



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü



**TARİHİ BİNALARDA OPTİMUM MALİYET  
ANALİZİNE GÖRE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN  
HESAPLANMASI: İZMİR ÖRNEĞİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

Osman Cem YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Adı

İzmir  
2019

T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü

**TARİHİ BİNALARDA OPTİMUM MALİYET  
ANALİZİNE GÖRE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN  
HESAPLANMASI: İZMİR ÖRNEĞİ**

Osman Cem YILMAZ

Danışmanlar: Prof. Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA

Doç. Dr. Yusuf YILDIZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Adı

İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir  
2019

Osman Cem YILMAZ tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan ‘‘Tarihi Binalarda Optimum Maliyet Analizine Göre Enerji Verimliliğinin Hesaplanması: İzmir rneęi’’ başlıklı bu alışma E Lisansüstü Eğitim ve ęretim Yönetmeliği ile E Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve ęretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 09.09.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri yeleri:**

**Jüri Bařkanı**

**:Prof.Dr. Ali GÜNGÖR...**

**İmza**

.....

**Raportör ye**

**:Prof.Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA.....**

**ye**

**:Doç.Dr. Yusuf YILDIZ...**

.....

**ye**

**:Dr. Öęr. Üyesi Selim BARADAN .....**

**ye**

**:Dr. Öęr. Üyesi Tülay IVICI .....**

.....



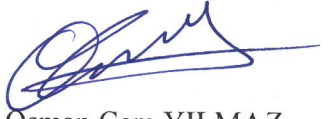


## EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

### ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Tarihi Binalarda Optimum Maliyet Analizine Göre Enerji Verimliliğinin Hesaplanması: İzmir Örneği” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

08 / 10 / 2019



Osman Cem YILMAZ

**ÖZET****TARİHİ BİNALARDA OPTİMUM MALİYET ANALİZİNE GÖRE  
ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN HESAPLANMASI: İZMİR ÖRNEĞİ**

YILMAZ, Osman Cem

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanları: Prof. Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA

Doç. Dr. Yusuf YILDIZ

Ağustos 2019, 102 sayfa

Enerji verimliliği kavramının önemi son yıllarda artmış olup ülkelerin kalkınma hedeflerinde yerini almıştır. Binaların toplam enerji tüketiminde yüksek bir paya sahip olması enerji performanslarının iyileştirilmesi konusunu gerek çevresel gerekse ekonomik açıdan gerekli kılmaktadır.

Avrupa Birliği'nin binalarda enerji performansını arttırmaya yönelik hedeflerini gerçekleştirmek adına 2002 yılında yayınladığı Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EC, 2002) bu konudaki yasal sınırlamaları ve hesap yöntemini içermektedir. Sonrasında yapılan revizyonlar (EC, 2010, 2018) ile optimum maliyetli enerji seviyesi kavramı ortaya konmuş ve metodolojinin uygulanmasına yönelik kılavuz düzenleme yayınlamıştır (EC, 2012a; 201b).

Binalarda enerji verimliliğini arttırmaya yönelik adımlar öncelikle yeni binalara odaklanmış olsa da mevcut binalar önemini her daimi korumuştur. Bilindiği üzere mevcut bina stoku içinde tarihi binaların da karbon nötr bina hedeflerinin gerçekleştirilmesi adına enerji verimliliğinin artırılması ve iyileştirme çalışmalarında yer almaları önemlidir. Bu tez çalışmasında sıcak-nemli iklim bölgesinde bulunan tarihi bir binada alınan enerji etkin iyileştirme önlemleri ile yenileme çalışmalarında optimum maliyetli enerji seviyesinin tespiti amaçlanmıştır.

Alan çalışmasının yapıldığı tarihi bina örneğinde belirlenen enerji etkin önlemler ile oluşturulan senaryoların enerji tüketim değerleri ve küresel maliyet hesaplamaları yapılarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bina enerji tüketim

değerlerinin belirlenmesinde DesignBuilder enerji simülasyonu programı kullanılmıştır. Çalışmada hesaplama periyotları 10, 20 ve 30 yıl olarak alınmış ve iskonto oranındaki değişikliklerin sonuçlara olan etkisi de değerlendirilmiştir. Optimum maliyetli enerji seviyesinin belirlenmesinde hesaplamalar AB konseyi tarafından yayınlanan düzenlemeye uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

İstatistiksel verilere dayanarak belirlenen elektrik fiyatı, enflasyon oranı ve banka faiz oranı ile 30 yıllık hesaplama periyodu için yapılan hesaplamalar sonucunda yapı kabuğu (ısı yalıtım, pencereler), aydınlatma ve mekanik sistemlerde alınan enerji etkin önlemler ve fotovoltaiik (PV) panel uygulamasının sonucunda optimum maliyetli enerji seviyesi elde edilmiştir. Enerji ve maliyet etkinlik açısından en verimli sonucu veren önlemler aydınlatma sisteminde yapılan iyileştirmeler ve PV panel uygulaması olarak belirlenmiştir. Ancak verimin en düşük düzeyde olduğu sonuç çatı ve bodrum kat tavanına ısı yalıtımı uygulanmasında tespit edilmiştir. Ele alınan duvar yalıtım kalınlıkları 3 cm ile 6 cm arasında değişmekte olup enerji etkinliği açısından 6 cm yalıtım kalınlığı en iyi sonucu vermekle birlikte maliyet etkinliği açısından bakıldığında 5 cm yalıtım kalınlığı ile optimum sonuca ulaşılmıştır. Pencerelerde alınan önlemler ısı yalıtım önlemlerine göre maliyet ve enerji etkinliği açısından daha verimli olmak ile birlikte ikincil bir doğramanın içten eklenmesi, düşük güneş ısı kazanç katsayılı camların kullanılmasına göre daha etkili sonuçlar vermiştir.

