanması sonucunda ortaya çıkan soğutma enerjisi tasarruf oranları Şekil 4.36’da gösterilmiştir. P1 önerisi sonucunda yıllık soğutma tüketiminde %7,91 azalma görülmüş ve 31,78 kWh/m² yıllık soğutma tüketimi elde edilmiştir. Solar low-e kaplamalı hava boşluklu çift cam kullanılan P2 önerisi, yıllık soğutma tüketimini 30,98 kWh/m² değerine düşürmüş ve soğutma enerjisinde %10,23’lük bir tasarrufa sebep olmuştur. P3 önerisi sonucunda yıllık soğutma tüketimi, P2 önerisiyle yaklaşık aynı düzeyde (%10,52) soğutma enerjisi tasarrufu sağlayarak 30,88 kWh/m² değerine düşmüştür. Low-e kaplamalı dış ve iç camın olduğu 3 katmanlı cam sistemine sahip P4 önerisi sonucunda yıllık soğutma tüketimi 30,26 kWh/m² değerine azalırken soğutma enerjisinde %12,32’lik tasarruf sağlanmıştır. Solar low-e kaplamalı dış cam ve low-e kaplamalı iç camın olduğu üç katmanlı cam sistemine sahip P5 önerisi sonucunda da yıllık soğutma tüketimi mevcut soğutma tüketimine göre %13,71 azalarak 29,78 kWh/m² değerini almıştır. Pencere önerilerine göre soğutma enerjisi tasarruf potansiyeli en fazla olan öneri P5 olurken, soğutma enerjisi tasarruf potansiyeli en az olan öneri P1 olmuştur.

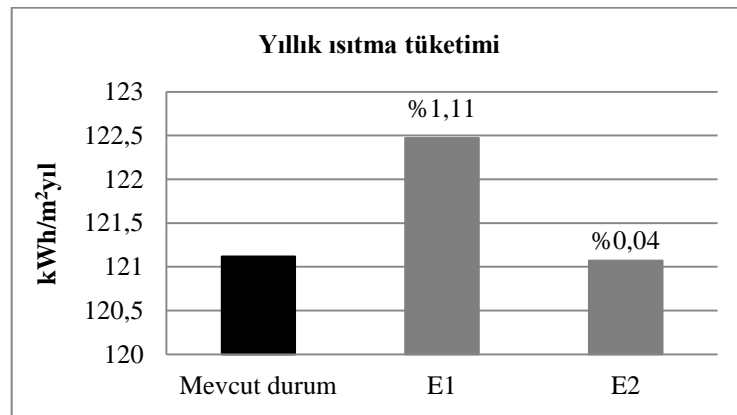


Şekil 4.36: Rektörlük binası pencere iyileştirme önerileri sonucunda yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları.

Rektörlük binası pencere sistemlerinin değiştirilmesine yönelik önerilerin yıllık ısıtma ve soğutma tüketimi enerji tasarruf potansiyelleri kıyaslandığında, soğutma enerjisi tasarruf oranları, ısıtma enerjisi tasarruf oranlarına göre çok daha fazladır.

Gölgelendirme Elemanı Önerileri

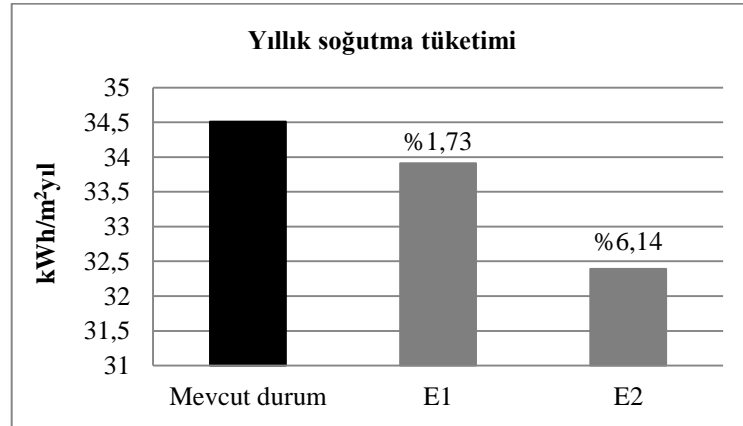
Rektörlük binasındaki pencerelere gölgelendirme elemanları eklenmesi sonucunda, M.M.F ve F.E.F binalarında ki gibi ısıtma için harcanan enerji tüketiminde ortalama %1'den düşük bir değişim gözlenmiştir. Şekil 4.37'de görüldüğü gibi yıllık ısıtma tüketimlerini sırasıyla %1,11 ve %0,04 oranında değiştirmiştir.



Şekil 4.37: Rektörlük binası gölgelendirme elemanı önerileri sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

Rektörlük binasına gölgelendirme elemanları eklenmesi ile oluşan yıllık soğutma enerjisi tasarruf oranları Şekil 4.38’de gösterilmiştir. Buna göre E1 ve E2 önerileri ile yıllık soğutma tüketimleri sırasıyla %1,73 ve %6,14 oranında azalarak birim alan başına düşen mevcut soğutma tüketimi 34,51 kWh/m² değerinden 33,91 kWh/m² ve 32,39 kWh/m² değerine düşmüştür. Tüm cephelere dıştan jaluzi eklenmesi önerisi olan E2 önerisinin, güneye 50 cm güneş kırıcı, doğu ve batıya dıştan jaluzi eklenmesi önerisi olan E1 önerisine kıyasla daha fazla soğutma enerjisi tasarruf potansiyeli olduğu gözlenmiştir. Bunun muhtemel sebebi, E2 önerisinde tüm cephelere eklenmesi önerilen jaluzilerin soğutma döneminde güneş enerjisi kazancını daha fazla azaltması olabilir.

E1 ve E2 önerilerinin ısıtma enerjisi tasarruf potansiyeli ile soğutma enerjisi tasarruf potansiyeli kıyaslandığında, soğutma enerjisi tasarruf potansiyeli ısıtma enerjisi tasarruf potansiyelinden daha fazla olduğu bulunmuştur.

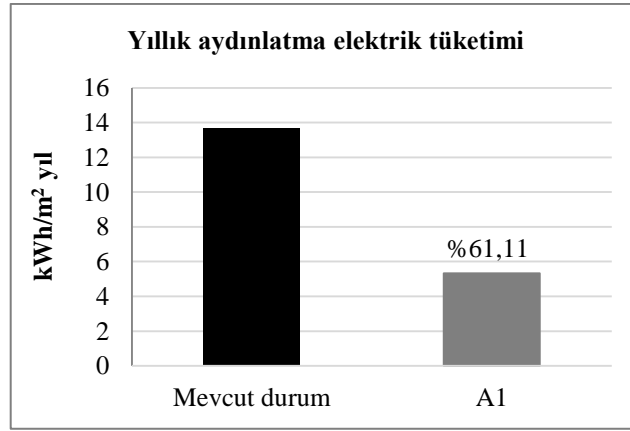


Şekil 4.38: Rektörlük binası gölgelendirme elemanı önerileri sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranları.

Aydınlatma Elemanı İyileştirme Önerisi

Mevcut aydınlatma armatürlerini LED ampullerle değiştirme önerisi olan A1 önerisinin yıllık aydınlatma tüketimine etkisi Şekil 4.39’da gösterilmiştir. Buna göre A1 önerisi, aydınlatma enerjisinde %61,11 oranında tasarruf sağlamıştır. Mevcut durumdaki birim alana düşen aydınlatma elektrik tüketimi 13,68 kWh/m² iken A1 önerisi sonucunda 5,322 kWh/m² değerine düşmüştür. Bunun olası sebebi, LED

ampullerin Rektörlük binasında mevcutta kullanılan floresan ampullere kıyasla çok daha düşük enerji tüketmeleridir.

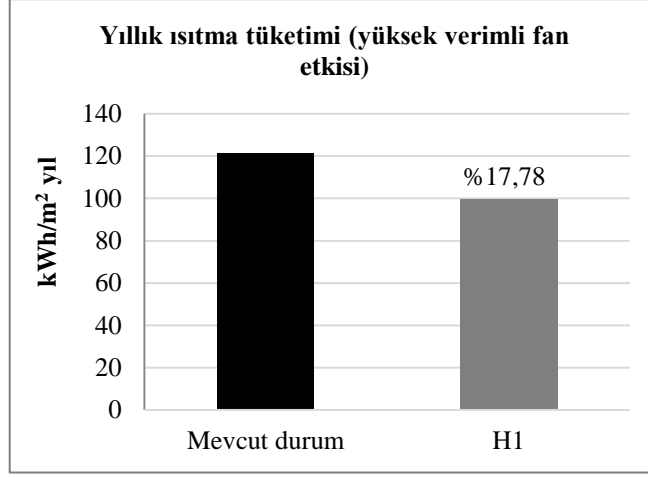


Şekil 4.39: Rektörlük binası LED ampul kullanımı önerisi sonucunda aydınlatma enerjisi tasarruf oranı.

Fan İyileştirme Önerisi

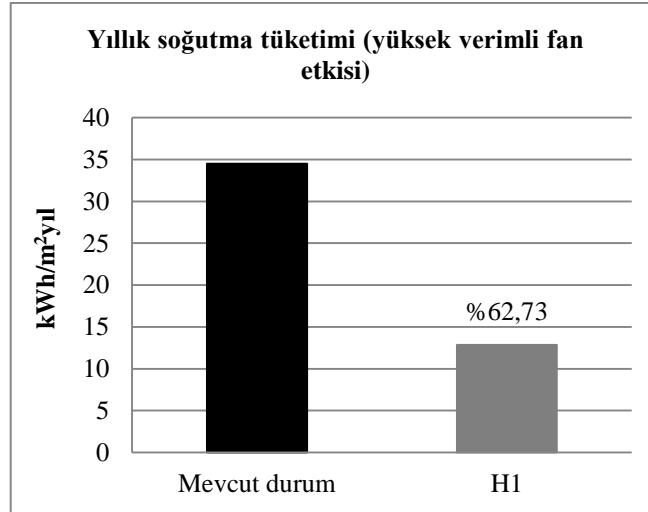
Fan coil sistem fanlarının toplam ısıtma ve soğutma tüketimi içerisindeki payı önemlidir. Bu nedenle fan verimlerinde yapılacak iyileştirmeler sayesinde önemli oranda enerji tasarrufuna katkı sağlaması beklenmektedir.

Yüksek verimli fan kullanılması önerisi olan H1 (%85 fan verimi) önerisinin ısıtma için harcanan enerjiden tasarruf potansiyeli Şekil 4.40'da gösterilmiştir. Mevcut durumda 121,12 kWh/m² olan yıllık ısıtma tüketimi, 99,58 kWh/m² ye düşmüştür. Yüksek verimli fan kullanımıyla ısıtma için harcanan enerjiden %11,41 değerinde tasarruf sağlanmıştır.



Şekil 4.40: Rektörlük binası fan iyileştirme önerisi sonucunda ısıtma için harcanan enerjiden tasarruf oranı.

H1 önerisinin soğutma için harcanan enerjiden tasarruf potansiyeli Şekil 4.41’de gösterilmiştir. Mevcut durumda 34,51 kWh/m² olan yıllık soğutma tüketimi, H1 önerisi sonucunda 12,86 kWh/m² değerine gerilemiştir. Sadece yüksek verimli fan kullanımıyla soğutma için harcanan enerjiden %62,73 tasarruf sağlanabilir. Görüldüğü gibi Rektörlük binasında yüksek verimli fanların kullanılması durumunda soğutma için harcanan enerjiden elde edilen tasarruf, ısıtma için harcanan enerjiden elde edilen tasarruftan çok daha fazla olmaktadır.

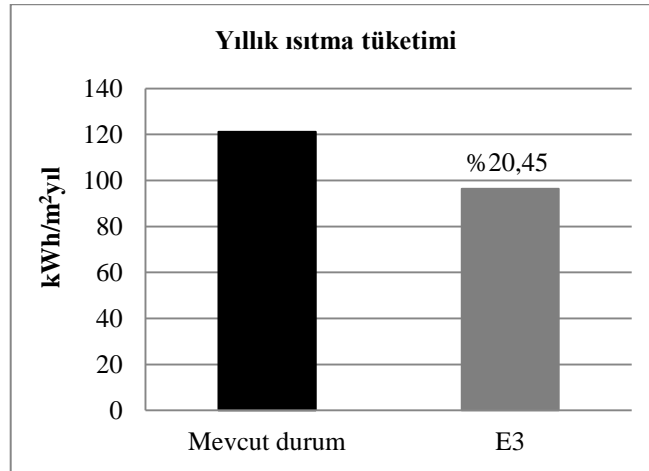


Şekil 4.41: Rektörlük binası fan iyileştirme önerisi sonucunda soğutma için harcanan enerjiden tasarruf oranı.

Hava Sızdırmazlık Değerinin İyileştirilmesi

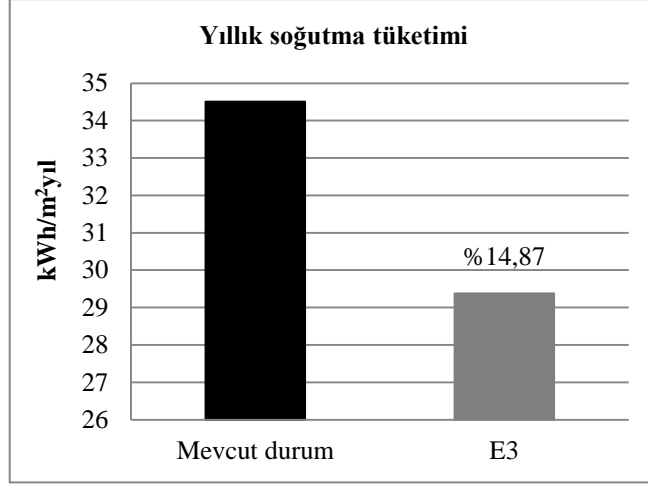
Rektörlük binasına önerilen enerji tasarruf önlemlerinden duvar yalıtımı, çatı yalıtımı ve pencere sistemlerinin değiştirilmesi ile bina hava sızdırmazlığının daha iyi sağlanabileceği kabul edilmiştir. Sadece bina hava sızdırmazlık değerinin azaltılmasının binanın yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi tasarruf potansiyeline ne kadar etki edeceği incelenmiştir.

Rektörlük binasının hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi (E3) ile oluşan yıllık ısıtma enerjisi tasarruf miktarı Şekil 4.42’de gösterilmiştir. Buna göre mevcut yıllık ısıtma tüketimi 121,12 kWh/m²’den 96,35 kWh/m² değerine düşmüştür. Hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi ile %20,45 oranında ısıtma enerjisinden tasarruf sağlanabileceği görülmüştür.



Şekil 4.42: Rektörlük binası hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranı.

Hava sızdırmazlık değerinin yıllık soğutma tüketimine etkisi ise Şekil 4.43’de verilmiştir. Buna göre mevcut yıllık soğutma tüketimi 34,51 kWh/m²’den 29,38 kWh/m² değerine düşmüştür. Sadece hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi (E3) ile %14,87 oranında soğutma enerjisinden tasarruf sağlanabileceği bulunmuştur.



Şekil 4.43: Rektörlük binası hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranı.

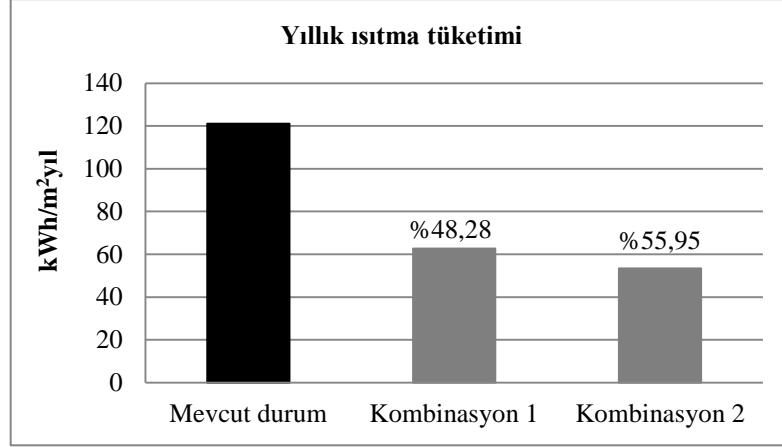
Sonuç olarak Rektörlük binasına bireysel uygulanan enerji etkin iyileştirme önerilerine genel olarak bakıldığında, ısıtma enerjisinden en fazla tasarrufa neden olan öneri dış duvarlara ısı yalıtımı uygulaması iken en az tasarrufa gölgelendirme elemanlarının kullanılması neden olmuştur. Soğutma için en yüksek tasarruf potansiyeli gösteren öneri fan coil fanlarının daha verimli fanlarla değiştirilmesidir. En az tasarruf potansiyeline sahip öneri ise gölgelendirme elemanlarının eklenmesidir.

Kombinasyonlar

Rektörlük binası enerji tasarruf önerilerinden minimum enerji tasarrufu sağlayan öneriler (D1-Ç1-P2) ile diğer (A1-H1-E2-E3) önerilerin birlikte uygulandığı birleşim kombinasyon 1 olarak adlandırılmıştır. Kombinasyon 2 ise maksimum enerji tasarrufu sağlayan öneriler (D3-Ç3-P4) ile diğer (A1-H1-E2-E3) önerilerin birleşiminden oluşmaktadır.

Kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanmasının yıllık ısıtma enerjisi tasarruf potansiyeline etkisi Şekil 4.44'de gösterilmiştir. D1+P2+Ç1+A1+H1+E2+E3 önerilerinin birlikte uygulandığı kombinasyon 1 sonucunda ısıtma enerjisi tüketimi $121,12 \text{ kWh/m}^2$ 'den $62,64 \text{ kWh/m}^2$ değerine düşmüştür ve %48,28 değerinde ısıtma enerjisi tasarruf potansiyeli hesaplanmıştır. D3+P4+Ç3+A1+H1+E2+E3 önerilerinin birlikte uygulandığı kombinasyon 2 ile mevcut tüketim $53,35 \text{ kWh/m}^2$ değerine

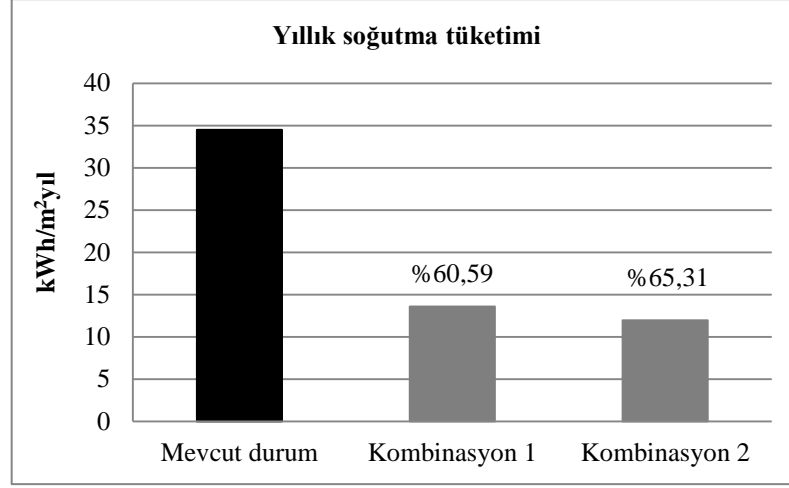
düşmüştür. Şekil 4.38'den de anlaşıldığı üzere ısıtma enerjisi tasarrufu %55,95'dir. Kombinasyon 2, kombinasyon 1'e göre yaklaşık olarak %7,5 oranında daha fazla ısıtma enerjisinden tasarruf sağlamıştır.



Şekil 4.44: Rektörlük binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranı.

Kombinasyonların uygulanmasının yıllık soğutma enerjisi tüketimine etkisi Şekil 4.45'de gösterilmiştir. Kombinasyon 1 (D1+P2+Ç1+A1+H1+E2+E3) önerisi sayesinde soğutma enerjisi 34,51 kWh/m²'den 13,6 kWh/m² değerine düşmüştür ve %60,59 oranında ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanmıştır. Kombinasyon 2 (D3+P4+Ç3+A1+H1+E2+E3) önerisi ile mevcut soğutma tüketimi 11,97 kWh/m² değerine düşmüştür ve şekilden de görüldüğü gibi soğutma enerjisindeki azalma %65,31'dir. Kombinasyon 2, 1'e göre yaklaşık olarak %4,7 oranında daha fazla soğutma enerjisi tasarrufu sağlamıştır.

Rektörlük binasına uygulanması önerilen kombinasyonların ısıtma ve soğutma enerjisine etkilerine genel olarak bakıldığında, soğutma enerjisi tasarruf oranlarının ısıtma enerjisi tasarruf oranlarından daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.45: Rektörlük binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranı.

Rektörlük binasına uygulanan kombinasyonların bina toplam enerjisine etkisi ise Tablo 4.8'de gösterilmiştir. Buna göre kombinasyon 1 uygulanması ile mevcut durumdaki toplam 183,82 kWh/m² olan enerji tüketimi 96,07 kWh/m² değerine düşmüştür ve toplam enerji bakımından %47,74'lük bir enerji tasarrufu sağlanmıştır. Kombinasyon 2 uygulanmasıyla ise mevcut enerji tüketimi 85,15 kWh/m²'ye düşmüş ve sağlanan enerji tasarrufu %53,68 olmuştur.

Tablo 4.8: Rektörlük binası toplam enerji tüketimi değişimi (kWh/m²yıl).

	Isıtma	Soğutma	Aydınlatma	Bilgisayar+ekipman	Toplam
Mevcut durum	121,12	34,51	13,68	14,51	183,82
Kombinasyon 1	62,64	13,60	5,32	14,51	96,07
Kombinasyon 2	53,35	11,97	5,32	14,51	85,15

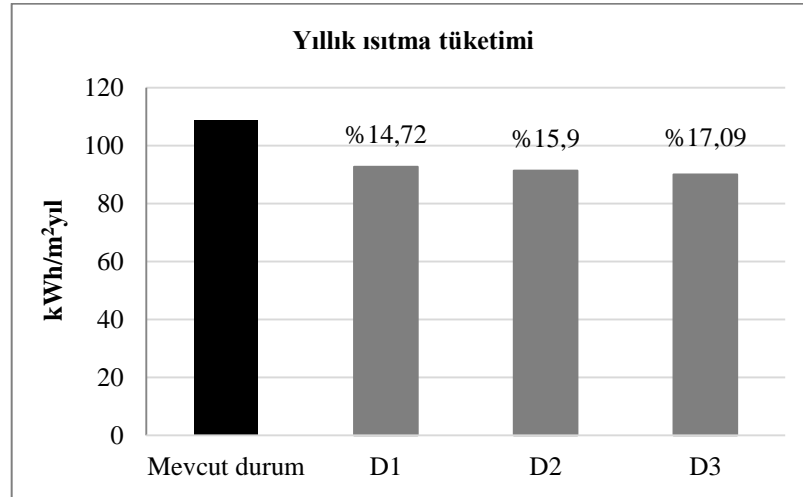
4.1.4 Enerji Tasarruf Potansiyelinin Belirlenmesi: Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu

Duvar İyileştirme Önerileri

Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binasının dış duvarlarına dıştan uygulanması önerilen 7-10-15 cm'lik taşıyıcı ısı yalıtımı sonucunda duvarın ısı

geçirgenlik değerleri sırasıyla; 0,372 W/m²K, 0,286 W/m²K, 0,206 W/m²K olmaktadır.

B.E.S.Y.O binasının mevcut durumdaki enerji tüketimini azaltmak için önerilen, dış duvarlara dıştan 7-10-15 cm kalınlığında taşıyıcı ısı yalıtımı uygulanması ile oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları Şekil 4.46'da gösterilmiştir. Buna göre 108,63 kWh/m² olan mevcut ısıtma tüketimi, D1 önerisi (dış duvarlara 7 cm ısı yalıtımı) sonrasında 92,64 kWh/m² değerine düşmüştür ve %14,72 ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanmıştır. D2 önerisi (dış duvarlara 10 cm ısı yalıtımı), mevcuttaki yıllık ısıtma tüketimi değerini 91,36 kWh/m²'ye azaltırken, 15 cm ısı yalıtımı ile tüketim 90,07 kWh/m²'ye kadar azalmıştır. D2 ve D3 önerisi sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf değerleri sırasıyla, %15,9 ve %17,09' dur. Böylece ısı yalıtım kalınlığı arttıkça ısıtma enerjisi tasarruf potansiyelinin de arttığı dikkat çekmektedir.

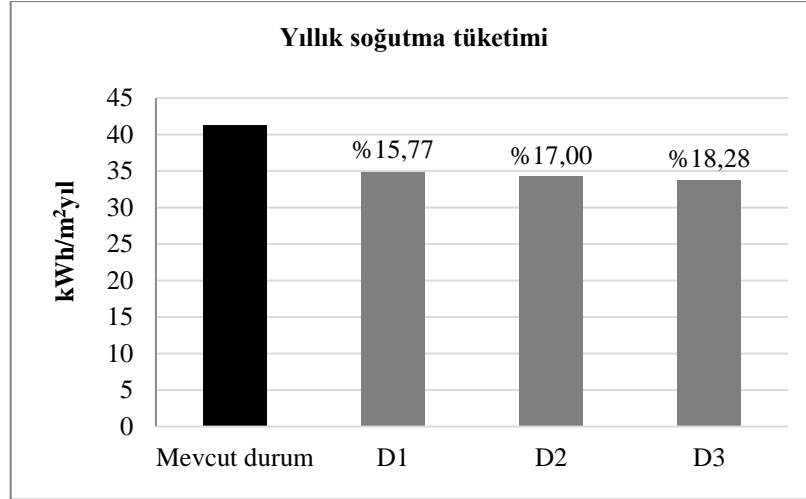


Şekil 4.46: B.E.S.Y.O binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

B.E.S.Y.O binası dış duvarlara dıştan uygulanması önerilen 7-10-15 cm taşıyıcı ısı yalıtımı ile yıllık soğutma tüketiminde meydana gelen enerji tasarruf potansiyelleri Şekil 4.47'de verilmiştir. Buna göre mevcut binanın soğutulan birim alana düşen soğutma tüketimi 41,34 kWh/m² iken, D1 önerisi (dış duvarlara 7 cm ısı yalıtımı) sonrasında 34,82 kWh/m² değerine gerilemiştir. D2 önerisi (dış duvarlara 10 cm ısı yalıtımı) ile, yıllık soğutma tüketimi 34,31 kWh/m²'ye, D3 önerisi (dış duvarlara 15 cm ısı yalıtımı) ile ise 33,78 kWh/m²'ye kadar azalmıştır. D1, D2 ve D3 önerileri uygulanması halinde oluşan yıllık soğutma tüketimindeki enerji tasarruf

potansiyelleri sırasıyla; %15,77, %17,00 ve %18,28 olmuştur. Böylece ısı yalıtım kalınlığının artması ile soğutma enerjisi tasarruf potansiyelinin de arttığı söylenebilir.

Dış duvarlara 7-10-15 cm ısı yalıtımı uygulanması önerilerinin ısıtma ve soğutma tüketimi enerji tasarruf potansiyelleri kıyaslandığında, soğutma enerjisi üzerindeki tasarruf oranlarının ısıtma enerjisi tasarruf oranlarından daha fazla olduğu gözlenmiştir.



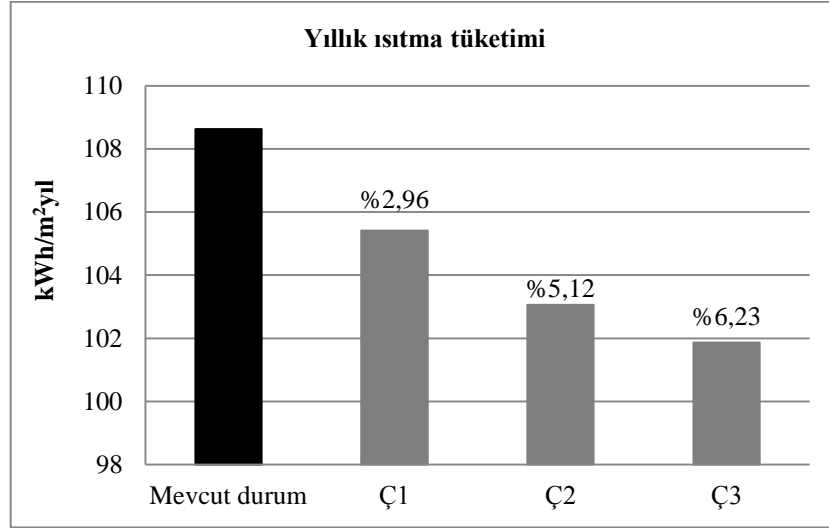
Şekil 4.47: B.E.S.Y.O binası duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan soğutma enerjisi tasarruf oranları.

Çatı İyileştirme Önerileri

B.E.S.Y.O binasında mevcut çatı teras çatı olup, çatı ısı yalıtımı olarak 7 cm'lik EPS (Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük) kullanılmıştır. Yapının enerji etkinliğini artırmak için 10 cm, 15 cm ve 20 cm'lik taşıyıcı ısı yalıtımı uygulanması önerilmiştir. Çatıya 10 cm taşıyıcı ısı yalıtımı uygulanması önerisi (Ç1) sonucunda çatının ısıl geçirgenlik değeri 0,431 W/m²K değerinden 0,315 W/m²K değerine düşmüştür. Çatıya 15 cm taşıyıcı ısı yalıtımı uygulanması (Ç2) ile bu değer 0,217 W/m²K'ye, 20 cm taşıyıcı ısı yalıtımı uygulanmasıyla (Ç3) ise 0,166 W/m²K değerine kadar azalmıştır.

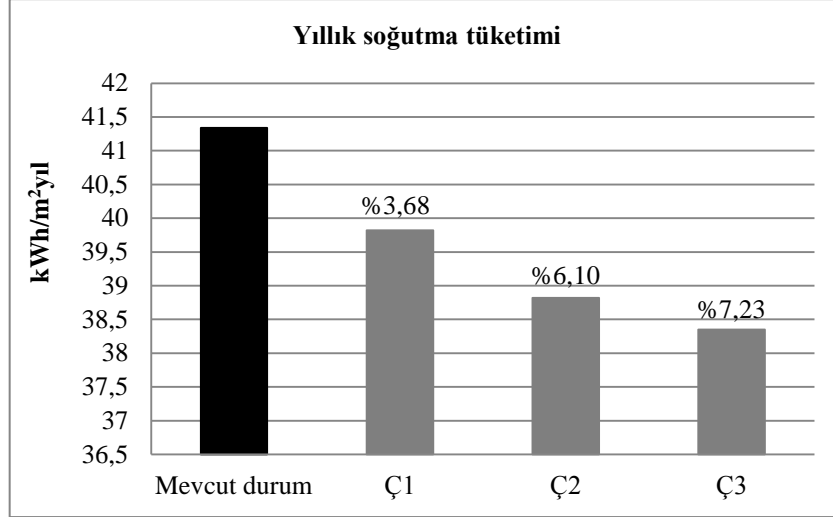
Şekil 4.48'de, B.E.S.Y.O binası için çatıya önerilen 10-15-20 cm kalınlığında taşıyıcı ısı yalıtımı ile oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları gösterilmiştir. Buna göre Ç1 önerisi sonucunda, mevcutta ısıtılan birim alana düşen yıllık ısıtma tüketimi

108,63 kWh/m² değerinden 105,41 kWh/m² değerine düşerken, %2,96 değerinde ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanmıştır. Ç2 önerisinde 103,06 kWh/m² değerine düşmüştür. Ç3 önerisiyle ise ısıtılan birim alana düşen yıllık ısıtma tüketimi 101,86 kWh/m² değerini almıştır. Ç2 ve Ç3 önerisi sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları sırasıyla, %5,12 ve %6,23' dür. Çatı için uygulanması önerilen ısı yalıtımlarının, kalınlığı arttıkça ısıtma tüketimi değerinin azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.48: B.E.S.Y.O binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

Şekil 4.49'da, B.E.S.Y.O binası çatısına uygulanması önerilen 10-15-20 cm'lik taşıyıcı ısı yalıtımı sonucunda meydana gelen soğutma enerjisi tasarruf potansiyelleri gösterilmiştir. Buna göre, çatıya 10 cm taşıyıcı ısı yalıtımı uygulanması önerisi olan Ç1 ile soğutulan birim alana düşen yıllık soğutma tüketimi 41,34 kWh/m²'den 39,82 kWh/m² değerine düşmüştür. 15 cm'lik ısı yalıtımı (Ç2) yıllık soğutma tüketimi değerini 38,82 kWh/m²'ye azaltırken, 20 cm ısı yalıtımı (Ç3) 38,35 kWh/m²'ye azaltmıştır. Ç1, Ç2 ve Ç3 önerilerinin uygulanması sonucunda oluşan soğutma enerjisi tasarruf oranları sırasıyla; %3,68, %6,10 ve %7,23'dür.



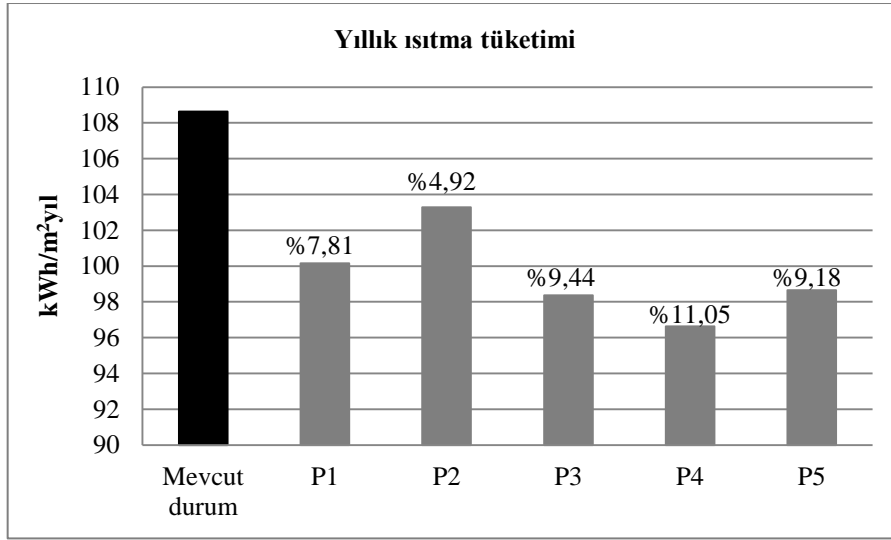
Şekil 4.49: B.E.S.Y.O binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan soğutma enerjisi tasarruf oranları.

Pencere İyileştirme Önerileri

Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binasında PVC doğramalı çift cam pencere kullanılmaktadır. Kullanılan pencere cam sisteminin, güneş enerjisi toplam geçirgenlik değeri (SHGC) %46 ve toplam ısı geçirgenlik değeri (U) 2,708 W/m²K' dir. Mevcut cam sisteminin enerji performansını iyileştirmek için önerilen 5 farklı cam sisteminin termofiziksel özellikleri Tablo 4.4'te gösterilmiştir (bkz. Tablo 4.4).

B.E.S.Y.O binası mevcut yıllık ısıtma tüketimi ve 5 farklı cam sisteminin uygulanması sonucunda oluşan yıllık ısıtma tüketimleri Şekil 4.50'de gösterilmiştir. P1 (low-e kaplamalı hava boşluklu çift cam) önerisi ile yıllık ısıtma tüketimi 100,15 kWh/m² değerine düşerken P2 (solar low-e kaplamalı hava boşluklu çift cam) önerisi ile 103,29 kWh/m² değerine düşmüştür. İkisi de çift cam önerisi olan P1 ve P2 önerilerinin ısıtma enerjisi tasarruf oranları kıyaslandığında, P1 önerisi %7,81 iken P2 önerisi %4,92'dir. Bunun muhtemel sebebi, P1 önerisinin güneş enerjisi toplam geçirgenlik değerinin P2 önerisinin güneş enerjisi toplam geçirgenlik değerinden daha yüksek olmasıdır. P3 (üç katmanlı cam sistemi) önerisi sonucunda yıllık ısıtma tüketimi %9,44 oranında azalmış ve 98,37 kWh/m² değerini almıştır. P4 (low-e kaplamalı dış ve iç camın olduğu 3 katmanlı cam sistemi) önerisi ile yıllık ısıtma tüketimi 96,63 kWh/m² değerine gerilemiştir ve %11,05 oranında ısıtma enerjisinden tasarruf sağlanmıştır. P5 (solar low-e kaplamalı dış cam ve low-e kaplamalı iç camın

olduğu üç katmanlı cam sistemi) önerisi sonucunda ise yıllık ısıtma tüketimi %9,18 oranında azalarak 98,66 kWh/m² değerini almıştır. 3 katmanlı cam sistemine sahip P3, P4 ve P5 önerilerinin ısıtma enerjisi tasarruf potansiyelleri kıyaslandığında, en fazla potansiyele sahip öneri P4 olurken, en az potansiyele sahip öneri P5 olmuştur. Bunun muhtemel sebebi, P4 ile P5 önerisinin ısıl geçirgenlik değerlerinin eşit olmasına rağmen P4 önerisinin güneş enerjisi toplam geçirgenlik değerinin P5 önerisinden daha yüksek olmasıdır.