Hesaplama periyodu, iskonto oranı ve enerji fiyat artış oranında yapılan duyarlılık analizleri ile yatırım maliyetlerinin optimum maliyetli enerji seviyesi hesaplarında etkileri ortaya konmuştur. Hesaplama periyodu kısaltıldıkça küresel maliyetler ve enerji kazançlarının küresel maliyetlere olan etkisi azalmıştır. İskonto oranında yapılan duyarlılık analizleri ile iskonto oranı artışının küresel maliyetler üzerindeki azaltıcı etkisi olduğu görülmüştür. Enerji fiyat artış oranının azalması da küresel maliyetler üzerindeki azaltıcı etkiyi göstermektedir. Yıllık maliyetlerin azalmasına sebep veren ekonomik parametrelerin değişimleri ilk yatırım maliyeti yüksek olan senaryoların maliyet etkinliğini düşürmektedir.

**Anahtar sözcükler:** Optimum maliyetli enerji seviyesi, Bina enerji simülasyonu, Enerji etkin iyileştirme

## ABSTRACT

### **CALCULATION OF ENERGY EFFICIENCY ACCORDING TO OPTIMUM COST ANALYSIS IN HISTORICAL BUILDINGS: IZMIR CASE**

YILMAZ, Osman Cem

MSc in Civil Eng.

Supervisors: Prof. Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA

Assoc. Dr. Yusuf YILDIZ

August 2019, 102 pages

The importance of the concept of energy efficiency has increased in recent years and has taken its place in the development goals of the countries. The fact that buildings have a high share in total energy consumption makes it necessary to improve energy performance both in environmental and economic terms.

The Energy Performance of Buildings Directive (EC, 2002), which was published by the European Union in 2002 in order to achieve the objectives of increasing energy performance in buildings, contains legal limitations and calculation method. Subsequent revisions (EC, 2010, 2018) have introduced the concept of an optimal cost-effective energy level and published guidelines for the implementation of the methodology (EC, 2012a; 201b).

Although the steps to increase energy efficiency in buildings have focused primarily on new buildings, existing buildings have always maintained their importance. As it is known, it is important that historical buildings are included in the existing building stock in order to increase energy efficiency and improvement works in order to achieve carbon neutral building targets. In this thesis, energy efficient improvement measures taken in a historical building located in hot-humid climate zone are aimed to determine optimum cost energy level in energy retrofitting works.

Energy consumption values and global cost calculations of scenarios created by energy efficient measures determined in the historical building example where the field study was conducted were compared with each other. In the study, calculation periods are taken as 10, 20 and 30 years and the effect of the changes in the discount rate on the results is also evaluated. In determining the optimum cost energy level, the calculations were carried out in accordance with the regulation published by the EU council.

Electricity cost, inflation rate and bank interest rate determined based on statistical data, and as a result of calculations made for a 30-year calculation period, energy efficient measures taken in building envelope (heating insulation, windows), lighting and mechanical systems and photovoltaic (PV) panel application resulted in optimum cost-effective energy level was obtained. The most efficient measures in terms of energy and cost effectiveness were identified as improvements to the lighting system and the application of PV panels. However, the lowest level of efficiency was found in the application of thermal insulation to the roof of the roof and basement. The insulation thicknesses of the wall vary between 3 cm and 6 cm and 6 cm insulation thickness gives the best result in terms of energy efficiency, but in terms of cost effectiveness, 5 cm insulation thickness has reached the optimum result. The measures taken in the windows are more efficient in terms of cost and energy efficiency than the thermal insulation measures and the addition of a secondary joinery internally gave more effective results than the use of glasses with low solar heat gain coefficients.

The effects of investment costs on optimum cost energy level calculations were determined by sensitivity analysis performed at calculation period, discount rate and energy price increase rate. The shorter the calculation period, the less the impact of global costs and energy gains on global costs. Sensitivity analysis of discount rate has shown that the increase in discount rate has a decreasing effect on global costs. Decreasing energy price increase rate also shows a decreasing effect on global costs. Changes in economic parameters that lead to a reduction in annual costs reduce the cost effectiveness of scenarios with high initial investment costs.

**Keywords:** Cost-optimal levels of minimum energy performance requirements, Building energy simulation, Energy efficient retrofitting.

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, İzmir İlinde bulunan tarihi bir binanın mevcut durumu ve belirlenen enerji etkin iyileştirme önlemlerinin uygulanması ile oluşturulan senaryoları DesignBuilder enerji simülasyonu ile modellenerek enerji tüketim değerleri belirlenmiş ve küresel maliyetleri hesaplanmıştır.

Binanın mevcut durumu, kullanım/işletim bilgileri ve projeye ilişkin detayları toplanarak DesignBuilder programı ile modeli hazırlanmıştır. Enerji simülasyonu sonucunda çıkan veriler binadan alınan veriler (saatlik iç ortam sıcaklıkları ve aylık enerji tüketimi değerleri) ile karşılaştırılarak modelin kalibrasyonu yapılmıştır.

Alınan enerji verimliliği önlemlerinin yatırım maliyetleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2018 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları'nda bulunan pozlardan hesaplanmıştır. Ancak birim fiyatları kapsamında bulunmayan pozlar için hesaplamalarda piyasadaki alınan fiyatlar kullanılmıştır. Küresel maliyet hesaplamalarına etki eden enerji fiyatları, enflasyon oranları ve faiz oranları istatistik verilere dayanılarak belirlenmiştir.

Enerji verimliliği önlemleri ile oluşturulan farklı senaryoların enerji tüketim değerleri ve küresel maliyet hesaplamaları karşılaştırılarak çalışma yapılan tarihi bina için optimum maliyetli enerji seviyesi belirlenmiştir.

İZMİR

08 / 10 / 2019

Osman Cem YILMAZ

**İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK .....	..ii
KABUL ONAY SAYFASI .....	..iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	..v
ÖZET .....	..vi
ABSTRACT .....	..viii
ÖNSÖZ .....	..x
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	..xi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	..xv
TABLolar DİZİNİ.....	..xx
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	..xxii
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Tezin Önemi .....	1
1.3 Tezin Kapsamı .....	2
2.BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSINA YÖNELİK GELİŞMELER.....	4
2.1 Binalarda Enerji Performansını Önemi .....	4

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
2.2 Binalarda Enerji Performansına İlişkin Yasal Düzenlemeler.....	6
2.2.1 Avrupa'da yasal düzenlemeler .....	6
2.2.2 Türkiye'de yasal düzenlemeler.....	9
2.3 Binalarda Enerji Performansının Hesaplanması.....	12
2.4 Binalarda Enerji Performansına İlişkin Çalışmalar .....	19
3.OPTİMUM MALİYETLİ ENERJİ PERFORMANSI HESAPLANMASI ....	23
3.1 Referans Binanın Belirlenmesi .....	23
3.2 Enerji Etkin Önlemlerin Tanımlanması.....	25
3.3 Birincil Enerji Tüketimlerinin Hesaplanması.....	27
3.4 Küresel Maliyet Hesaplanması .....	28
3.4.1 Proje ve finansal verilerin toplanması .....	29
3.4.2 İşletme maliyetleri .....	30
3.4.3 Küresel maliyet.....	32
3.5 Duyarlılık Analizinin Yapılması.....	34
3.6 Optimum Maliyetli Enerji Seviyesinin Belirlenmesi .....	34



**İÇİNDEKİLER (devam)**Sayfa

4.TARİHİ BİNA ÖRNEĞİNDE OPTİMUM MALİYETLİ ENERJİ ETKİN İYİLEŞTİRME .....	36
4.1 Konum ve İklimsel Özellikleri .....	36
4.2 Binaya İlişkin Veriler .....	37
4.2.1 Binanın mimari özellikleri .....	39
4.2.2 Bina tesisat sistemi .....	47
4.2.3 Bina kullanım/işletim sistemi .....	49
4.3 Enerji Etkin İyileştirme Önlemleri .....	51
4.3.1 Önerilen yenileme senaryolarının tanımlanması .....	52
4.3.2 Kullanılan simülasyon programının doğrulanması (BES-TEST).....	52
4.3.3 Mevcut durum birincil enerji tüketimlerinin hesaplanması.....	53
4.3.4 Bina enerji simülasyonunun kalibrasyonu.....	55
4.3.5 Senaryolara göre bina enerji simülasyonu.....	57
4.4 Küresel Maliyetin Hesaplanması.....	67
4.5 Duyarlılık Analizinin Yapılması.....	68
5.BULGULAR VE KARŞILAŞTIRMA.....	69
6.SONUÇLAR.....	91

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	94
TEŞEKKÜR .....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	100



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1	Bina ve hizmetler sektörü elektrik tüketiminin yıllar itibariyle değişimi.5
3.1	Hesaplama periyodu sürecinde bina elemanının yaşam ömrünün gelişimi.....31
3.2	Hesaplama periyodu sürecinde yenilenen bina elemanının kalan değerinin gelişimi.....32
3.3	Örnek küresel maliyet-birincil enerji tüketimleri grafiği .....35
4.1	İzmir İli istatistik verileri.....36
4.2	İzmir İli ortalama yıllık güneş radyasyon verileri .....37
4.3	İzmir İli aylık ortalama güneş radyasyon verileri.....37
4.4	Binanın Google Earth programı üzerinden lokasyonu .....38
4.5	Binanın restorasyon aşamalarından fotoğrafları ve dış cephe görünümü.....39
4.6	Binanın DesignBuilder programında hazırlanan 3D modeli .....40
4.7	Bodrum kat planı .....41
4.8	Zemin kat planı.....42
4.9	Ara kat planı .....43
4.10	Üst kat planı.....44
4.11	Örnek bina doğu cephesi .....45

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.12 Örnek bina batı cephesi .....	45
4.13 Örnek bina güney cephesi.....	45
4.14 Yapı kabuğunda alınan önlemlerden oluşan senaryolar belirlenirken izlenen adımlar.....	52
4.15 Bestest senaryolarının yıllık ısıtma enerjisi tüketim değerleri .....	53
4.16 Bestest senaryolarının yıllık soğutma enerjisi tüketim değerleri.....	53
4.17 Mevcut durum son kullanıcı tüketim değerlerinin dağılımı .....	54
4.18 Mevcut durum birincil enerji tüketim değerlerinin dağılımı.....	54
4.19 Veri kaydediciye (Onset Hobo UX100-003) ait fotoğraf.....	55
4.20 Z05 sofa alanında bulunan veri kaydedici konumuna ait fotoğraf.....	56
4.21 105 sofa alanı hesaplanan ve ölçülen sıcaklık değerleri.....	57
4.22 Simülasyon sonucu hesaplanan enerji tüketimleri ile fatura değerlerinin karşılaştırılması .....	57
4.23 Yapı kabuğunda alınan önlemlere ait senaryoların son kullanıcı tüketim değerleri a) D0 kombinasyonları b) D1 kombinasyonları c) D2 kombinasyonları.....	60
4.24 Yapı kabuğunda alınan önlemlere ait senaryoların son kullanıcı tüketim değerleri a) D3 kombinasyonları b) D4 kombinasyonları .....	61