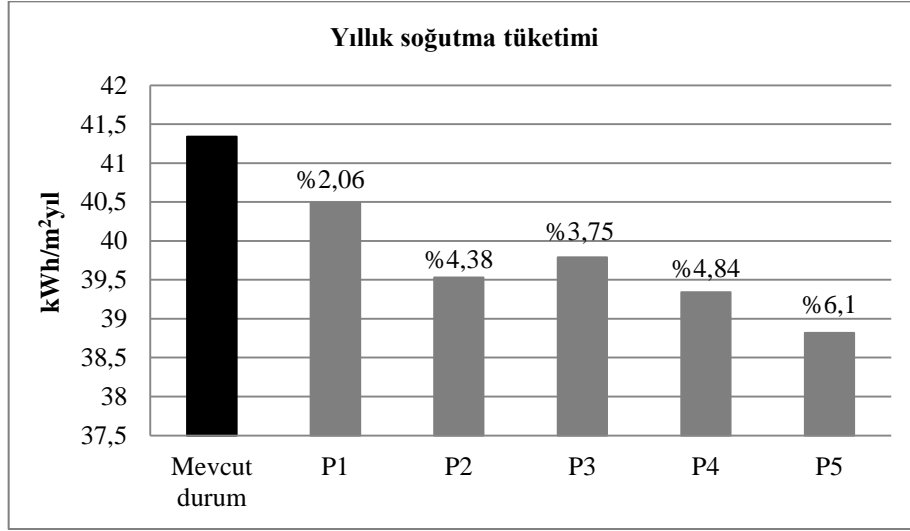


Şekil 4.50: B.E.S.Y.O binası pencere iyileştirme önerileri sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

Şekil 4.51’de B.E.S.Y.O binası mevcut yıllık soğutma tüketimi ile 5 farklı cam sisteminin uygulanması sonucunda oluşan yıllık soğutma tüketim değerleri gösterilmiştir. P1 önerisi sonucunda yıllık soğutma enerjisinde %2,06 tasarruf sağlanmış ve yıllık soğutma tüketimi 40,49 kWh/m² değerini almıştır. P2 önerisi, yıllık soğutma tüketimini 39,53 kWh/m² değerine azaltmış ve %4,38’lik bir soğutma enerjisi tasarrufuna sebep olmuştur. P3 önerisi ile yıllık soğutma tüketimi %3,75 azalmış ve 39,79 kWh/m² değerine düşmüştür. P4 önerisi sonucunda yıllık soğutma tüketimi 39,34 kWh/m² değerine azalmış ve %4,84 oranında soğutma enerjisinden tasarruf sağlanmıştır. P5 önerisi sonucunda ise yıllık soğutma tüketimi %6,1 azalarak 38,82 kWh/m² değerini almıştır.

P1, P2, P3, P4 ve P5 önerileri soğutma enerjisi tasarruf potansiyelleri kıyaslandığında, en fazla potansiyele sahip öneri P5 olurken en az potansiyele sahip öneri P1 olmuştur.

B.E.S.Y.O binası için pencere iyileştirme önerilerinin yıllık ısıtma ve soğutma tüketimi üzerindeki enerji tasarruf oranlarına bakıldığında, ısıtma enerjisi tasarruf oranlarının soğutma enerjisi tasarruf oranlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir.



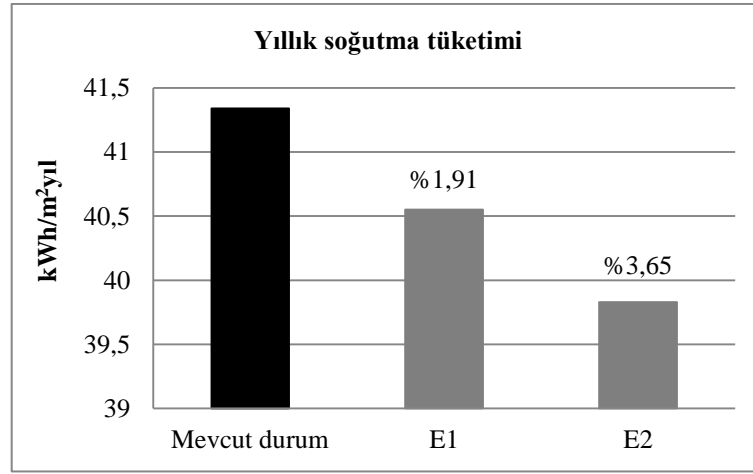
Şekil 4.51: B.E.S.Y.O binası pencere iyileştirme önerileri sonucunda oluşan soğutma enerjisi tasarruf oranları.

Gölgelendirme Elemanı Önerileri

B.E.S.Y.O binasındaki pencerelere gölgelendirme elemanları eklenmesi sonucunda ısıtma için harcanan enerji tüketiminde önemli bir değişikliğe sebep olmadığı gözlenmiştir. E1, yıllık ısıtma tüketimini %0,07 oranında artırırken, tüm cephelere dıştan jaluzi eklenmesi önerisi olan E2, yıllık ısıtma tüketimini %0,07 oranında azaltmıştır.

Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binasına gölgelendirme elemanları eklenmesi sonucunda oluşan soğutma enerjisi tasarruf oranları Şekil 4.52’de gösterilmiştir. Buna göre her iki önerinin de soğutma için harcanan enerji tüketiminde azalmaya sebep olduğu görülmektedir. E1 önerisi ile yıllık soğutma tüketimi 41,34 kWh/m²’den 40,55 kWh/m² değerine düşerken, E2 önerisi ile 39,83 kWh/m² değerine düşmüştür. Sonuç olarak E2 önerisi E1 (güneye 50 cm güneş kırıcı, doğu ve batıya dıştan jaluzi eklenmesi) önerisine kıyasla daha fazla soğutma enerjisi tasarrufu sağlamıştır. Bunun muhtemel sebebi, E2 önerisinde tüm cephelere

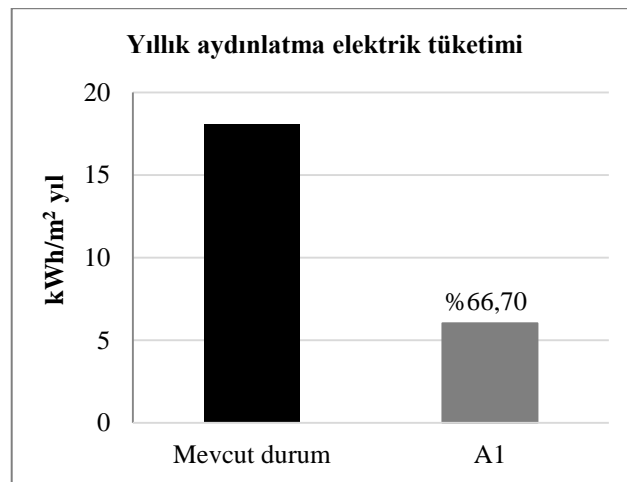
eklenmesi önerilen jaluzilerin soğutma döneminde güneş enerjisi kazancını daha fazla azaltması olabilir.



Şekil 4.52: B.E.S.Y.O binası gölgelendirme elemanı önerileri sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranları.

Aydınlatma Elemanları İyileştirme Önerisi

Mevcut aydınlatma armatürlerinin LED ampullerle değiştirilmesi önerisi olan A1 önerisinin yıllık aydınlatma tüketimine etkisi Şekil 4.53'de gösterilmiştir. Buna göre A1 önerisi ile, birim alana düşen aydınlatma tüketimi 18,08 kWh/m²'den 6,02 kWh/m² değerine düşmüştür ve aydınlatma enerjisinde %66,70 oranında tasarruf sağlanmıştır.

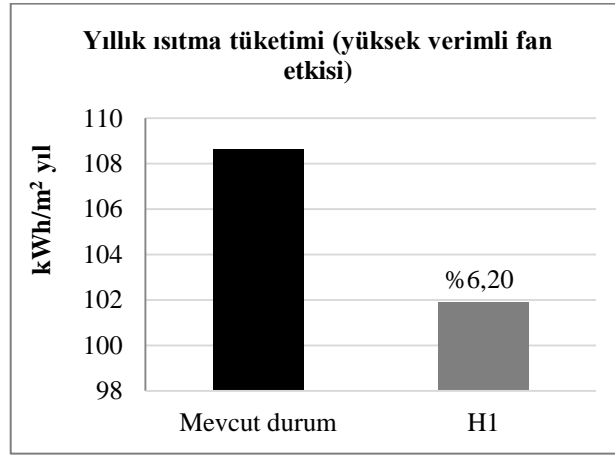


Şekil 4.53: B.E.S.Y.O binası LED ampul kullanımı önerisi sonucunda aydınlatma enerjisi tasarruf oranı.

Fan İyileştirme Önerisi

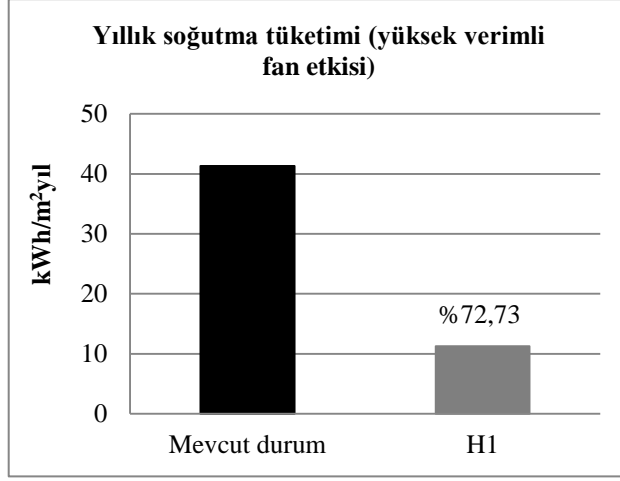
Enerji tüketimi üzerinde çok yüksek payı olan fan coil fanlarını daha verimli fanlarla değiştirme önerisi olan H1'in uygulanması sonucunda enerji tasarrufuna katkı sağlanmıştır.

H1 (%85 fan verimi) önerisinin yıllık ısıtma için harcanan enerji tüketimine etkisi Şekil 4.54'de gösterilmiştir. H1 önerisi ile, mevcut durumda $108,63 \text{ kWh/m}^2$ olan yıllık ısıtma tüketimi, $101,89 \text{ kWh/m}^2$ 'ye düşmüştür ve ısıtma için harcanan enerjiden %6,20 oranında tasarruf sağlanmıştır.



Şekil 4.54: B.E.S.Y.O binası fan iyileştirme önerisi sonucunda ısıtma için harcanan enerjiden tasarruf oranı.

H1 önerisinin soğutma için harcanan enerji tüketimine etkisi de Şekil 4.55'de gösterilmiştir. H1 önerisi sonucunda, mevcut durumda yıllık soğutma tüketimi $41,34 \text{ kWh/m}^2$ 'den $11,27 \text{ kWh/m}^2$ değerine düşmüştür. Yüksek verimli fan kullanımıyla soğutma için harcanan enerjiden %72,73 gibi büyük bir oranda tasarruf sağlanmıştır. Görüldüğü gibi yüksek verimli fanların kullanılması durumunda soğutma için harcanan enerjiden sağlanan tasarruf, ısıtma enerjisi için harcanan enerjiden sağlanan tasarruftan çok daha fazla olmuştur. Bu durum fanların tükettikleri enerjinin soğutma amaçlı enerji tüketimi içindeki payının daha fazla olduğunu göstermektedir.

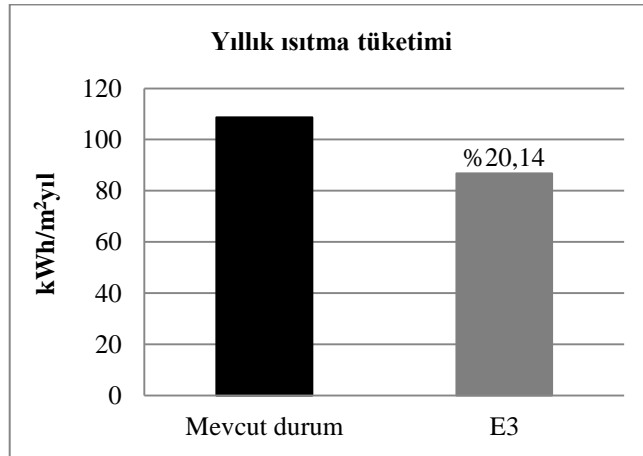


Şekil 4.55: B.E.S.Y.O binası fan iyileştirme önerisi sonucunda soğutma için harcanan enerjiden tasarruf oranı.

Hava Sızdırmazlık Değerinin İyileştirilmesi

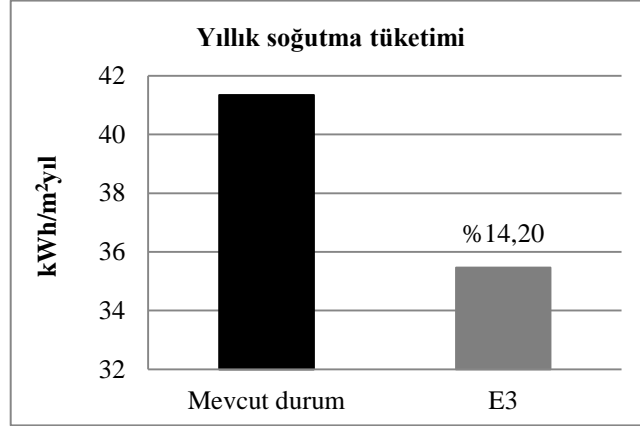
B.E.S.Y.O binasına uygulanan enerji tasarruf stratejilerinden duvar, çatı ve pencere sistemlerinin iyileştirilmesi ile bina hava sızdırmazlığının daha iyi sağlanabileceği kabul edilmiştir. Bina hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesinin yıllık ısıtma ve soğutma tüketimine olan etkisine bakılmıştır.

Şekil 4.56’da, mevcut durumdaki hava sızdırmazlık değerinin düşmesi ile meydana gelen yıllık ısıtma tüketimindeki değişim gösterilmiştir. E3 önerisi ile, ısıtılan birim alana düşen yıllık ısıtma tüketimi $108,63 \text{ kWh/m}^2$ ’den $86,75 \text{ kWh/m}^2$ değerine düşmüştür ve %20,14 oranında tasarruf sağlanmıştır.



Şekil 4.56: B.E.S.Y.O binasının sadece hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi ile oluşan ısıtma enerjisi tasarruf oranı.

Şekil 4.57’de ise, hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi olan E3 önerisinin, yıllık soğutma tüketimini ne kadar etkilediği gösterilmiştir. E3 önerisi ile mevcut yıllık soğutma tüketimi 41,34 kWh/m²’den 35,47 kWh/m² değerine düşmüştür ve %14,20 oranında soğutma enerjisi tasarrufu sağlanabileceği görülmüştür.



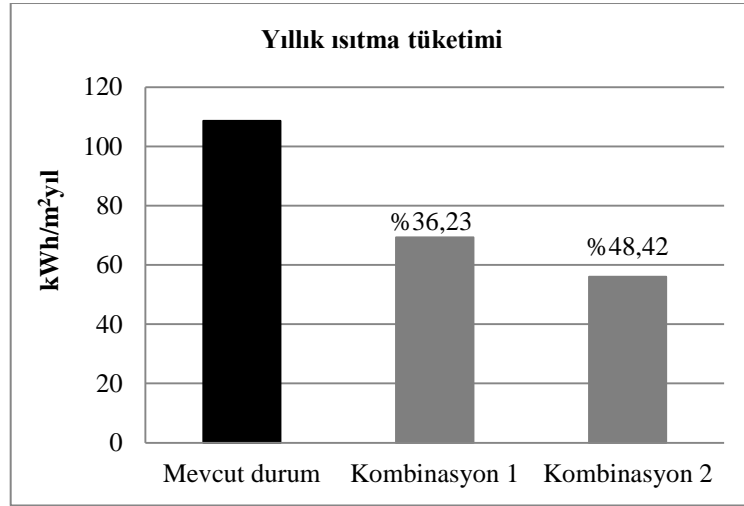
Şekil 4.57: B.E.S.Y.O binasının sadece hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi ile oluşan soğutma enerjisi tasarruf oranı.

Sonuç olarak Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binasına bireysel uygulanan enerji etkin iyileştirme önerilerine genel olarak bakıldığında, ısıtma enerjisinden en fazla tasarrufa neden olan öneri hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi iken en az tasarrufa gölgelendirme elemanlarının kullanılması neden olmuştur. Soğutma için en yüksek tasarruf potansiyeli gösteren öneri fancoil fanlarının daha verimli fanlarla değiştirilmesidir. En az tasarruf potansiyeline sahip öneri ise gölgelendirme elemanlarının eklenmesidir.

Kombinasyonlar

B.E.S.Y.O binasına uygulanan duvar iyileştirme önerilerinden D1, D2, D3, çatı iyileştirme önerilerinden Ç1, Ç2, Ç3 ve pencere sistemlerinin değiştirilmesi önerilerinden P1, P2, P3, P4, P5 önerileri enerji tüketimleri kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. Minimum enerji tüketimine sahip öneriler (D1, Ç1, P2) ve diğer (A1, H1, E2, E3) önerilerin birleşimi kombinasyon 1 olarak belirlenmiştir. Kombinasyon 2 ise maksimum enerji tüketimine sahip öneriler (D3, Ç3, P4) ile diğer (A1,H1,E2,E3) önerilerin birleşiminden oluşmuştur.