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.25	Aydınlatma sisteminde alınan önlemin eklendiği senaryolara ait son kullanıcı tüketim değerleri .....62
4.26	3 borulu VRV sisteminin (M1) eklendiği senaryolara ait son kullanıcı tüketim değerleri .....62
4.27	Hava kaynaklı ısı pompası sisteminin (M2) eklendiği senaryolara ait son kullanıcı tüketim değerleri .....63
4.28	PV panel sisteminin eklendiği senaryolara ait son kullanıcı tüketim değerleri .....64
4.29	LED aydınlatma (A) ve 3 borulu VRV sisteminin (M1) eklendiği senaryolara ait son kullanıcı tüketim değerleri. ....64
4.30	Aydınlatma sistemi, iklimlendirme sistemi ve yenilenebilir için belirlenen önlemlerin eklendiği senaryolara ait son kullanıcı tüketim değerleri a) A+M2 kombinasyonları b) A+PV kombinasyonları c) A+M1+PV kombinasyonları.....65
4.31	Aydınlatma sistemi, iklimlendirme sistemi ve yenilenebilir enerji eldesi için belirlenen önlemlerin eklendiği senaryolara ait son kullanıcı tüketim değerleri a) A+M2+PV kombinasyonları b) M1+PV kombinasyonları c) M2+PV kombinasyonları.....66
5.1	Yapı kabuğunda alınan önlemlere ait (Duvar + Çatı + Bodrum yalıtımları) birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri.....71
5.2	Yapı kabuğunda alınan önlemlere ait (Duvar + Çatı + Bodrum yalıtımları ve düşük güneş ısı kazanç katsayılı camlar) birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri.....72

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.3	Yapı kabuğunda alınan önlemlere ait (Duvar + Çatı + Bodrum yalıtımları ve ikincil pencere uygulaması) birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri. ....73
5.4	Yapı kabuğunda alınan önlemler ile oluşturulan senaryolar ve mevcut durum birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri. ....74
5.5	Yapı kabuğunda alınan önlemlere aydınlatma sisteminde belirlenen önlemin eklenmesi durumunda birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler. ....76
5.6	Yapı kabuğunda alınan önlemlere 3 borulu VRV sisteminin (M1) eklenmesi durumunda birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler.77
5.7	Yapı kabuğunda alınan önlemlere hava kaynaklı ısı pompasının (M2) eklenmesi durumunda birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler.78
5.8	Yapı kabuğunda alınan önlemlere PV panel sisteminin eklenmesi durumunda birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler.....79
5.9	Yapı kabuğunda alınan önlemlere aydınlatma sistemi ve iklimlendirme sistemi için belirlenen önlemlerin eklendiği senaryolara ait birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler a) A+M1 kombinasyonları b) A+M2 kombinasyonları.....80
5.10	Yapı kabuğunda alınan önlemlere aydınlatma sistemi, iklimlendirme sistemi ve yenilenebilir enerji eldesi için belirlenen önlemlerin eklendiği senaryolara ait birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler a) A+PV kombinasyonları b) A+M1+PV kombinasyonları. ....81

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.11	Yapı kabuğunda alınan önlemlere aydınlatma sistemi, iklimlendirme sistemi ve yenilenebilir enerji eldesi için belirlenen önlemlerin eklendiği senaryolara ait birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler a) A+M2+PV kombinasyonları b) M1+PV kombinasyonları.....82
5.12	Yapı kabuğunda alınan önlemlere 3 borulu VRV sistemi (M2) ve PV panel sisteminin eklendiği senaryolara ait birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler.....83
5.13	Mevcut durum ve 365 senaryoya ait birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri. ....84
5.14	20 yıllık hesaplama periyodu için birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler. ....85
5.15	10 yıllık hesaplama periyodu için birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler. ....86
5.16	Enerji fiyat artışı oranı %7.0 olması durumunda iskonto oranının duyarlılık analizi. ....87
5.17	İskonto oranı %4.0 olması durumunda enerji fiyat artışı oranının duyarlılık analizi. ....88
5.18	Farklı enerji fiyat artış oranları ve iskonto oranları için duyarlılık analizi. ....90

**TABLolar DİZİNİ**

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Bestest nitelik testlerine ait açıklamalar .....	16
2.2 Kalibrasyon değerlendirme testlerine ait sınır değerler.....	19
4.1 Yapı elemanlarının bileşenleri ve fiziksel özellikleri .....	46
4.2 Pencere özellikleri .....	47
4.3 Isıtma ve soğutma iç ünitelerinin bulunduğu alanlar.....	47
4.4 Aydınlatma ekipmanları .....	48
4.5 Alanların kullanım bilgileri .....	49
4.6 Tarihi binada uygulanabilecek enerji etkin iyileştirme önerileri listesi..	51
4.7 Veri kaydedici cihaza ait teknik özellikler .....	55
4.8 8760 saatlik sıcaklık değerlerine göre ölçüm yapılan alanlardaki MBE ve RMSE değerleri .....	56
4.9 Duvar yalıtımı önlemlerinin değişen pencere önlemlerine göre enerji tüketimlerinin azaltılmasındaki yüzde katkı. ....	58
4.10 Düşük güneş ısı kazanç katsayılı camların (P1) enerji tüketimlerine olan etkilerinin yalıtım kalınlığına göre değişimi. ....	58
4.11 İkincil pencere uygulamasının (P2) enerji tüketimlerine olan etkilerinin yalıtım kalınlığına göre değişimi. ....	59
4.12 Bileşenlere ait yaşam ömrü ve yıllık bakım maliyeti değerleri .....	67



**TABLolar DİZİNİ (devam)**

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 Duvar yalıtımı önlemlerinin değişen pencere önlemlerine göre toplam enerji tüketimi ve küresel maliyetlere olan katkısı. ....	69
5.2 Düşük güneş ısı kazanç katsayılı camların (P1) farklı yalıtım kalınlıklarına göre toplam enerji tüketimi ve küresel maliyetlere olan katkısı. ....	70
5.3 İkincil pencere uygulamasını (P2) farklı yalıtım kalınlıklarına göre toplam enerji tüketimi ve küresel maliyetlere olan katkısı .....	70

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
K	Kelvin
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
SGHC	Güneş enerjisi kazanç katsayısı
U	Isı geçirgenlik katsayısı
V <sub>t</sub>	Işık geçirgenlik katsayısı
W	Watt
λ	Isıl iletkenlik hesap değeri

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
BEP-TR	Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi
BPIE	Avrupa Bina Performans Enstitüsü
CAD	Bilgisayar destekli tasarım
CEN	Avrupa Standartlar Komitesi
ÇŞB	TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
EC	Avrupa Konseyi
EKB	Enerji Kimlik Belgesi

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
EPBD	Binalarda Enerji Performansı Direktifi
ETKB	TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EVK	Enerji Verimliliği Kanunu
EVO	Verimlilik Değerleme Organizasyonu
FEMP	Federal Enerji Yönetimi Programı
IEA	Ulusal Enerji Ajansı
IPMVP	Uluslararası Performans Ölçümü ve Doğrulama Protokolü
MBE	Ortalama sistem hatası
MTEP	Milyon ton petrol eşdeğeri
RMSE	Ortalama hata kareleri kökü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

# 1.GİRİŞ

## 1.1 Tezin Amacı

Enerji eldesinde dışa bağımlı olan ülkeler açısından gerek yeni inşa edilen gerekse mevcut binalarda enerji verimliliğinin sağlanması, ülkelerin enerji politikalarında ekonomi ve güvenlik açısından önem arz eden konulardan biridir. Dolayısı ile enerji tüketiminde yaklaşık % 40, CO<sub>2</sub> emisyonunun % 36'sından sorumlu olan binalarda kullanıcı konforu dikkate alınarak, enerji ve maliyet etkin iyileştirmeler ile enerji verimliliğinin artırılması gerekmektedir. Tarihi binalar mimari, tarihi, estetik, arkeolojik ve diğer önem ve özellikleri bakımından korunması gereken taşınmaz kültür ve tabiat varlıkları olarak değerlendirilirler (Kültür ve Tabiat Varlıkları Koruma Kanunu, 2014). TC Kültür ve Turizm Bakanlığı 2018 yılı sonu istatistiklerine göre Türkiye genelinde 108813 tescilli taşınmaz kültür varlıkları bulunmaktadır. Bu taşınmaz kültür varlıklarının 100189 adeti yapı formundadır (TC Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2019). Taşıdığı kültürel değerler açısından korunmasının gerekliliği yanında mevcut enerji sorununun yaşandığı yapı stokunda önemli bir paya sahip tarihi binaların da enerji etkin iyileştirilme kapsamında ele alınması kaçınılmazdır. Bu çalışmada alan çalışması olarak seçilen tarihi bir bina örneğinde toplanan veriler aracılığı ile mevcut durum ve geliştirilen enerji etkin iyileştirme senaryoları modellenmiş ve elde edilen sonuçlar enerji tüketimi ve maliyet etkinliği açısından karşılaştırılmıştır.

Tarihi bir bina örneği üzerinde iyileştirme senaryoları belirlenirken binanın formu, görünümü ve karakterini bozmamaya ve geleneksel bina yapım tekniklerine uyumlu olunmasına dikkat edilmiştir. Geleneksel yapım yöntemlerine göre şekillenmiş olan yapı elemanlarının özelliklerine uygun olan malzemelerin seçimi yapısal sorunların yaşanmaması adına önemlidir.

## 1.2 Tezin Önemi

Binalarda enerji verimliliğinin artırılması için Avrupa Konseyi tarafından çalışmalar 1993 yılında başlamıştır. AB üyesi ve uyum çalışmaları içerisindeki ülkelerde binalarda enerji performansının artırılmasına yönelik yasal düzenlemeler yapılmakta ve sürekli güncellenmektedir. Bu yasal düzenlemeler ile ülkelerin kendi hesap metotları, enerji sertifikalandırma metotları, enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları ile ilgili sınır değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Revize Binalarda Enerji Performansı Direktifi ile yaklaşık sıfır enerjili bina kavramı ve optimum maliyetli enerji performansı analizleri çalışmalara katılmıştır. Türkiye'de, AB uyum çalışmaları paralelinde ilk adım olarak 2007 yılında Enerji Verimliliği Kanunu yayınlamış ve sonrasında 2008 yılında Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Bep-TR ulusal enerji performansı değerlendirme programının uygulaması ile 2011 yılından bu yana yeni binalar için Enerji Kimlik Belgesi (EKB) zorunlu kılınmıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015-2019

Stratejik Planı ve 2017-2023 Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı içinde binalarda enerji verimliliği üzerine belirlenen hedefler ve bu hedeflere ulaşmak için uygulanacak ve izlenecek adımlar yer almaktadır (ETKB, 2017).

Türkiye’de ve dünyada bina stokunun önemli bir kısmı enerji verimliliğine yönelik yasa ve yönetmeliklerin yürürlüğe girmesinden önce tamamlanmıştır. Dolayısı ile mevcut binalar ülkelerin uzun dönem enerji verimliliği politikalarının gerçekleşmesi adına önem arz eden ve çözülmesi gereken bir sorundur; çünkü tüm mevcut binaların yıkılarak yerine enerji performansı yüksek binalar inşa edilmesi gerek korunması zorunlu tarihi binalar olması gerekse ekonomik ve ekolojik açıdan uygun olarak değerlendirilmemektedir. Bilindiği üzere mevcut binaların EKB’ye sahip olması zorunluluğu Türkiye’de 2020 yılına ertelenmiştir. Burada amaç binaların enerji tüketimindeki payının ortaya çıkarılmasıdır. Mevcut binaların enerji etkin önlemler ile enerji performanslarının artırılması sonucunda ülkeler enerji ve çevresel bağlamda hedeflerine ulaşmakta önemli bir adım atacaktadırlar. Ayrıca kullanıcı açısından iç mekan konfor koşullarının iyileşmesine katkı sağlayacak ve işletim giderleri de azalacaktır.