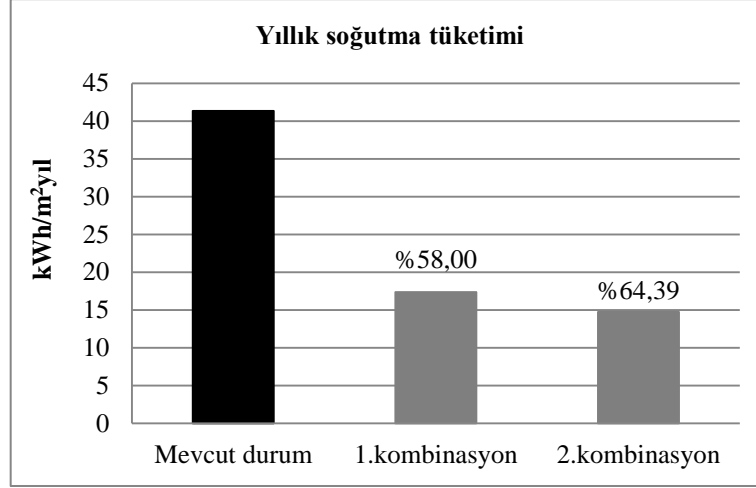
Şekil 4.58’de, B.E.S.Y.O binasına kombinasyonların uygulanması ile oluşan yıllık ısıtma tüketimleri gösterilmiştir. Kombinasyon 1 ile mevcut yıllık ısıtma tüketimi $108,63 \text{ kWh/m}^2$ ’den $69,27 \text{ kWh/m}^2$ değerine düşmüş ve %36,23 değerinde ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanmıştır. Kombinasyon 2’nin uygulanmasıyla ise mevcut yıllık ısıtma tüketimi %48,42 oranında azalarak $56,03 \text{ kWh/m}^2$ değerini almıştır. Kombinasyon 2’nin kombinasyon 1 göre yaklaşık olarak %12 oranında daha fazla ısıtma enerjisi tasarrufu sağlamıştır.



Şekil 4.58: B.E.S.Y.O binası kombinasyon 1 ve 2’nin uygulanması sonucunda ısıtma enerjisi tasarruf oranı.

Şekil 4.59’da ise, B.E.S.Y.O binasına kombinasyonların uygulanması ile meydana gelen yıllık soğutma tüketimleri gösterilmiştir. Kombinasyon 1 sayesinde soğutma enerjisi $41,34 \text{ kWh/m}^2$ ’den $17,36 \text{ kWh/m}^2$ değerine düşmüş, %58 değerinde tasarruf sağlanmıştır. Kombinasyon 2 ile mevcut soğutma tüketimi $14,72 \text{ kWh/m}^2$ değerine düşmüştür ve şekilden de anlaşıldığı üzere soğutma enerjisindeki azalma %64,39 olmuştur. Kombinasyon 2’nin kombinasyon 1’e göre yaklaşık olarak %6 oranında daha fazla soğutma enerjisi tasarrufu sağlamıştır.

Kombinasyonların sonuçlarına genel olarak bakıldığında, soğutma enerjisi tasarruf oranının ısıtma enerjisi tasarruf oranından daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.59: B.E.S.Y.O binası kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda soğutma enerjisi tasarruf oranı.

B.E.S.Y.O binasına uygulanan kombinasyonların bina toplam enerjisine etkisi ise Tablo 4.9'da gösterilmiştir. Buna göre kombinasyon 1'in uygulanması ile mevcut durumdaki toplam $179,2 \text{ kWh/m}^2$ olan enerji tüketimi $103,8 \text{ kWh/m}^2$ değerine düşmüştür ve toplam enerji bakımından %42,07'luk bir enerji tasarrufu sağlanmıştır. Kombinasyon 2'nin uygulanmasıyla ise mevcut enerji tüketimi $87,92 \text{ kWh/m}^2$ 'ye düşmüş ve sağlanan enerji tasarrufu %50,93 olmuştur.

Tablo 4.9: Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu toplam enerji tüketimi değişimi (kWh/m^2 yıl).

	Isıtma	Soğutma	Aydınlatma	Bilgisayar+ekipman	Toplam
Mevcut durum	108,63	41,34	18,08	11,15	179,2
Kombinasyon 1	69,27	17,36	6,02	11,15	103,8
Kombinasyon 2	56,03	14,72	6,02	11,15	87,92

4.2 Tasarruf Potansiyellerinin Bina Bazında Karşılaştırılması

Bu bölümde, önerilen iyileştirme senaryoları sonucunda elde edilen enerji tasarruf potansiyelleri bina bazında incelenmiştir.

Öncelikle dış duvarlar için belirlenen iyileştirme önerilerinin binalara göre enerji tasarruf potansiyelleri Tablo 4.10'da verilmiştir. Buna göre duvarlara dıştan yalıtım eklenmesi sonucu elde edilen en yüksek enerji tasarruf potansiyeli ortalama

%26,12 ile Fen-Edebiyat Fakültesi'nde gerçekleşmiştir. Bunun muhtemel sebebi, F.E.F binasının toplam 15.984,83 m² brüt duvar alanı ile en fazla duvar alanına sahip bina olmasıdır. Isıtma enerjisi bakımından enerji tasarruf potansiyelleri sıralandığında, 2. en yüksek potansiyele sahip bina, ortalama %23,72 ile Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'dir. Bu binanın da toplam brüt duvar alanı 11.000 m² ile F.E.F binası toplam brüt duvar alanından sonra gelmektedir. Rektörlük binası, ısıtma enerjisi tasarruf potansiyeli sıralamasında ortalama %21,61 ile 3. sırada yer almaktadır. Rektörlük binasının toplam brüt duvar alanı 7439,85 m²'dir. Isıtma için harcanan enerji bakımından en düşük enerji tasarruf potansiyeline sahip bina ise ortalama %15,90 ile Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binası olmuştur. Bu, B.E.S.Y.O binasının toplam brüt duvar alanı bakımından en az alana sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Binalarda soğutma için harcanan enerjiden tasarruf potansiyelleri büyükten küçüğe doğru sıralandığında; ilk sırada Fen-Edebiyat Fakültesi (ortalama %28,85), daha sonra Rektörlük (ortalama %18,68) ve Mühendislik-Mimarlık Fakültesi (ortalama %17,50) son olarak ise Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu (ortalama %17,01) yer almaktadır. Rektörlük binasının toplam brüt duvar alanının Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binasından daha az olmasına rağmen soğutma enerjisi tasarruf potansiyelinin daha fazla olmasının muhtemel sebebi, Rektörlük binasının M.M.F binasına göre çok daha fazla soğutulan alana sahip olmasıdır.

Hem ısıtma hem de soğutma için harcanan enerjiden en fazla tasarruf potansiyeline sahip bina Fen-Edebiyat Fakültesi olurken, en az tasarruf potansiyeline sahip bina ise Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu olmuştur.

Tablo 4.10: Duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması.

Binalar	7 cm ısı yalıtımı (D1)		10 cm ısı yalıtımı (D2)		15 cm ısı yalıtımı (D3)	
	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	%21,89	%16,13	%23,73	%17,51	%25,56	%18,87

Tablo 4.10 (devam): Duvar iyileştirme önerileri sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması.

Fen-Edebiyat Fakültesi	%24,13	%26,73	%26,14	%28,89	%28,11	%30,93
Rektörlük	%19,9	%17,36	%21,6	%18,66	%23,34	%19,82
Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu	%14,72	%15,77	%15,9	%17,00	%17,09	%18,28

Binalarda çatı yalıtımı uygulanması sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyelleri Tablo 4.11’de gösterilmiştir. Buna göre çatı iyileştirmesi ile ısıtma için harcanan enerjiden en yüksek tasarruf potansiyeline sahip bina ortalama %19,2 ile Fen-Edebiyat Fakültesi’dir. Bunun muhtemel sebebi, F.E.F binasının toplam çatı alanının 6415,36 m² ile en fazla alana sahip olmasıdır. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ile Rektörlük binası çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan ısıtma enerjisi tasarruf potansiyellerinin ortalama %15 ile benzer düzeyde olduğu gözlenmiştir. B.E.S.Y.O binası ise ısıtma için tüketilen enerji bakımından en düşük enerji tasarruf potansiyeline sahip bina olmuştur. Bunun nedeni, diğer incelenen binaların mevcut çatısında ısı yalıtımı bulunmazken B.E.S.Y.O binasının çatısında EPS ısı yalıtımı bulunmasıdır. Çatı iyileştirilmesi ile binaların soğutma için harcanan enerjiden tasarruf potansiyelleri kıyaslandığında, en yüksek tasarruf potansiyeline sahip bina ortalama %29,8 ile Fen-Edebiyat Fakültesi’dir. Bunun muhtemel sebebi, Fen-Edebiyat Fakültesi binasının diğer kıyaslanan binalar içerisinde en fazla çatı alanına sahip olmasıdır. Fen-Edebiyat Fakültesi’nden sonra sırasıyla, Rektörlük binası (ortalama %20,79) ve Mühendislik-Mimarlık Fakültesi (ortalama %14,86) gelmektedir. Rektörlük binası çatı alanı M.M.F binası çatı alanının yaklaşık yarısı kadar olmasına rağmen çatı iyileştirme sonucunda Rektörlük binasında daha fazla soğutma enerjisinden tasarruf sağlanmasının muhtemel nedeni, Rektörlük binasının M.M.F binasına göre yıllık soğutma tüketiminin çok daha fazla olmasıdır. Soğutma enerjisinden en düşük tasarruf potansiyeline sahip bina ise Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu (ortalama %5,67)’dur. Bunun muhtemel sebebi de, B.E.S.Y.O binasının mevcut çatısında ısı yalıtımı olmasıdır.

Tablo 4.11: Çatı iyileştirme önerileri sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması.

Binalar	10 cm ısı yalıtımı (Ç1)		15 cm ısı yalıtımı (Ç2)		20 cm ısı yalıtımı (Ç3)	
	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	% 14,57	% 14,58	% 15,30	% 14,91	% 15,69	% 15,10
Fen-Edebiyat Fakültesi	% 18,48	% 29,19	% 19,33	% 30,02	% 19,79	% 30,45
Rektörlük	% 14,63	% 20,34	% 15,29	% 20,89	% 15,65	% 21,15
Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu	% 2,96	% 3,68	% 5,12	% 6,10	% 6,23	% 7,23

Binalara uygulanan pencere iyileştirme önerilerinin sonucunda belirlenen enerji tasarruf potansiyelleri Tablo 4.12’de gösterilmiştir. Buna göre B.E.S.Y.O binası hariç diğer binalarda, ısıtma enerjisi tasarruf potansiyelleri soğutma enerjisi tasarruf potansiyellerinden çok daha az olmuştur.

Pencere camlarının daha verimli camlarla değiştirilmesi sonucunda, ısıtma için harcanan enerjiden en yüksek tasarruf potansiyeline sahip bina Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu olmuştur. Bunun muhtemel sebebi, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binasının pencere duvar oranının (%33,91) incelenen diğer binalar içerisinde en yüksek olmasıdır. Isıtma enerjisinden tasarruf potansiyelinde B.E.S.Y.O binasını, F.E.F binası takip etmektedir. F.E.F binasının da pencere duvar oranı (%30) B.E.S.Y.O binasından sonra en yüksektir. Bu yüzden Rektörlük ve M.M.F binalarına göre, daha fazla ısıtma enerjisinden tasarruf potansiyeline sahiptirler. Rektörlük ve M.M.F binaları ise, ısıtma enerjisinden tasarruf potansiyeli bakımından yaklaşık olarak aynı düzeydedir. Fakat M.M.F binasının soğutma için harcanan enerjiden tasarruf potansiyeli, Rektörlük binasından daha fazla olmuştur. Rektörlük binası pencere duvar oranı %23,96 iken M.M.F binası pencere duvar oranı %25,48’dir. Rektörlük binası da F.E.F binasından daha fazla soğutma enerjisinden tasarruf potansiyeline sahiptir. Soğutma enerjisinden tasarruf potansiyeli en düşük olan bina ise B.E.S.Y.O binasıdır. Bunun muhtemel nedeni, B.E.S.Y.O binası pencere duvar oranının diğer binalarla kıyaslandığında en yüksek olmasıdır. Ayrıca B.E.S.Y.O binası, diğer binalar içerisinde soğutulan alanı en az olan binadır.

Tablo 4.12: Pencere iyileştirme önerileri sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması.

Binalar	P1		P2		P3		P4		P5	
	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	%1,08	%9,92	%1,86*	%13,01	%1,96	%13,02	%2,95	%15,12	%1,07	%16,73
Fen-Edebiyat Fakültesi	%2,63	%7,79	%0,94*	%9,19	%4,18	%10,47	%5,76	%12,40	%3,49	%13,14
Rektörlük	%1,15	%7,91	%1,23*	%10,23	%1,91	%10,52	%2,73	%12,32	%1,16	%13,71
Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu	%7,81	%2,06	%4,92	%4,38	%9,44	%3,75	%11,05	%4,84	%9,18	%6,1

* : Belirtilen oranda artış gerçekleşmiştir.

Binalara gölgelendirme elemanları eklenmesi sonucunda oluşan, soğutma enerjisinden tasarruf potansiyelinin ısıtma enerjisi tasarruf potansiyelinden daha fazla olduğu Tablo 4.13’de görülmüştür. Buna göre, soğutma için harcanan enerjiden en fazla tasarruf potansiyeline sahip bina Mühendislik-Mimarlık Fakültesi’dir. Soğutma için harcanan enerjiden en az tasarruf potansiyeline sahip binalar ise B.E.S.Y.O ve F.E.F binasıdır. Bunun muhtemel nedeni, B.E.S.Y.O ve F.E.F binalarının diğer 2 binaya kıyasla pencere duvar oranlarının daha yüksek olmasıdır. Ayrıca B.E.S.Y.O binasında daha az alan soğutulmaktadır.

Tablo 4.13: Gölgelendirme elemanı önerileri sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması.

Binalar	E1		E2	
	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	%0,38*	%2,91	%0,03*	%8,65
Fen-Edebiyat Fakültesi	%1,61*	%1,13	%0,43*	%3,75
Rektörlük	%1,11*	%1,73	%0,04	%6,14
Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu	%0,07*	%1,91	%0,07	%3,65

* : Belirtilen oranda artış gerçekleşmiştir.

Bina aydınlatma elemanlarını daha az enerji tüketenler ile değiştirme önerisi sonucunda oluşan, binalara göre enerji tasarruf potansiyelleri Tablo 4.14’de verilmiştir. Buna göre incelenen binaların aydınlatma için harcanan enerjiden tasarruf potansiyelleri yaklaşık olarak benzer düzeydedir. Bunun muhtemel nedeni, binaların mevcuttaki aydınlatma elemanlarının aynı türden olması ve birim alana düşen güç yoğunluklarını aynı derecede değiştirmesi olabilir.

Tablo 4.14: Aydınlatma elemanı iyileştirme sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması.

Binalar	A1
	Aydınlatma İçin Harcanan Enerji
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	%66,63
Fen-Edebiyat Fakültesi	%69,29
Rektörlük	%61,11
Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu	%66,70

İncelenen binalarda mevcutta bulunan fan coil sistemi içerisindeki fanların daha verimli fanlarla değiştirilmesi durumunda, bina bazında meydana gelen enerji tasarruf potansiyelleri Tablo 4.15’de verilmiştir. Bu tabloya göre, ısıtma için harcanan enerjiden en fazla tasarruf potansiyeline sahip bina Rektörlük’ dür. Bunun muhtemel nedeni, Rektörlük binasının neredeyse tamamında fan coil sisteminin bulunmasıdır. Isıtma için harcanan enerjiden en az tasarruf potansiyeline sahip bina ise Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binasıdır. Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binası, ısıtma için harcanan enerjiden en az tasarruf potansiyeline sahip olmasına rağmen soğutma için harcanan enerjiden en fazla tasarruf potansiyeline sahip binadır. Bu durum soğutma için harcanan enerjide fan yüklerinin önemli bir yer tutmasından kaynaklanabilir. Soğutma için harcanan enerjiden en az tasarruf potansiyeline sahip bina, Fen Edebiyat Fakültesi binasıdır. Bunun muhtemel nedeni, F.E.F binasının soğutulan alan oranı bakımından diğer incelenen binalarla kıyaslandığında %12 ile en düşük olmasıdır.

Tablo 4.15: Fan iyileştirme önerisi sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması.

Binalar	H1	
	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	%11,41	%61,04
Fen-Edebiyat Fakültesi	%6,92	%53,78
Rektörlük	%17,78	%62,73
Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu	%6,20	%72,73

Tablo 4.16’da, bina hava sızdırmazlık değerinin azalması sonucunda oluşan, ısıtma ve soğutma enerjisi tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması gösterilmiştir. Buna bakıldığında tasarruf potansiyelleri arasında çok büyük farklılıklar görülmemektedir. Rektörlük ile Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binalarının ısıtma ve soğutma için harcanan enerjiden tasarruf potansiyelleri, yaklaşık olarak aynı düzeydedir ve en yüksek tasarruf potansiyeline sahiptir. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ise hem ısıtma hem de soğutma için harcanan enerjiden tasarruf potansiyeli en düşük olan binadır. Sızdırmazlık değerindeki

değişimin ısıtma için harcanan enerji üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 4.16: Hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi önerisi sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması.