Tarihi binalar geçmiş döneme ve geleneksel yapım yöntemlerine ait bilgi aktaran belge niteliğinde olup buldukları bölgelerin sosyal, kültürel ve ticari anlamda değerini koruyan ve yükselten yapılardır. Tarihi binalar, enerji verimliliği ile ilgili atılan adımlardan belirli koşullar altında muaf tutulmamakla birlikte ülkemizde yapılan çalışma sayısının az olması ile dikkat çekmektedir. Bu nedenle binalarda enerji verimliliğinin sağlanması konusunda tarihi yapıların önemli bir potansiyel oluşturduğu görülmektedir. Enerji etkin iyileştirme konusunda tarihi binalara yapılacak uygulamalar kısıtlıdır. Ancak binaların korunması ve gelecek kuşaklara aktarılabilmesi için birtakım iyileştirmelerin yapılması da kaçınılmazdır. Dolayısı ile enerji etkin iyileştirme çalışmalarında yatırım, işletme ve bakım maliyetlerinin karşılaştırılarak en uygun sonuca ulaşılması, maliyet optimizasyonun sağlanması gerekir. Tarihi yapıların korunması sırasında enerji tüketiminin maliyet etkin iyileştirmeler ile azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynakları ile desteklenmesi hem ekonomik hem de çevresel açıdan kazanç sağlayacaktır.

### **1.3 Tezin Kapsamı**

Bu tez kapsamında tarihi bir bina deneysel alan çalışması olarak seçilmiştir. İzmir-Konak İlçesi’nde yer alan Tarihsel Çevre ve Kültür Varlıkları Şube Müdürlüğüne bağlı İzmir Tarih Proje Merkezi binasında iç/dış ortam sıcaklık ve nem verileri çalışma sahasından elde edilmiştir. Mevcut bina DesignBuilder enerji simülasyon programında modellenerek yıllık enerji performansı değerlendirmesi ortaya konmuştur. Simülasyon sonuçları ve sahadan elde edilen veriler kullanılarak modelin doğrulanması yapılmıştır. DesignBuilder enerji simülasyonu programı ile

önerilen çeşitli iyileştirme senaryoları modellenerek tüm önerilerin sonuçları enerji verimliliği ve maliyet etkinlik açısından karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Birinci bölümde, tez çalışmasının amacı, önemi ve kapsamının anlatıldığı giriş bölümü yer almaktadır.

İkinci bölümde binaların enerji tüketimindeki payı, binalarda enerji etkinliği kavram ve önemi, binalarda enerji etkinliğinin sağlanmasına yönelik Avrupa'da ve Türkiye'de atılan adımlar incelenmektedir. Bina enerji performansında kullanılan hesap metotları, bina enerji simülasyonu programları ve simülasyon programlarının doğrulanması ve kalibrasyonu hakkında bilgi verilmektedir.

Üçüncü bölümde optimum maliyetli enerji performansının hesaplanabilmesi için Avrupa Konseyi tarafından oluşturulan hesaplama metodolojisinin adımları incelenmektedir.

Dördüncü bölümde deneysel çalışmanın yapıldığı bina hakkında iklimsel, yapısal ve işletim bilgileri verilmektedir. Alan çalışması yapılan binanın enerji etkin iyileştirilmesi konusunda alınacak önlemler belirlenerek çeşitli senaryolar oluşturulmuştur. Binanın mevcut durumu için enerji tüketimlerinin hesaplanması ve modelin doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra tüm senaryolar için birincil enerji tüketimleri, küresel maliyetleri hesaplanmakta ve duyarlılık analizi gerçekleştirilmektedir.

Beşinci bölümde mevcut durum ve oluşturulan senaryoların birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri karşılaştırılmaktadır. En uygun maliyetli enerji performansı gereklilikleri belirlenmekte ve senaryoların sonuçları analiz edilmektedir.

Son bölüm olan altıncı bölümde, tez çalışmasının sonuçları verilmekte ve gelecek çalışmalara ilişkin öneriler sunulmaktadır.

## 2.BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSINA YÖNELİK GELİŞMELER

### 2.1 Binalarda Enerji Performansının Önemi

Temel olarak iş yapabilme gücü olarak tanımlanan enerji, yaşamın sürdürülmesi için kaçınılmaz bir gerekliliktir. Binalar enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Fosil yakıt tüketimine dayalı olarak yaşanan çevresel kirlilik yanı sıra enerji eldesinde yaşanan sorunlar, enerjiyi tüm dünya ülkelerinin gündeminde tutmaktadır. Dolayısı ile enerji kaynaklarının verimli bir şekilde değerlendirilmesinin gerekliliği, kaynak çeşitliliğinin artırılması ve güneş, rüzgar, biyokütle gibi doğaya zarar veren emisyonları olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması kaçınılmazdır.

Türkiye’de artan nüfus ile birlikte sanayileşme ve kentleşme gibi unsurlar enerji tüketiminin hızla yükselmesine neden olmaktadır. Enerji tüketiminin yükselmesine karşılık enerjinin etkin kullanımına yönelik gerekli önlemlerin alınmaması enerji kayıpları ve ithalat artışına neden olarak ekonomiye, artan gaz salımları ile de çevreye zarar vermektedir. Türkiye’de birincil enerji tüketimi 2015 yılında 2005 yılına göre %46 oranında artış göstererek 129,7 MTEP olarak gerçekleşmiştir. 2015 yılında tüketilen bu enerjinin %75,9’u ithal enerji kaynaklarından sağlanmıştır (ETKB, 2017).