Binalar	E3	
	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	%15,71	%10,09
Fen-Edebiyat Fakültesi	%17,24	%10,46
Rektörlük	%20,45	%14,87
Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu	%20,14	%14,20

Son olarak, çeşitli bireysel önerilerin bir araya getirilmesi ile oluşan kombinasyon önerilerinin uygulanması sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin farklı binalara göre karşılaştırılması Tablo 4.17’de verilmiştir. Her iki kombinasyonun da sonuçlarına bakıldığında, ısıtma amaçlı tüketilen enerjiden tasarruf potansiyeli en yüksek olan bina Fen-Edebiyat Fakültesi’dir. Bunu sırasıyla; Rektörlük, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ve Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binaları takip etmektedir. Soğutma amaçlı tüketilen enerjiden tasarruf potansiyellerine bakıldığında ise, en yüksek potansiyele sahip bina Fen-Edebiyat Fakültesi olurken, en düşük potansiyele sahip bina Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu olmuştur. Tüm binalar için ısıtma ile soğutma amaçlı harcanan enerjiden tasarruf potansiyelleri kıyaslandığında, soğutma enerjisi tasarruf potansiyelinin ısıtma enerjisi tasarruf potansiyeline göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Kombinasyonların uygulanması sonucunda toplam enerji tasarruf potansiyelleri bina bazında kıyaslandığında ise, en yüksek enerji tasarruf potansiyeline sahip binanın Fen-Edebiyat Fakültesi olduğu görülmüştür. Bunu sırasıyla, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ve Rektörlük binası takip etmektedir. Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binası ise, hem kombinasyon 1 hem de kombinasyon 2 önerileri sonucunda toplam enerji tasarruf potansiyeli en düşük olan bina olmuştur.

Tablo 4.17: Kombinasyonların uygulanması sonucunda oluşan enerji tasarruf potansiyellerinin bina bazında karşılaştırılması.

Binalar	Kombinasyon 1			Kombinasyon 2		
	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji	Toplam Enerji	Isıtma İçin Harcanan Enerji	Soğutma İçin Harcanan Enerji	Toplam Enerji
Mühendislik- Mimarlık Fakültesi	%43,10	%61,81	%49,27	%52,12	%66,06	%55,59
Fen-Edebiyat Fakültesi	%51,30	%70,28	%56,90	%61,68	%76,00	%64,33
Rektörlük	%48,28	%60,59	%47,74	%55,95	%65,31	%53,68
Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu	%36,23	%58,00	%42,07	%48,42	%64,39	%50,93

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Üniversite kampüsleri, zaman içinde enerji tüketimleri genellikle artan bir karakter sergilemektedir ve bu yüzden enerji tasarruf potansiyellerinin araştırılmasına gerek duyulmaktadır. Bu ihtiyaca karşılık olarak, bu tezde Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü'nden seçilen üniversite binalarının enerji tasarruf potansiyellerini analiz etmek için detaylı bir çalışma yapılmıştır.

Çalışmada öncelikle literatür taraması yapılarak konuyla ilgili çalışmalar incelenmiş ve enerji tüketimi üzerinde etkili olan parametreler değerlendirilmiştir. Daha sonra Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü binalarının genel özellikleri incelenmiş sonraki aşamada, bu binaların 10 yıllık doğalgaz ve elektrik tüketimleri analiz edilmiştir. Analizler sonucunda, kampüs toplam doğalgaz tüketiminin 10 yıl içerisinde (2008-2017) yaklaşık olarak %262 oranında arttığı bulunmuştur. 10 yıllık (2008-2017) elektrik tüketimi verilerine bakıldığında ise, her yıl önemli ölçüde artarak toplamda yaklaşık %535 oranında değiştiği görülmüştür.

Daha sonra, binaların kampüsün toplam doğalgaz ve elektrik tüketimine olan katkıları hesaplanmıştır. Fen-Edebiyat Fakültesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ve Rektörlük binalarının, kampüsün enerji tüketiminin maksimum yükünün oluşmasında en büyük etkiye sahip oldukları tespit edilmiştir. Toplam enerji tüketimine katkısı yüksek olan bu binalar ile pencere duvar alanı oranı en yüksek olan ve yakın zamanda inşa edilen B.E.S.Y.O binası, enerji tasarruf potansiyellerini araştırmak için seçilmiştir.

Sonrasında, seçilen binalara uygulanacak bireysel enerji tasarruf stratejileri belirlenmiştir. Bunlar; dış duvar ve çatı yalıtımı, pencerelerin değiştirilmesi, gölgelendirme elemanlarının eklenmesi, fan coil fanlarının daha verimli fanlarla değiştirilmesi ve led ampul kullanımınıdır. Binalara bu önerilerin uygulanması sonucunda ısıtma ve soğutma enerjisi için harcanan enerjiden elde edilen tasarruf potansiyelleri DesignBuilder programı kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, incelenen binaların pencere duvar alanı oranları, toplam duvar alanı ve toplam çatı alanı gibi özelliklerinin enerji tasarruf potansiyellerini etkilediği gözlenmiştir.

Toplam duvar alanı en fazla olan Fen-Edebiyat Fakültesi binası, duvar iyileştirme önerileri sonucunda hem ısıtma hem de soğutma için harcanan enerjiden en fazla tasarruf potansiyeline sahip olurken, toplam duvar alanı en az olan Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu binasının en düşük enerji tasarruf potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. F.E.F binasının sadece dış duvarlarına uygulanacak olan ısı yalıtımı ile ısıtma enerjisinden ortalama %26, soğutma enerjisinden ortalama %29 oranında tasarruf sağlanabilmektedir. B.E.S.Y.O binasının dış duvarlarına ısı yalıtımı uygulanması sonucunda oluşan tasarruf potansiyeli ise ısıtma enerjisi için ortalama %15, soğutma enerjisi için ortalama %17'dir. Tasarruf potansiyeli incelenen binalara dış duvar yalıtımı uygulanması sonuçlarına genel olarak bakıldığında, soğutma enerjisinden tasarruf potansiyelinin ısıtma enerjisinden tasarruf potansiyeline oranla daha fazla olduğu tespit edilmiştir. İncelenen tüm binaların dış duvarlarına farklı kalınlıklarda ısı yalıtımı uygulamaları ile ısıtma enerjisinden tasarruf potansiyelleri yaklaşık %15- %28 aralığında değişmekte iken soğutma enerjisinden tasarruf potansiyelleri yaklaşık %16- %31 aralığında değişmektedir. Duvar yalıtımı uygulama sonuçlarına benzer bir şekilde en fazla çatı alanına sahip Fen-Edebiyat Fakültesi, çatılara ısı yalıtımı uygulanması sonucunda da en fazla tasarruf potansiyeline sahip bina olmuştur. Isıtma için harcanan enerjiden ortalama %19, soğutma için harcanan enerjiden ortalama %30 oranında tasarruf sağlanmaktadır. B.E.S.Y.O binasının çatısını taşıyıcı ısı yalıtımı ile değiştirilmesi sonucunda oluşan tasarruf potansiyelleri ise ısıtma enerjisinden ortalama %5, soğutma enerjisinden ortalama %6 oranındadır. İncelenen binaların çatı iyileştirmesi uygulamalarına genel olarak bakıldığında, soğutma tüketimini ısıtma tüketiminden daha fazla etkilediği görülmüştür. İncelenen binalarda çatı iyileştirmesi ile ısıtma tüketimini yaklaşık %3- %20 oranında azaltmak mümkündür. Soğutma tüketimi ise yaklaşık %4- %30 oranında azaltılabilir. Duvar ve çatı yalıtımı uygulamaları sonucunda ısıtma enerjisinden en az tasarruf potansiyeline sahip olmasına rağmen, pencere duvar oranı en yüksek olan B.E.S.Y.O binası, pencere camlarının değiştirilmesi önerileri sonucunda diğer binalara kıyasla ısıtma enerjisinden ortalama %8,5 ile en fazla tasarruf potansiyeline sahip bina olmuştur. Pencere camlarının değiştirilmesi önerileri sonucunda ısıtma enerjisinden en az tasarruf potansiyeli gösteren bina ise çoğunlukla M.M.F binasıdır. M.M.F binası 3 öneri (P1-P2-P5) sonucunda ısıtma enerjisinden ortalama %1,33 ile en az tasarruf potansiyeli gösteren bina olurken, diğer 2 öneri (P3-P4) sonucunda ısıtma enerjisinden ortalama %2,32 ile en az tasarruf potansiyeli gösteren bina Rektörlük

olmuştur. İncelenen tüm binaların pencere iyileştirme önerileri sonuçlarına bakıldığında; ısıtma için harcanan enerjiden yaklaşık %1- %11 aralığında, soğutma için harcanan enerjiden yaklaşık %2- %17 aralığında enerji tasarruf potansiyeli olduğu gözlenmiştir. Pencere iyileştirme önerileri, B.E.S.Y.O binası hariç diğer binalarda soğutma tüketimini ısıtma tüketiminden daha fazla etkilemektedir. Diğer bir iyileştirme önerisi olan gölgelendirme elemanlarının eklenmesi sonucunda, ısıtma tüketimini neredeyse hiç etkilemediği görülmüştür. Bina bazında soğutma enerjisine olan etkisine bakıldığında ise soğutma enerjisinden tasarruf potansiyeli en fazla olan bina ortalama %5,78 ile M.M.F binası olurken, en az tasarruf potansiyeline sahip bina ortalama %2,44 ile F.E.F binası olmuştur. İncelenen tüm binalar için pencerelere gölgelendirme elemanları eklenmesi ile soğutma tüketimi yaklaşık %1- %9 oranında azaltılabilir. Aydınlatma elemanlarının led ampullerle değiştirilmesi sonucunda ortalama %65 oranında aydınlatma enerjisinden tasarruf sağlandığı görülmüştür. Fan coil fanlarının daha verimli fanlarla değiştirilmesi ile binaların ısıtma için harcanan enerjiden yaklaşık %6- %18 aralığında tasarruf, ısıtma enerjisi için harcanan enerjiden de yaklaşık %54- %73 aralığında tasarruf sağlandığı görülmüştür. Fan coil fanlarının iyileştirilmesi soğutma tüketimini ısıtma tüketiminden çok daha fazla etkilemiştir. Bireysel önerilerden sonuncusu ise hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesidir. Hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesi sonucunda ısıtma için harcanan enerjiden tasarruf potansiyeli en yüksek olan bina %20,45 ile Rektörlük iken en az olan bina %15,71 ile M.M.F' dir. Soğutma için harcanan enerjiden tasarruf potansiyellerine bakıldığında ise, en yüksek potansiyele sahip bina %14,87 oranı ile Rektörlük olurken en az potansiyele sahip bina M.M.F olmuştur. Hava sızdırmazlık değerinin iyileştirilmesinden elde edilen sonuçlara genel olarak bakıldığında, incelenen tüm binalar için ısıtma enerjisinden daha fazla tasarruf sağlandığı görülmüştür. Isıtma enerjisi tasarruf potansiyelleri %16- %20 arasında değişmekte iken soğutma enerjisi tasarruf potansiyelleri %10- %15 arasında değişmektedir. Bireysel önerilerin enerji tüketimine olan etkileri incelendikten sonra bu önerilerin 2 farklı şekilde bir araya getirilmesi ile oluşan kombinasyon 1 ve 2'nin etkileri incelenmiştir. Kombinasyon 1 en az enerji tasarruf potansiyeline neden olan önerilerin bir araya getirilmesinden kombinasyon 2 ise en çok enerji tasarruf potansiyeline neden olan önerilerin birleşiminden oluşmaktadır. Kombinasyon 1 ve 2'nin uygulanması sonucunda ısıtma, soğutma ve toplam enerji bakımından bina bazında değerlendirildiğinde F.E.F en yüksek, B.E.S.Y.O ise en düşük tasarruf

potansiyellerine sahip binalar olmuştur. Kombinasyon 1'in binalara uygulanması sonucunda elde edilen ısıtma enerjisinden tasarruf potansiyelleri %36,23 ve %51,3 arasında değişmekte iken soğutma enerjisinden tasarruf potansiyelleri minimum %58 maksimum %70,28 dir. Kombinasyon 2'nin uygulanması sonucunda ise ısıtma enerjisinden tasarruf potansiyelleri %48,42-%61,68 arasında değişmektedir Soğutma enerjisinden tasarruf potansiyelleri ise %64,39 ve %76,00 aralığındadır. Toplam enerjiden tasarruf potansiyelleri %42,07 ve %64,33 bandında değişmektedir. Böylece üniversite binalarının doğru enerji tasarruf stratejileri ile yüksek oranlarda enerji tasarruf potansiyelinin olduğu tespit edilmiştir. Enerji tasarruf stratejilerinin uygulanması ile, bina kullanıcılarına konfor, hava kalitesinin iyileşmesi ve ülke bazında enerji fiyatlarındaki dalgalanmaların azalması gibi ilave faydaları olacaktır.

Üniversite binaları eğitim ve araştırma için kullanılan farklı işlevleri bünyesinde barındıran ve kullanım zamanlamalarını kontrol etmenin zor olduğu yapı gruplarıdır. Bununla birlikte, gereksiz enerji tüketimine düşük ısı yalıtımı, enerji verimliliği düşük cam ve aydınlatma elemanı seçimi, güneş kırıcı elamanların yokluğu ve hava sızdırmazlığının neden olduğu görülmüştür. Aynı şekilde binalarda enerji verimliliğini arttırmak için yüksek bir potansiyelin olduğu tespit edilmiştir. Mevcut binaları enerji etkin önlemler ile yenilemenin çok önemli olduğu görülmüştür. Bu nedenle yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar ve izlenen yol diğer çalışmalar içinde referans olabilir. Bu çalışmanın bir başka etkisi de, mevcut binaların enerji etkin iyileştirilmesine ilişkin kamuoyundaki farkındalığın artırılmasına katkıda bulunmasıdır.

Gelecek çalışmalarda ise, binaların enerji tüketiminin optimize edilmesine ilişkin çalışmalar ele alınabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma bağlamında, PV panellerinin veya rüzgar tribünlerinin binalara/kampüse entegre edilmesi ile enerji tüketimine olan etkisine bakılabilir.

6. KAYNAKLAR

Ağı-Günerhan, S ve Günerhan, H. (2016). Türkiye İçin Sürdürülebilir Üniversite Modeli. *Mühendis ve Makine*, 57 (682), 54-62.

Akbalık, M. ve Kavcıoğlu, Ő. (2013). Energy Sector Outlook in Turkey. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 97-118.

Akpınar, A., Kömürcü, M.İ., Kankal, M., Özöler, İ.H. ve Kaygusuz, K. (2008). Energy Situation and Renewables in Turkey and Environmental Effects of Energy Use. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(8), 2013-2039.

Aksoy-Ercümen, M. (2016). Dünyanın Enerji Görünümü [evrimii]. (24 Eylül 2018), https://insamer.com/tr/dunyanin-enerji-gorunumu_388.html

Akşit, Ő.F. (1993). Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Birimi Dizaynında Uygulanabilecek bir Yaklaşım. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Al-janabi, A., Kavgic, M., Mohammadzadeh, A. and Azzouz, A. (2019). Comparison of EnergyPlus and IES to Model a Complex University Building Using Three Scenarios: Free-Floating, Ideal Air Load System, and Detailed. *Journal of Building Engineering*, 22, 262-280.

American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. (2016). Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. *ASHRAE Standart 90.1-2010*.

American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. (2002). Measurement of Energy and Demand Savings. *ASHRAE Guideline 14-2002*, Atlanta, GA30329.

An-Naggar, A.S., Ibrahim, M.A. and Khalil, E.E. (2017). Energy Performance Simulation in Residential Buildings. *Procedia Engineering*, 205, 4187-4194.

Andolsun, S. and Culp, C. (2008). A Comparison of EnergyPlus to DOE-2.1E: Multiple Cases Ranging from a Sealed Box to a Residential Building. *Energy Systems Laboratory*.

Artunç, Ö. (2017). Paris İklim Anlaşması neden önemli? [çevrimiçi]. (2 Aralık 2018), <http://www.dw.com/tr/paris-iklim-anla%C5%9Fmas%C4%B1-neden-%C3%B6nemli/a-39091216>

Atmaca, M. (2016). Avrupa Birliği Bina Enerji Performansı Direktifi'nin Türkiye'deki Mevcut Otel Binaları İçin Uyarlanmasına Yönelik Bir Yaklaşım. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı*, İstanbul.

Attia, S., Beltran, L., De Herde, A. and Hensen, J.L.M (2012). Selection Criteria for Building Performance Simulation Tools: Contrasting Architects and Engineers Needs. *Journal of Building Performance Simulation*, 5(3), 155-169.

BP. (2017). BP Statistical Review of World Energy [online]. (14 December 2018), https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_ch/PDF/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf

Başol, K. (1994). *Doğal Kaynaklar Ekonomisi, Doğal Kaynaklar, Enerji ve Çevre Sorunları*. İzmir: Genişletilmiş 2. Baskı Akliselim Ofset Tesisleri.

Bates, S. (2011). Creating an efficient campus. *White paper*.

BestColleges.com. (2018). Greenest Universities [online]. (17 December 2018), <https://www.bestcolleges.com/features/greenest-universities/>

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği. (2008). *T.C. Resmi Gazete* (Sayı: 27075).

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. (2017). *T.C. Resmi Gazete* (Sayı: 30051).

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. (2011). *T.C. Resmi Gazete* (Sayı: 27911).

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. (2010). *T.C. Resmi Gazete* (Sayı: 27539).

Biröl, K. (2012). Design and Analysis of Energy Saving Buildings Using The Software Energy Plus. MSc Thesis, *The Graduate School Of Natural and Applied Sciences Of Middle East Technical University*, Ankara.

Blizard, J. (2016). Getting to Know Your Building: Part 1 [online]. (05 November 2018), <https://eco.ucdavis.edu/blog/factors-affect-building-energy-use>

Boğaziçi Üniversitesi. (2015). Elektrik ihtiyacının tamamını kendi rüzgâr santralinden karşılayan dünyadaki ilk üniversite kampüsü [çevrimiçi]. (8 Ocak 2019), <https://haberler.boun.edu.tr/tr/haber/elektrik-ihitiyacinin-tamamini-kendi-ruzgar-santralinden-karsilayan-dunyadaki-ilk-universite-kamp>

Bonnet, J.F., Devel, C., Faucher, P. and Roturier, J. (2002). Analysis of electricity and water end-uses in university campuses: case-study of the University of Bordeaux in the framework of the Ecocampus European Collaboration. *Journal of Cleaner Production* 10, 13-24.

Brendel, M. (2012). The Role of Fan Efficiency in Achieving Energy Reduction Goals. *AMCA International inmotion*, Dayton, Ohio, 10-13.

Brown, K., Anderson, M. and Harris, J. (2002). Setting enhanced performance targets for a new university campus: benchmarks vs. energy standards as a reference?. *American Council for an Energy-Efficient Economy*, Washington,D.C., 29-40.

BusinessEurope. (2016). Study on Energy Efficiency Directive implementation [online]. (10 January 2019), https://www.businesseurope.eu/sites/buseur/files/media/reports_and_studies/2016-11-07_businesseurope_study_-_views_on_eeed_implementation.pdf

Buyruk, H. (2005). Efficient Use of Energy in Buildings: Demonstration Project in Erzurum, Turkey. *Energy Efficiency Conference*. Ankara.

Cao, X., Xilei, D. and Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and Buildings*, 128, 198-213.

Chen, J., Wang, X. and Steemers, K. (2013). A statistical analysis of a residential energy consumption survey study in Hangzhou, China. *Energy and Buildings*, 66, 193–202.

Coakley, D., Raftery, P. and Keane, M. (2014). A Review of Methods to Match Building Energy Simulation Models to Measured Data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 123-141.

Concerted Action. (2013). Implementing the Energy Performance of Buildings Directive Featureing Country Reports [online]. (26 October 2018), <http://www.epbd-ca.org/Medias/Pdf/CA3-BOOK-2012-ebook-201310.pdf>.

Conseil Européen des Professions Immobilières. (2013). A Guide to the Energy Efficiency Directive [online]. <http://www.cepi.eu/index.php?mact=Profile,cntnt01,downloadfile,0&cntnt01returnid=400&cntnt01uid=5213258e1b6cd&cntnt01showtemplate=false&hl=en>

Çamur, G. (2017). 3 maddede Paris İklim Anlaşması nedir? [çevrimiçi]. (16 Temmuz 2018), <https://www.birgun.net/haber-detay/3-maddede-paris-iklim-anlasmasi-nedir-163136.html>

Çetinsaya, G. (2014). Büyüme, Kalite, Uluslararasılaşma: Türkiye Yükseköğretimi İçin Bir Yol Haritası. Yayın No: 2014/2, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Basımevi.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2010). Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2023 [çevrimiçi]. (29 Ekim 2018), <https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/Turkiye-Iklim-Degisikligi-Stratejisi.pdf>

Dash, M. (2016). An Analysis of Factors Affecting Energy Consumption in Urban Odisha. *International Journal of Research and Review*, 3(12), 24-32.

Delzendeh, E., Wu, S., Lee, A. and Zhou, Y. (2017). The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1061-1071.

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. (2010). 2009 Yılı İklim Verilerinin Değerlendirmesi [çevrimiçi]. (23 Aralık 2018), <https://mgm.gov.tr/FILES/iklim/2009-yili-iklim-degerlendirmesi.pdf>

Dimas, J. (2018). CSU ranked among top 10 in green colleges guide [online]. (01 January 2019), <https://source.colostate.edu/csu-ranked-among-top-10-in-green-colleges-guide/>

Dirim, T.V. (2014). İstanbul'da Bir Toplu Konut Projesinde Farklı Yerleşim Düzenlerinin Enerji Etkinliğinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı*, İstanbul.

Dong, B., Kennedy, C. and Pressnail, K. (2005). Comparing life cycle implications of building retrofit and replacement options. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 32(6), 1051-1063.

Eby, G. (2017). 4 Ways That College Universities Are Becoming More Energy Efficient [online]. (24 April 2018), <http://www.ase.org/blog/4-ways-college-universities-are-becoming-more-energy-efficient>

El-Darwish, I. and Gomaa, M. (2017). Retrofitting Strategy for Building Envelopes to Achieve Energy Efficiency. *Alexandria Engineering Journal*, 56, 579-589.

Energy Information Administration. (2016). International Energy Outlook 2016 [online]. (14 May 2018), http://econometricainc.com/wp-content/uploads/2016/08/EIA_International_Energy_Outlook_2016.pdf

Energy Information Administration. (2006). International Energy Outlook 2006. U.S. Department of Energy.

Energy Performance of Buildings Directive. (2002). Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings [online]. (26 September 2018), <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32002L0091>

Enerji Verimliliği Kanunu. (2007). *T.C. Resmi Gazete* (Sayı: 26510).

Enerji Verimliliği Strateji Belgesi. (2012). *T.C. Resmi Gazete* (Sayı: 28215).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2018). Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023 [çevrimiçi]. (3 Ocak 2019), http://www.yegm.gov.tr/document/20180102M1_2018.pdf

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2017). 2015-2019 Strateji Planı [çevrimiçi]. (23 Ekim 2018), https://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2015_2019_Stratejik_Planı.pdf

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2016). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri [çevrimiçi]. (17 Kasım 2018), http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FMavi%20Kitap%2FMavi_kitap_2016.pdf

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2018). *2000-2016 Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu*.

Erbil, Y. ve Akıncıtürk, N. (2006). Tünel Kalıp Sistemiyle Üretilen Bir Toplu Konut Örneğinin Isısal Konfor Koşulları Açısından İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(2),53-63.

Erten, D. (2015). Green Campus Development and Greening Existing University Campuses: Case Studies from Turkey. *International Sustainable Buildings Symposium*, Ankara, 801-805.

EuroACE. (2018). A Guide to the Implementation of the Amended Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) 2018 [online]. (29 October 2018), https://euroace.org/wp-content/uploads/2018/07/EPBD_2018_Ver_1.1_Guidance_EuroACE.pdf

European Commission. (2018). Buildings [online]. (3 January 2019), <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>

European Commission. (2018). Questions & Answers on Energy Performance in Buildings Directive [online]. (17 January 2019), https://ec.europa.eu/info/news/questions-answers-energy-performance-buildings-directive-2018-apr-17_en

European Commission. (2015). Evaluation of the Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/EU [online]. (19 January 2019), http://ec.europa.eu/smart-regulation/roadmaps/docs/2016_ener_023_evaluation_energy_performance_of_buildings_directive_en.pdf

Evangelinos, K.I., Jones, N. and Panoriou, E.M. (2009). Challenges and opportunities for sustainability in regional universities: a case study in Mytilene, Greece. *Journal of Cleaner Production*, 17(12), 1154-1161.

Gali, G. (2011). Comparative Analysis of Dynamic and Simplified Energy Performance Methods for Hospital Buildings. MSc Thesis, *İstanbul Technical University Institute of Science and Technology*, İstanbul.

Gazioğlu, A. (2012). Enerji Etkin Bina Tasarımında Isıtma Enerjisi Harcamalarını Azaltmaya Yönelik Bir İyileştirme Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı*, İstanbul.

Gökmen, M. (2006). Sihirli formül tasarruf [çevrimiçi]. (20 Mayıs 2018), <http://www.yeniasya.com.tr/2006/12/20/dizi/default.htm>

GreenMetric. (2017). Overall Rankings 2017 [online]. (10 August 2018), <http://greenmetric.ui.ac.id/overall-ranking-2017/>

Güçyeter, B. (2010). A Method on Energy-Efficient Retrofitting for Existing Building Envelopes. Ph.D Thesis, *The Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology*, İzmir.

Hamidabad, D. (2015). Enerji Etkin Tasarım Anlayışının Yüksek Yapılarda İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı*, İzmir.

Han, Y., Zhou, X. and Luo, R. (2015). Analysis on Campus Energy Consumption and Energy Saving Measures in Cold Region of China. *Procedia Engineering*, 121, 801 – 808.

Haywood, M. (2017). Top Marks for Sustainability: 5 Universities in the LEED [online]. (19 December 2018), <http://insights.encompassonsite.com/universities-in-the-lead>

Hong, W.H., Kim J.Y., Lee, C.M. and Jeon, G.Y. (2011). Energy Consumption and the Power Saving Potential of a University in Korea: Using a Field Survey. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 10(2), 445-452.

Hough, M.H. (2010). The Campus Green: Trampled by the Wheels of LEED?. *The Chronicle of Higher Education*, 16.

IPCC. (2014). Buildings. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 671-738.

International Energy Agency. (2018). The Importance of Energy Efficiency in the Buildings Sector [online]. (18 January 2019), <https://www.youtube.com/watch?v=MEpXJPZnNbc>

International Energy Agency. (2017). Buildings [online]. (29 December 2018), <https://www.iea.org/buildings/>

International Energy Agency ve United Nations Development Programme. (2015). Bina Enerji Mevzuatının Modernleştirilmesi [çevrimiçi]. (31 Aralık 2018), <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/PolicyPathwaysModernisingBuildingEnergyCodesTurkishversion.pdf>

Işın, A. (2016). Konut ve Yerleşmelerin Ön Tasarımında Enerji Etkinliğine İlişkin Bir Model Önerisi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı*, İstanbul.

Judkoff, R. and Neymark, J. (1995). International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method. United States.

Kadiroğlu, E. (2011). Türkiye’de Enerji Etkin Yapı Üretimi İçin Tasarım Kriterleri. Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı*, Trabzon.

Kaplan, D. (2015). Renewable Energy Turkey [online]. (12 December 2018), <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2015/10/Renewable%20Energy%20Turkey.pdf>

Karagöl, E.T. ve Kavaz, İ. (2017). Dünyada ve Türkiye’de Yenilebilir Enerji. *Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı*, (197).

Keskin, T. (2012). Yapı Kabuğunda Enerji Etkin İyileştirmeye Yönelik Güneş Isı Kazanç Faktörü ve Hava Sızdırmazlık Parametrelerinin İncelenmesi Edirne Örneği. Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne.

Kılıçlı, A. (2012). Binalarda Enerji Verimliliği : UBE Binası Örneği. Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı*, İzmir.

Kim, D.W., Jung, J.W., Seok, H.T. and Yang, J.H. (2010). Survey and Analysis of Energy Consumption in University Campuses. (eds: S. Shin and J.Y. Sohn), *International Conference on Sustainable Building Asia*, Korea.

Kim, J.J. and Rigdon, B. (1998). Sustainable Architecture Module: Introduction to Sustainable Design. *National Pollution Prevention Center for Higher Education*, University of Michigan, USA, 5-8.

Krishnan, A. and Koshy, L. (2016). A Case Study On The Green Campus Initiatives With Special Reference To MACFAST. *National Seminar on “Social Science Research: Design, Data Mining and Statistical Modelling*.

Kundakçı, Ö. (2013). Binalarda Toplam Enerji Harcamalarının ve CO₂ Salım Miktarlarının Azaltılması Amacıyla Bir Toplu Konut Örneğinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı*, İstanbul.

Li, B. (2017). Use of Building Energy Simulation Software in Early-Stage of Design Process. MSc Thesis, *KTH Royal Institute of Technology*, Stockholm, İsveç.

Lombard, L.P., Ortiz, J. and Pout, C. (2008). A Review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40, 394-398.

Ma, Y.T., Lu, M.Y. and Weng, J.T. (2015). Energy Consumption Status and Characteristics Analysis of University Campus Buildings. *5th International Conference on Civil Engineering and Transportation*, China.

Maçka-Kalfa, S. (2018). Yeşil Bina Derecelendirme Sistemleri. *Yalıtım*, (166), 48.

Makine Mühendisleri Odası. (2017). Türkiye Enerji Görünümü Eylül 2017 [çevrimiçi]. (31 Ekim 2018), <https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TURKIYE%20ENERJ%20C4%B0%20G%C3%96R%20C3%96N%20C3%96M%20C3%96EYL%202017%20%281%29.pdf>

Masoso, O.T. and Grobler, L.J. (2010). The dark side of occupants' behaviour on building energy use. *Energy and Buildings*, 42, 173-177.

Mathson, T. and Ivanovich, M. (2011). AMCA's Fan Efficiency Grades: Answers to Frequently Asked Questions. *AMCA International İnmotion*, 8-12.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2019). Resmi İstatistikler [çevrimiçi]. (10 Şubat 2019), <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BALIKESIR>

Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2016). 2015 yılı iklim değerlendirmesi [çevrimiçi]. (22 Aralık 2018), <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2015-iklim-raporu.pdf>

Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2012). Türkiye 2011 yılı iklim değerlendirmesi [çevrimiçi]. (21 Aralık 2018), <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/2011-yili-iklim-degerlendirmesi.pdf>

Mickelson, G. (2009). Campus gets first LEED “green building” certification [online]. (06 May 2009), <https://news.ucsc.edu/2009/05/2926.html>

Murdock, A. (2018). Sustainability wins for UC, California in 2017 [online]. (23 April 2018), <https://www.universityofcalifornia.edu/news/sustainability-wins-uc-california-2017>

Mytafides, C.K., Dimoudi, A. and Zoras, S. (2017). Transformation of a university building into a zero energy building in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 155, 98-114.

Namlı, A. (2015). Mevcut Konut Yapılarının Enerji Etkin İyileştirilmesi: Namlı Evi. Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Nguyen, B. and Altan, H. (2011). Comparative Review of Five Sustainable Rating Systems. (eds: P.Secondini, X.Wu, S.Tondelli, J.Wu and H.Xie), *2011 International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities*, Bologna, Italy, 376-386.

Onuncu Kalkınma Planı. (2013). *T.C. Resmi Gazete* (Sayı: 28699).

Oral, G.K. (2010). Güneş Enerjisi ve Yapı. *diyarch bülten*, 8-20.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı/ Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Balıkesir İlinin İklim Durumu [çevrimiçi]. (7 Kasım 2018), http://izmir.mgm.gov.tr/FILES/iklim/balikesir_iklim.pdf

Özçiftçi, S. (2010). Ekolojik Binalarda Enerjinin Etkin Kullanılmasının İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı*, İzmir.

Perera, F. (2018). Pollution from Fossil-Fuel Combustion is the Leading Environmental Threat to Global Pediatric Health and Equity: Solutions Exist. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(16), 1-17.

Persson, M., Roos, A. and Wall, M. (2006). Influence of window size on the energy balance of low energy houses. *Energy and Buildings*, 38, 181-188.

Pouya, S. and Pouya, S. (2017). Sustainable Landscaping in Istanbul Technical University. *International Forestry & Environment Symposium*, Trabzon.

Ramdani, N., Candau, Y., Dautin, S., Delille, S., Rahni, N. and Dalicieux, P. (1997). How to Improve Building Thermal Simulation Programs by Use of Spectral Analysis. *Energy and Buildings*, 25, 223-242.

SEAF. (2018). Regulatory Barriers and Enablers to Sustainable Energy Finance [online]. (4 January 2019), https://www.seaf-h2020.eu/wp-content/uploads/2018/06/SEAF_D1.7_V1.2-Final_wd.pdf

Šadauskienė, J., Paukštys, V., Šeduikytė, L. and Banionis, K. (2014). Impact of Air Tightness on the Evaluation of Building Energy Performance in Lithuania. *Energies*, 7, 4972-4987.

Sadeghifam, O. (2014). Mimarlıkta Sürdürülebilirlik ve Enerji Korunumu. Yüksek Lisans Tezi, *Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı*, İstanbul.

Santamouris, M., Kapsis, K., Korres, D., Livada, I., Pavlou, C. And Assimakopoulos, M.N. (2007). On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector. *Energy and Buildings*, 39, 893–905.

Satman, A. (2006). Dünyada Enerji Kaynakları. (eds: Atilla ve Hasret), *Türkiye’de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu*, Türkasya Stratejik Araştırmalar Merkezi (TASAM) Yayınları, İstanbul.

Selçuk, G. (2010). LEED Sertifikası Almaya Yönelik Yeni Bina ve Kapsamlı Yenileme Projelerinde Sözleşmelerin Biçimlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı*, İstanbul.

Serbest, S. (2014). Yerleşme Birimlerinin Enerji Korunumu Açısından Değerlendirilmesi: Halkalı Örneği. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı*, İstanbul.

Sev, A. (2009). *Sürdürülebilir Mimarlık*. İstanbul: YEM yayın.

Sousa, J. (2012). Energy Simulation Software for Buildings: Review and Comparison. In *Proceedings of the International Workshop on Information Technology for Energy Applications (IT4ENERGY 2012)*, Lisbon, Portugal.

Soysal, S. (2008). Konut Binalarında Tasarım Parametreleri ile Enerji Tüketimi İlişkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Sretenovic, A. (2013). Analysis of Energy Use at University Campus. MSc Thesis, *Norwegian University of Science and Technology*, Norwegian.

Şahin, C.D. (2013). Energy Efficient Retrofitting Of Historical Buildings: A Case Study On The Building of Basmane Semt Merkezi-İzmir. MSc Thesis, *The Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology*, İzmir.

Şahin, V. (1994). *Enerji Sektöründe Geleceğe Bakış*. İstanbul: TÜSİAD yayınları.

Şen, Z. (2002). *Enerji Kullanımının Tarihçesi*. İstanbul: Su Vakfı Yayınları.

T.C. Dışişleri Bakanlığı. (2016). Paris Antlaşması [çevrimiçi]. (31 Mayıs 2018), <http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>

TS 825. (2013). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*, Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.

Tereci, A. (2012). Energy Benchmarking Method For Urban Settlements. Ph.D Thesis, *The Graduate School Of Natural and Applied Sciences Of Middle East Technical University*, Ankara.

Türgay, T. (2014). Balıkesir Üniversitesi Hakkında Genel Bilgi [çevrimiçi]. (01 Şubat 2019), <http://netyuvam.com/universiteler/devlet-universiteleri/balikesir-univ/balikesir-universitesi-hakkinda-genel-bilgi-h42.html>

UN. (1998). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change [online]. (5 May 2018), <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

URL 1: Sustainability [online]. (15 September 2018), <https://www.wur.nl/en/About-Wageningen/Sustainability.htm>

URL 2: Recycling and waste management [online]. (21 October 2018), <https://www.nottingham.ac.uk/currentstudents/yourcommunity/recyclingandwastemanagement.aspx>

URL 3: Waste and recycling [online]. (13 November 2018), <https://www.nottingham.ac.uk/sustainability/waste/waste.aspx>

URL 4: Carbon and energy [online]. (14 December 2018), <https://www.nottingham.ac.uk/sustainability/carbonmanagement/carbonmanagement.aspx>

URL 5: University Park Landscape Management Plan: 2018-23 [online]. (23 January 2019), <https://www.nottingham.ac.uk/sustainability/documents/upmanagementplan.pdf>

URL 6: Campus Progress: Transportation [online]. (28 January 2019), <https://sustainability.ucdavis.edu/progress/transportation/index.html>

URL 7: Campus Progress: Water and Landscaping [online]. (10 February 2019), <https://sustainability.ucdavis.edu/progress/water/index.html>

URL 8: Üniversitemiz Hakkında [online]. (15 February 2019), http://www.balikesir.edu.tr/baun/genel_bilgiler

URL 9: Modeling Guidelines [online]. (20 February 2019), <https://www.comnet.org/22-thermal-blocks-hvac-zones-and-space-functions>

Ulukavak-Harputlugil, G. ve Kılınç, B. (2016). Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri [çevrimiçi], (4 Şubat 2019), <https://webdosya.csb.gov.tr/csb/dokumanlar/mhgm0005.pdf>

Uygun, İ. (2012). The impact of architectural design criteria on energy performance of residential buildings: A case study in İzmir. MSc Thesis, *the Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology*, İzmir.