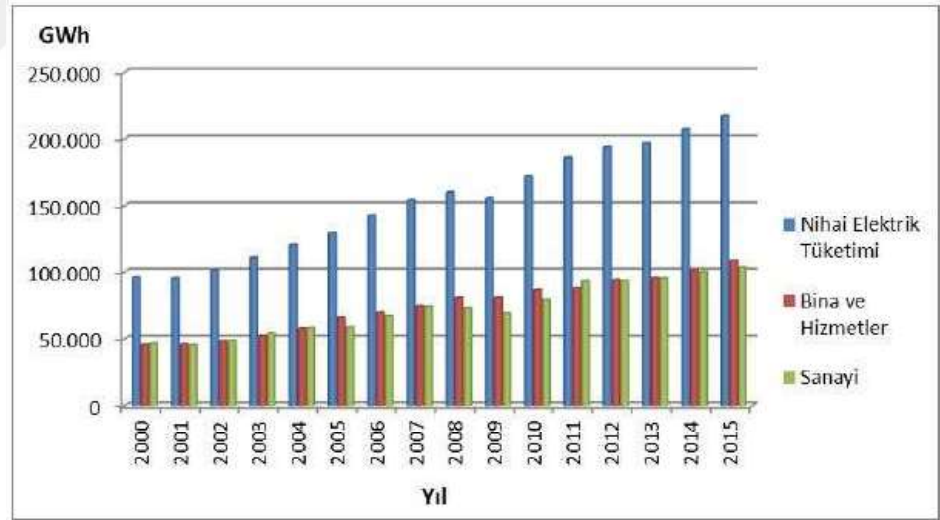
Bilindiği üzere insanlar zamanlarının büyük bir kısmını binalarda geçirmektedir ve bu binalar toplam enerji tüketiminde %40’lık bir paya sahiptir. Dolayısı ile binalarda enerji etkinliğini önemli bir sorun haline getiren tüketim miktarları bina yapım, işletim ve bakım süreçlerini kapsamaktadır (Daniels and Hammann, 2009; Ganiç’ten, 2012). Binalarda enerji etkinliğinin sağlanması ile tüketim miktarının önemli oranda azaltılması mümkündür. Harputlugil (2009) binalarda yapay ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma ihtiyaçlarının toplam bina enerji tüketiminin %40-%70 arasındaki bir bölümünü kapsadığını ve enerji etkin önlemler ile ısıtma ve soğutma enerjisinde yaklaşık %60, aydınlatma enerjisinde %50 enerji kazancı elde edilebileceğini belirtmektedir (Turgut, 2010).

Enerji tüketimi artışında önemli bir paya sahip olan bina sektöründe önlem alınması kaçınılmaz olmaktadır. Bu yüzden D’haseleer (2003) günümüz mühendislik ve mimarlık disiplinleri içerisinde binalarda enerji tüketimlerinin azaltılması, yenilenebilir enerji sistemlerinin bina tasarımı ve sistemlere entegrasyonu, bina kabuğuna yönelik enerji etkin önlemler ile bina ısıtma ve soğutma enerji yüklerinin sınırlandırılması, iç ortamlar için en uygun gün ışığı aydınlatılmasının sağlanması ve binalarda doğal havalandırmanın kolaylaştırılması konularını kapsayan araştırma alanlarının daha detaylı incelendiği ve değerlendirildiği belirtmektedir (Güçyeter, 2010).

Binalarda enerji etkinliği kullanıcı konforundan ödün vermeden kayıpların azaltılması ve enerji kazançları ile enerji tüketim maliyetlerinin düşürülmesiyle sağlanabilmektedir. Kullanıcı sağlığı ve verimliliğinde etkili olan konfor koşulları için binalarda ısıtma, soğutma, sıcak su, havalandırma ve aydınlatma gibi sistemler önemli miktarlarda enerji tüketmektedir. Bu sistemler üzerinde yapılacak analizler ile binanın enerji etkinliğine katkısı karşılaştırılarak iyileştirmelerin yatırım maliyetlerinin uygunluğu değerlendirilebilmektedir (Topal, 2009). Sıcaklık, nem ve aydınlık seviyelerinin standartlarla belirlenen sınır değerlerinin altına inmeden gerekli iyileştirme çalışmalarının yapılması modelleme ve ölçüm çalışmaları ile analiz edilebilmektedir (Ganiç, 2012).

Mevcut binalarda enerji etkinliğinin sağlanması ile inşaat sektörünün kullandığı enerji miktarının %35-40 ve CO<sub>2</sub> salımının %45 azaltılması (Tıkr, 2009) sonucunda iklim değişikliğine karşı çevreye duyarlı yapılar elde edilebilecektir.

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'na (2017) göre bina ve hizmetler sektörü 2000 yılında nihai elektrik tüketiminin %47,4'ü oluşturmakta iken 2015 yılında bu değer %49,9'a çıkarak sanayi sektörünün önüne geçmiştir. Bu dönem içinde toplam enerji tüketimi artış oranı %135 olup, yıllık ortalama talep artış oranı ise %9 olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.1- Bina ve hizmetler sektörü elektrik tüketiminin yıllar itibariyle değişimi (ETKB, 2017).

Türkiye'de, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2017 yılı verilerine göre 9,1 milyon adet bina bulunmakta ve konut nitelikli binalar bu miktarın %87'sine karşılık gelmektedir. Türkiye'nin hızla büyüyen ve hali hazırda geniş bir bina stoku bulunmakla birlikte yapı kullanma izni verilerine göre her yıl 100.000'den fazla yeni bina bu stoka katılmaktadır (ETKB, 2017). Yapılarda enerji verimliliğinin sağlanması küresel ölçekte tasarruf sağlayacağı ve çevresel problemlerin önüne geçilmesinde önemli bir rol alacağı açıktır. Özellikle mevcut yapı stokunun önemli



bir payını oluşturan tarihi binaların enerji performansının geliştirilmesi, kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılırken çevreye ve ekonomiye olan zararının azaltılması açısından önem verilmesi gereken bir konudur.