Ürge-Vorsatz, D. (2014). Energy End-Use: Buildings [online]. (10 November 2018), https://www.researchgate.net/publication/262685455_Chapter_10_Energy_End-Use_Buildings

Veziroğlu, V. (2010). Enerji Etkin Yapı Tasarım Kriterleri, Sürdürülebilir Kaynakların Yapıda Kullanımı ve Mimari Örnekler. Yüksek Lisans Tezi, *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı*, İstanbul.

Viribright. (2019). Comparing LED vs CFL vs Incandescent Light Bulbs [online]. (16 March 2019), <https://www.viribright.com/lumen-output-comparing-led-vs-cfl-vs-incandescent-wattage/>

Vylegzhantina, D. (2017). Green Campus in Peter the Great Polytechnic University. MSc Thesis, *Lappeenranta University of Technology*, Finlandiya.

Yasan, A.S. (2011). Bina Tasarım Parametrelerinin Enerji Harcamalarına Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı*, İstanbul.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun. (2005). *T.C. Resmi Gazete* (Sayı: 5346).

Yılmaz, Z. (2017). Türkiye'nin Mevcut Enerji Durumu [çevrimiçi]. (9 Eylül 2018),
<http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/sunum2017/8.Bildiriler/T%C3%BCrkiye'nin%20Mevcut%20Enerji%20Durumu.pdf>

Yılmaz, Z. (2005). Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji. *VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 387- 398.

Yükseköğretim Kurulu. (2018). Yükseköğretim Bilgi Yönetim Sistemi [çevrimiçi]. (12 Ocak 2019), <https://istatistik.yok.gov.tr/>

Yükseköğretim Kurulu. (2015). Yükseköğretim Kurulu 2016-2020 Stratejik Planı, Ankara.

Zeren, L. ve diğ. (1987). Türkiye'de Yeni Yerleşmeler ve Binalarda Enerji Tasarrufu Amacıyla Bir Mevzuat Modeline İlişkin Çalışma, *Çevre ve Şehircilik Uygulama-Araştırma Merkezi*, İ.T.Ü, İstanbul.

Waddell, C. and Kaserekar, S. (2010). Solar Gain and Cooling Load Comparison Using Energy Modeling Software. *Fourth National Conference of IBPSA-USA*, New York.

Wageningen University & Research. (2017). *Annual Environmental Report 2016*, 6-7.

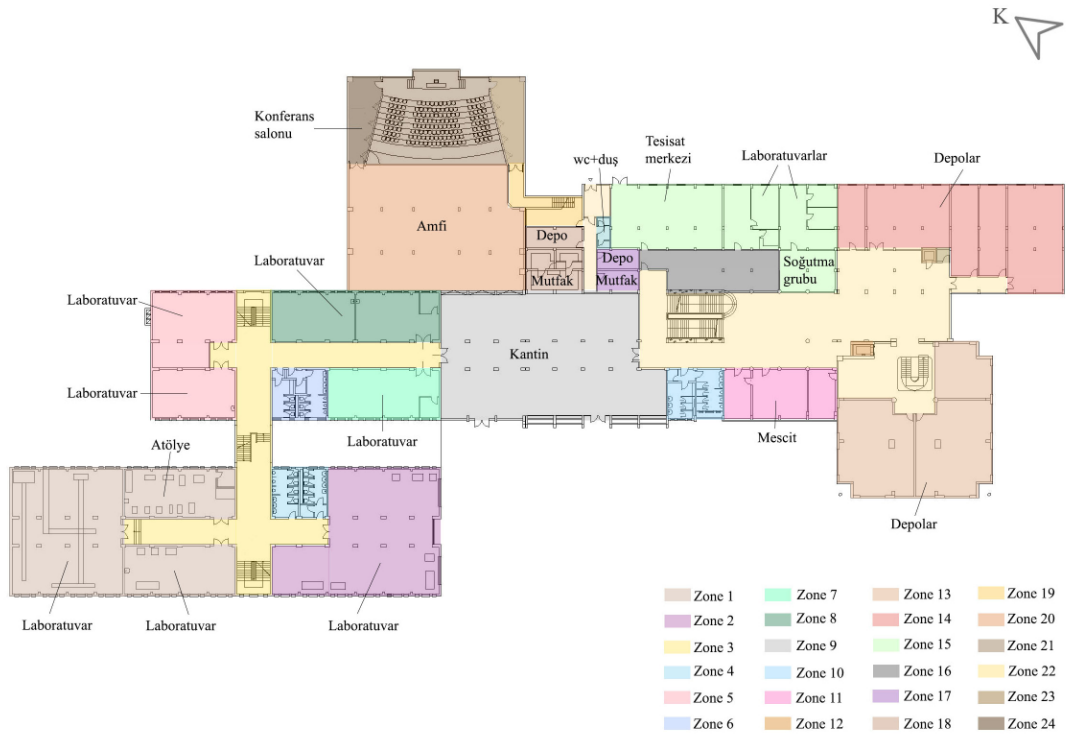
Ward, R., Choudhary, R., Heo, Y. and Rysanek, A. (2016). Exploring the Impact of Different Parameterisations of Occupant-Related Internal Loads in Building Energy Simulation. *Energy and Buildings*, 123, 92-105.

World Weather Online. (2019). Balıkesir Monthly Climate Averages [online]. (10 March 2019), <https://www.worldweatheronline.com/balikesir-weather-averages/balikesir/tr.aspx>

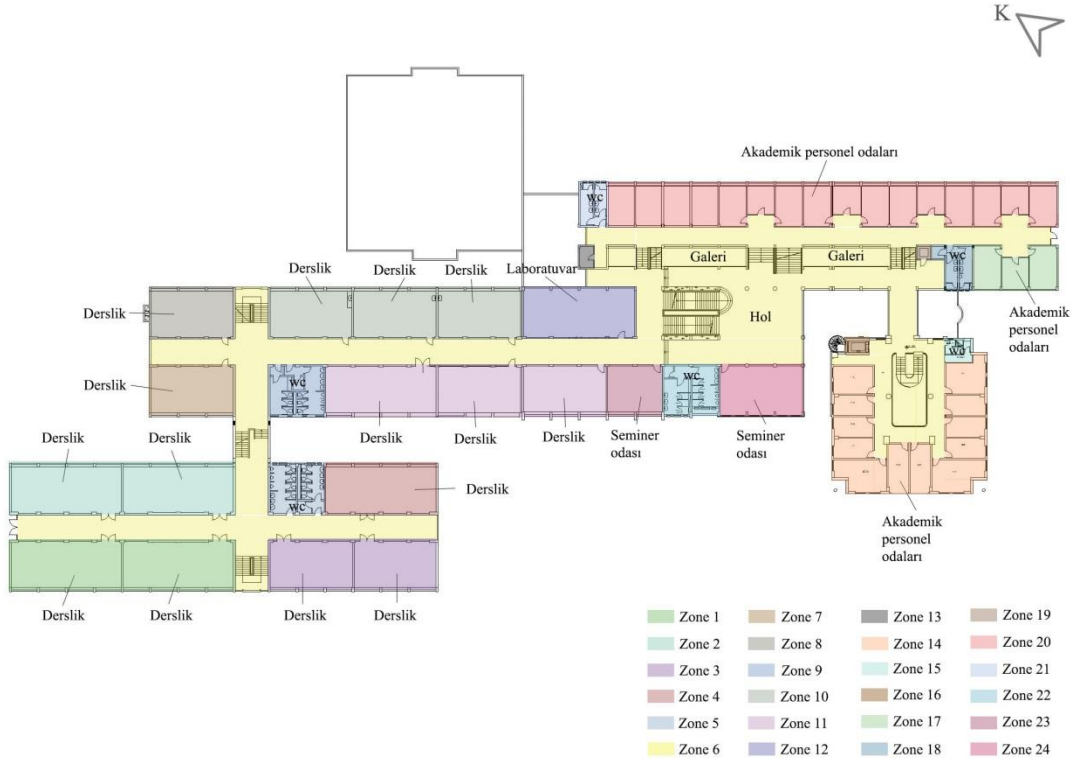
EKLER

7. EKLER

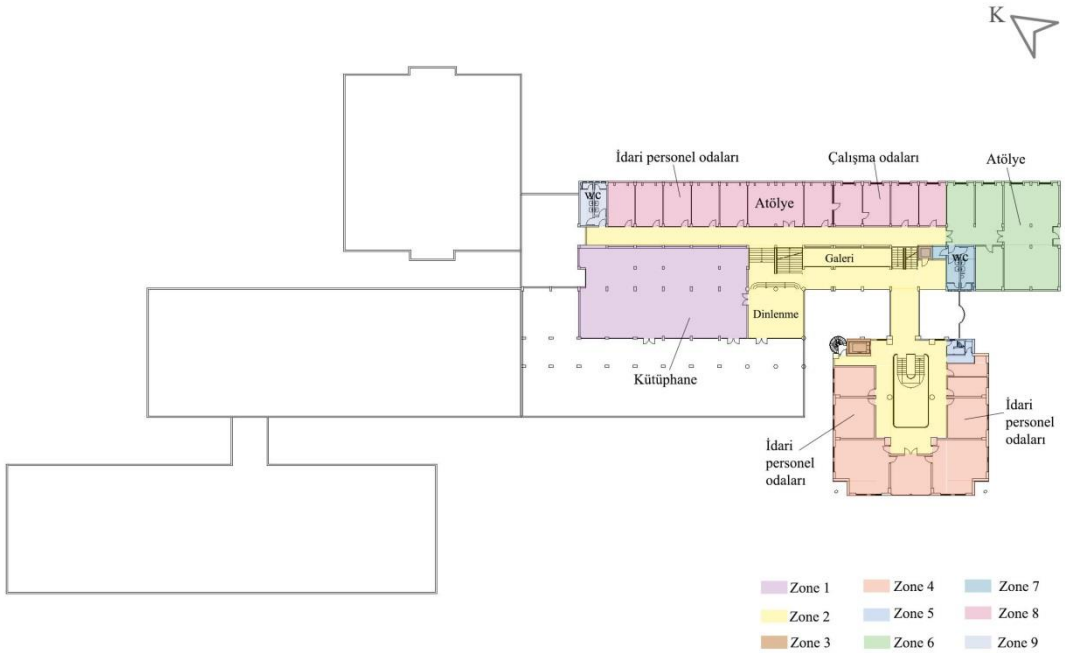
EK A Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Binası Kat Planları ve Isıl Bölgelemeler



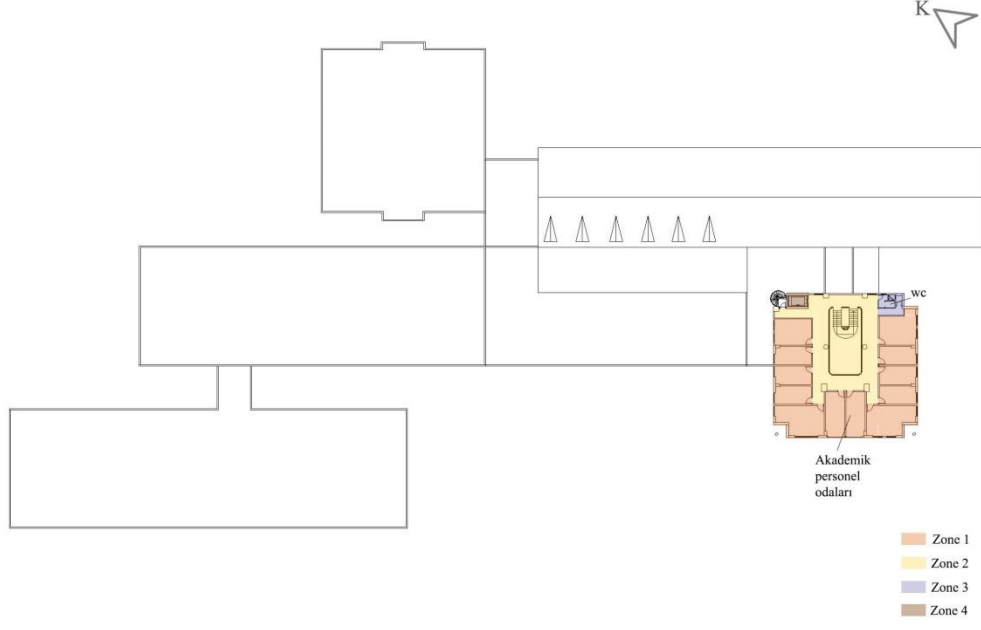
Şekil A.1: M.M.F binası bodrum kat planı ve ısıl bölgeleme.



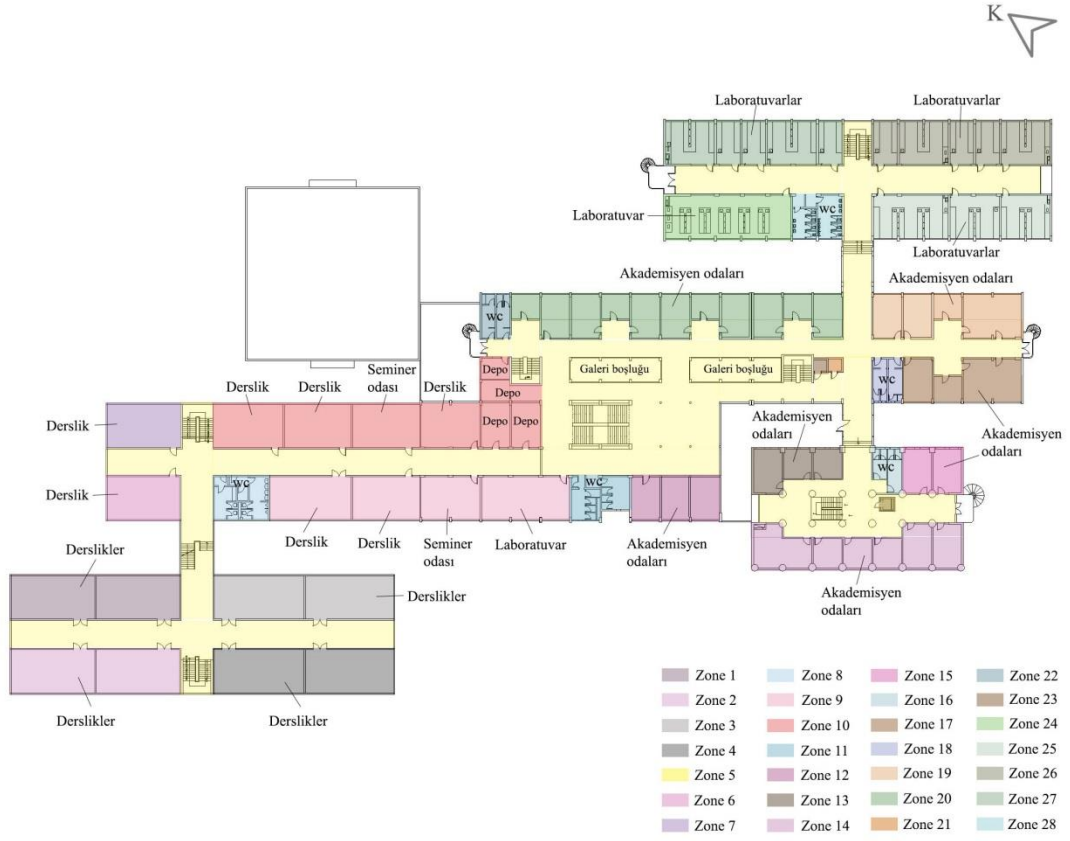
Şekil A.2: M.M.F binası 1. ve 2. katları planı ve ısı bölgeleme.



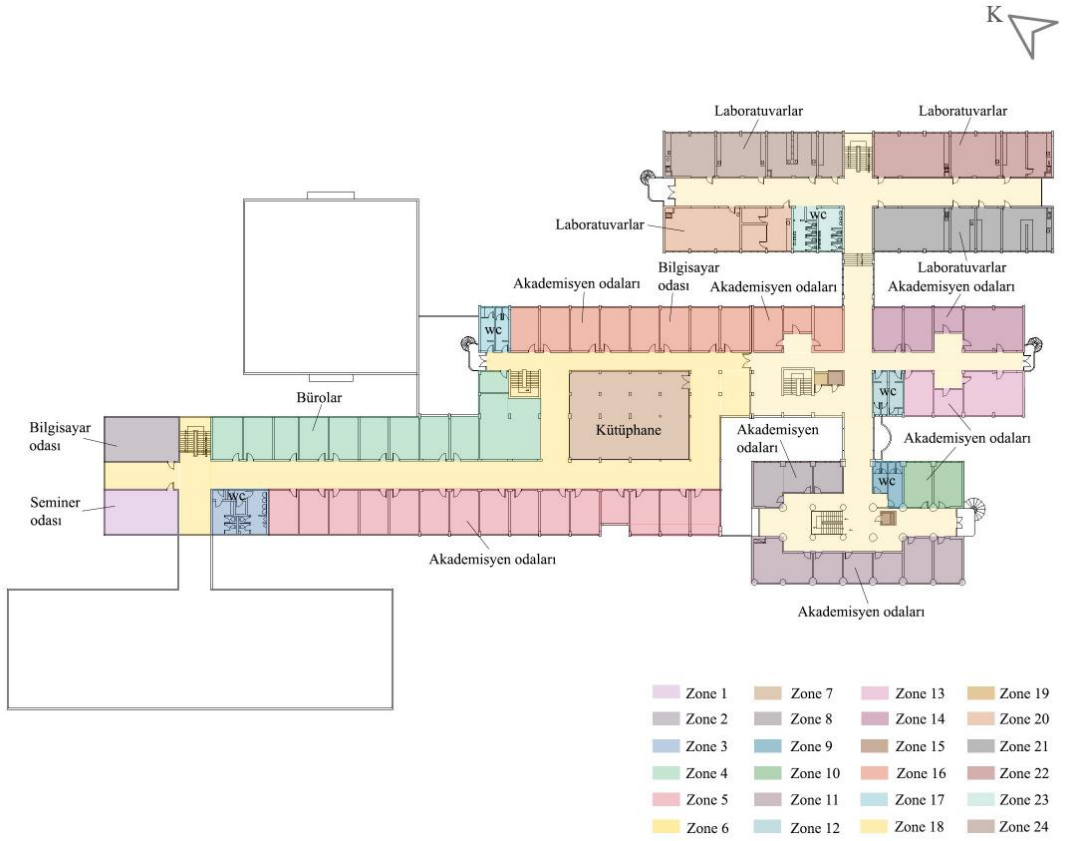
Şekil A.3: M.M.F binası 3. kat planı ve ısı bölgeleme.



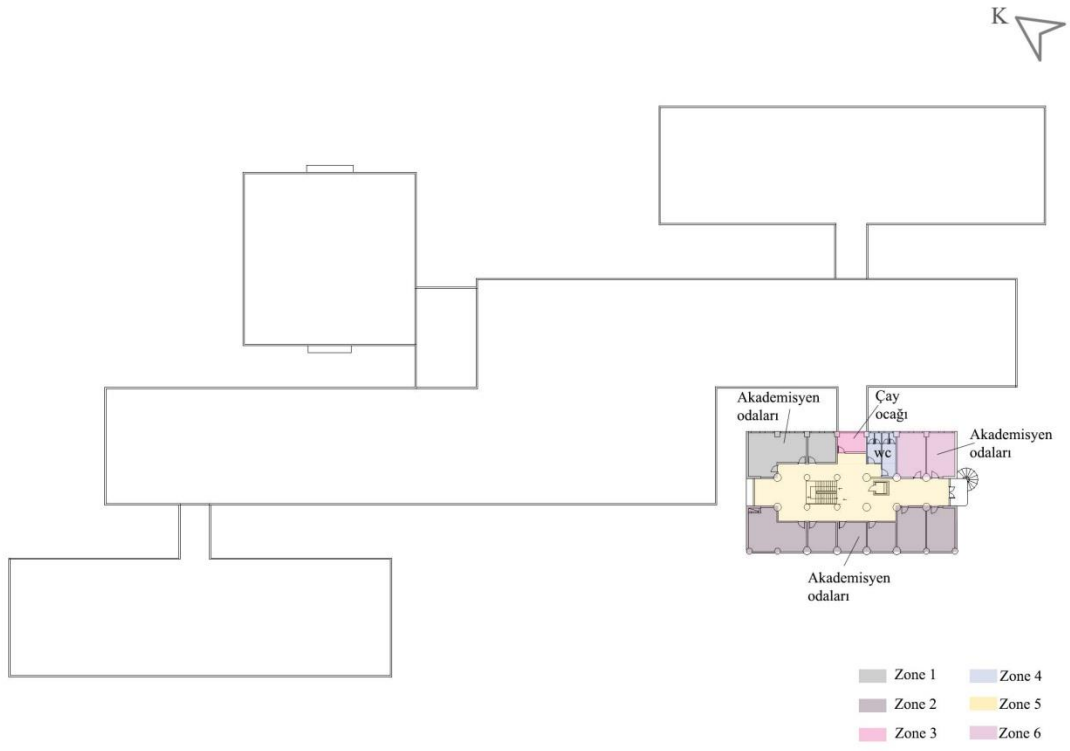
Şekil A.4: M.M.F binası 4.,5.,6. ve 7. katlar planı ve ısı bölgeleme.



Şekil B.2: F.E.F binası 1.,2. ve 3. katlar planı ve ısıl bölgeleme.

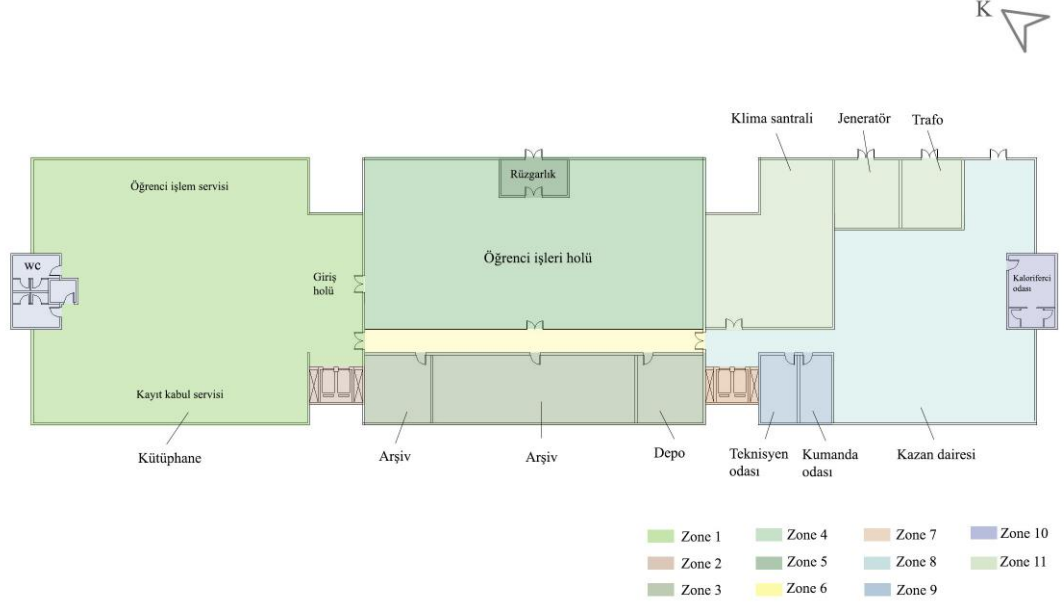


Şekil B.3: F.E.F binası 4.kat planı ve ısıl bölgeleme

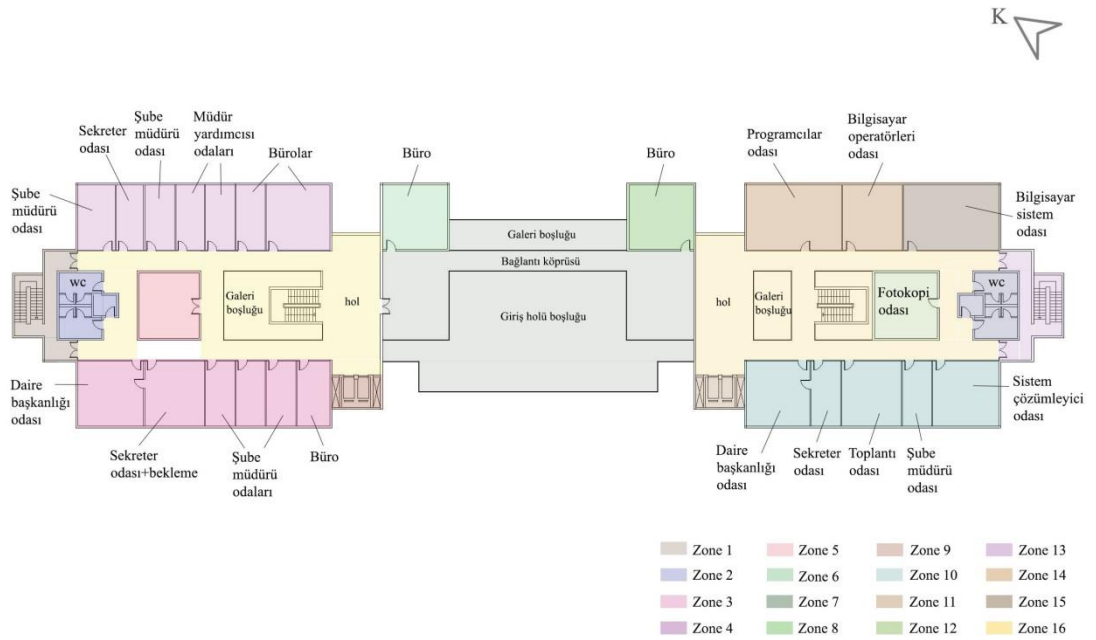


Şekil B.4: F.E.F binası 5. ve 6. katlar planı ve ısıl bölgeleme.

Ek C Rektörlük Binası Kat Planları ve Isıl Bölgelemeler



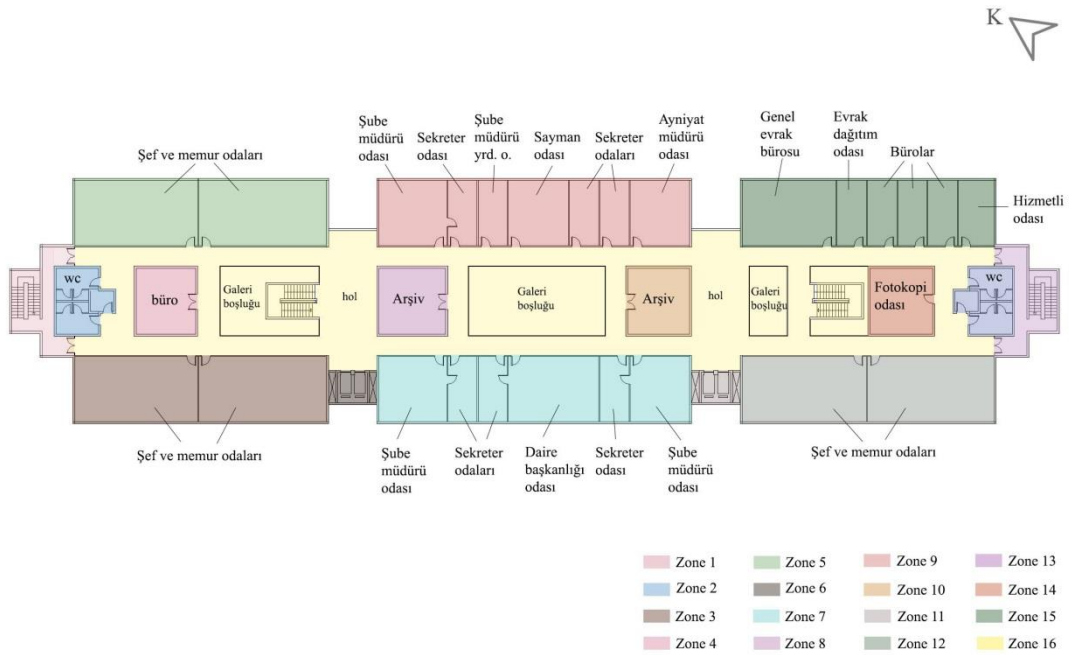
Şekil C.1: Rektörlük binası bodrum kat planı ve ısıl bölgeleme.



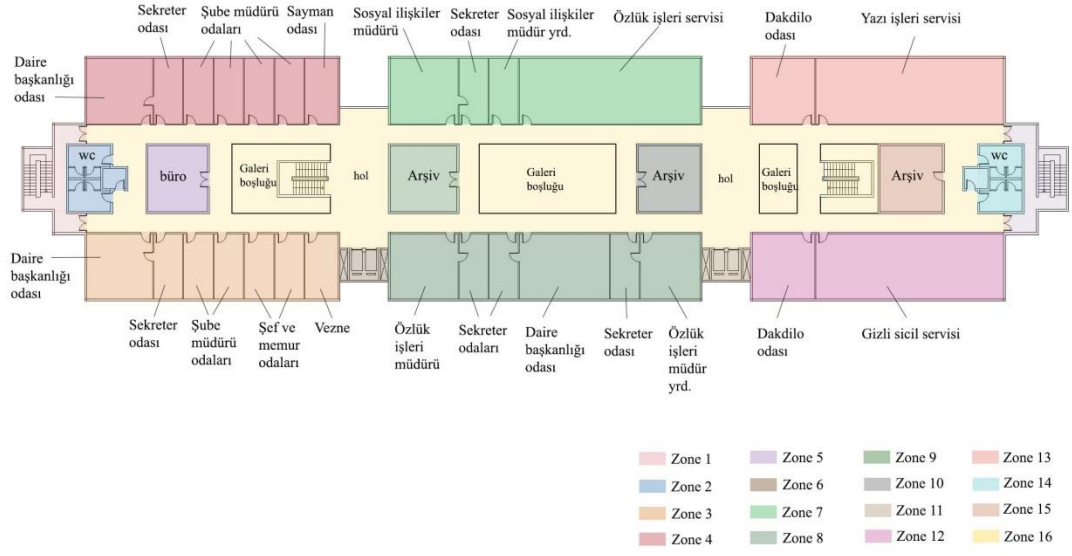
Şekil C.2: Rektörlük binası 1. kat planı ve ısıl bölgeleme.



Şekil C.3: Rektörlük binası 2. kat planı ve ısıl bölgeleme.



Şekil C.4: Rektörlük binası 3.kat planı ve ısıl bölgeleme.

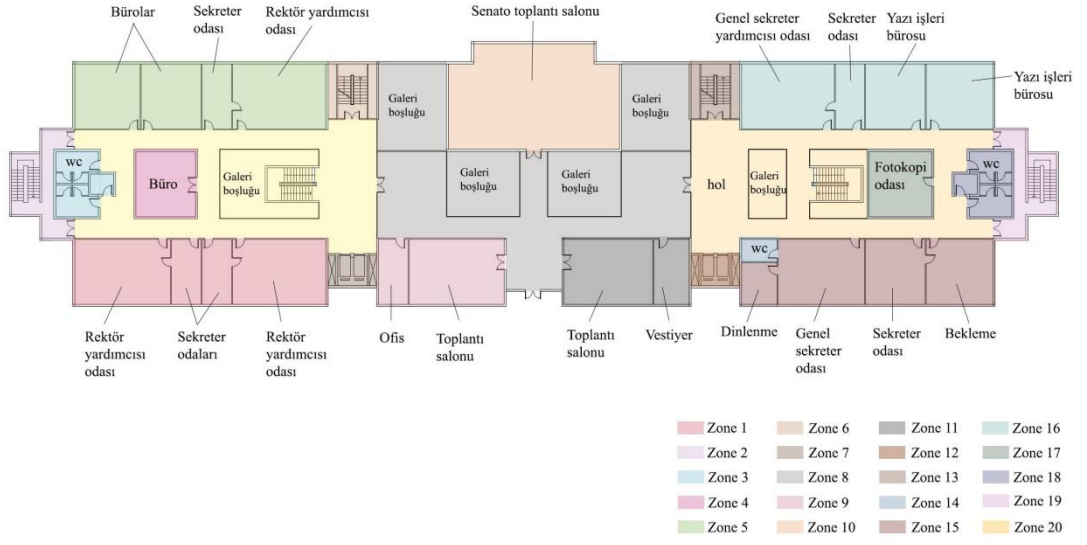


Şekil C.5: Rektörlük binası 4.kat planı ve ısı bölgeleme.



Şekil C.6: Rektörlük binası 5.kat planı ve ısı bölgeleme.

K

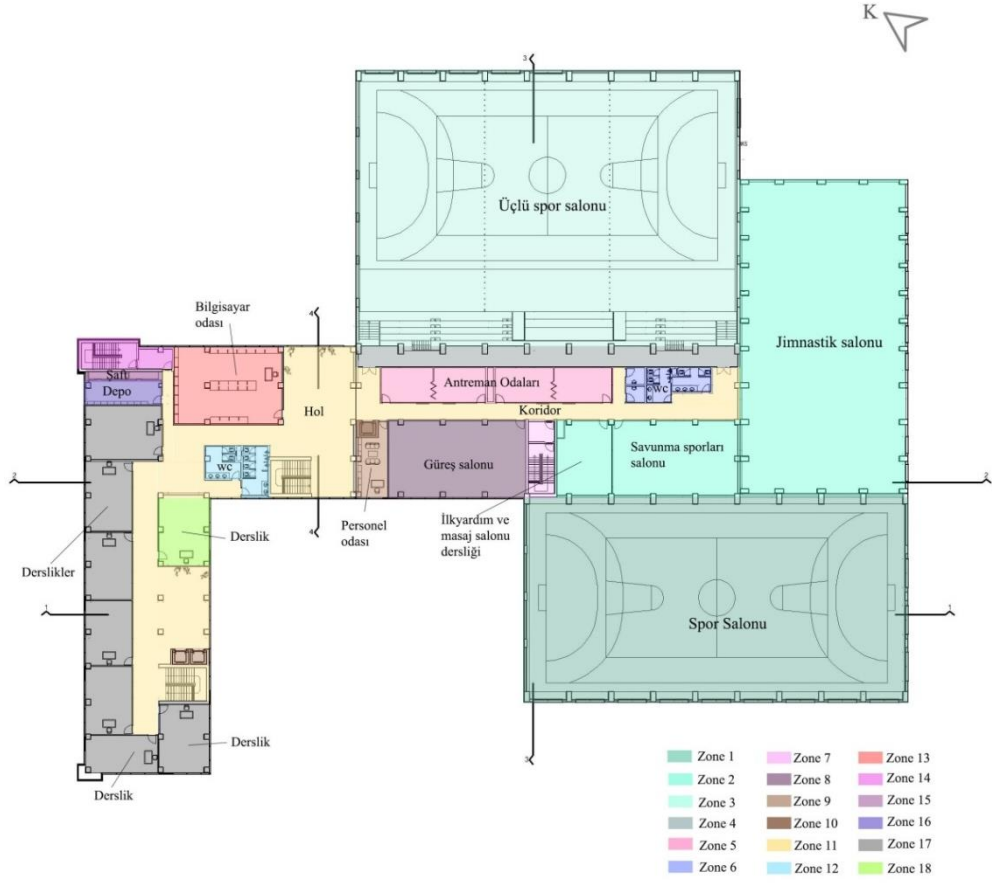


Şekil C.7: Rektörlük binası 6.kat planı ve ısıl bölgeleme.

Ek D Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu Binası Kat Planları ve Isıl Bölgelemeler



Şekil D.1: B.E.S.Y.O binası bodrum kat planı ve ısıl bölgeleme.



Şekil D.2: B.E.S.Y.O binası 1.kat planı ve ısıl bölgeleme.



Şekil D.3: B.E.S.Y.O binası 2.kat planı ve ısıl bölgeleme.