## **2.2 Binalarda Enerji Performansına İlişkin Yasal Düzenlemeler**

Enerji ve çevre sorunlarının aşılmasında binalarda tüketilen enerjinin azaltılmasının önemi dünyanın birçok ülkesinde anlaşılmış, yeni yapıların ve mevcut yapıların enerji performansının ve iç ortam konfor koşullarının geliştirilmesi, enerji tüketim değerlerinin ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması ve yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımının artırılmasına yönelik çalışmaların yürütülmesinde sınırları belirleyen standartlar ve yönetmelikler hazırlanmıştır.

### **2.2.1 Avrupa'da yasal düzenlemeler**

1992 yılında Rio De Janeiro kentinde yapılan Dünya Zirvesinde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kabul edilmiş ve 1994 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu sözleşmenin taahhütlerini kapsamında bulunduran Kyoto Protokolü'nde taraf olan ülkeler sera gazı emisyonlarını ulusal seviyede 1990 yılı seviyesine indirmeyi ve geliştirmekte olan ülkelere de bu yolda teknolojik ve maddi desteklerde bulunmayı kabul etmişlerdir (Öztürk, 2014).

Kyoto protokolü 1990 yılı toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarının en az %55'ine sahip olan Ek-1 taraflarının protokolü onaylamasından sonra yürürlüğe girebilmekteydi. Bu yüzden Rusya Federasyonu'nun 18 Kasım 2004 tarihinde onaylaması sonrasında imzaya açılmasından sekiz yıl sonrasında 16 Şubat 2005 tarihinden itibaren protokol fiilen yürürlüğe girmiştir (ETKB, 2019).

Kyoto protokolü sera gazı emisyonlarının azaltılması ve küresel ısınmaya karşı alınması gereken önlemleri içeren gönüllülük esasına bağlı hükümlere sahiptir. Protokolün imzalanması sonrasında takip edilen ilerlemeler sonucunda daha bağlayıcı hükümlere sahip ve özellikle başta gelişmiş ülkeler dahil olmak üzere daha çok ülkenin dahil olduğu bir anlaşmaya ihtiyaç bulunmaktaydı. Paris Zirvesi sonucunda tarihteki en geniş katılıma sahip Birleşmiş Milletler üyesi 195+2 devletin imzacı olarak katıldığı Paris Anlaşması 12 Aralık 2015 tarihinde imzalanmıştır. Küresel ortalama sıcaklık değerinin sanayi devrimi öncesi değerden 2 derece daha fazla yükselmemesi, 1,5 derece altına düşürülmesi hedefi ve 2020 yılından itibaren gelişmiş ülkelerin küresel ısınma ile mücadele için 92 milyar Euro katkı sağlayacak olması anlaşmanın önemli yükümlülükleridir.

Kyoto protokolünün daha somut hükümler ile netleştirilmesi, uluslararası toplum baskısı ile ABD'nin Paris Anlaşması'nı imzalayan ülkeler arasında yer alması iklim değişikliğine karşı alınan ümit verici gelişmeler olmuştur. Ancak

anlaşmasının iki yıl sonrasında ABD istihdam ve ekonomik problemleri öne sürerek ve yükümlülüklerine uymayarak Paris Anlaşması'nı işlevsiz hale getirmiştir (Köse, 2018).

Avrupa Konseyi 1993 yılında karbondioksit emisyonlarını sınırlamak için 93/76/EEC sayılı direktifi çıkarmıştır. Bu direktif binaların enerji karakteristikleri ile ilgili kullanıcıyı bilgilendirmek amacıyla sertifikalandırılması, ısıtma, havalandırma, sıcak su tüketimine bağlı faturalandırılması, dış cephe yalıtımı kuralları, özel sektör enerji verimli yatırımları için finansal desteklerin sağlanması ve ısıtma sistemlerinin düzenli bakımlar ile ilgilidir. Direktif AB karar vericilerin beklediği kadar hızlı ve başarılı sonuçlar sağlamadığı gibi binalarda büyük enerji tasarrufu potansiyeli açısından da etkili bir ilerleme göstermemiştir (Asdrubali and Desideri, 2018).

Avrupa Birliği, tüm üye ülkeleri kapsayan ortak enerji ve çevre düzenlemeleri oluşturmaktadır. Bu amaçla konut ve konut dışı bina sektörlerinde enerji etkinliği sağlanması hedefi ile 2002/91/EC sayılı Binaların Enerji Performansına Dair Yönetmelik 2002 yılında yayınlanmıştır. Bu yönetmeliği hazırlama gereksinimi Avrupa Birliği'nin yaşadığı 3 önemli soruna bağlı olarak gelişmiştir. Bunlar;

- Enerjide dışa bağımlılığı artan Avrupa Birliği'nin genişlemesi ile bu probleminin daha da büyüyecek olduğunun öngörülmesi (Mevcut enerji ihtiyacının yüzde 50'sini ithal eden Avrupa Birliği eğer hiç bir önlem almazsa 2030 yılında ithal enerji yüzdesi 70 olacağı tahmin ediliyordu.),
- Kyoto Protokolü kapsamında verilen taahhütlerin yerine getirilmesinin zorlaşması ve sera gazı emisyonlarının giderek artması,
- Birliğin enerji temin etme kaynaklarının sınırlı olmasıdır (Keleş, 2008).

2002 yılında yayınlanan Binalarda Enerji Performansı Direktifi binaların enerji performansını hesaplama için gerekli metodolojinin genel çerçevesi, yeni binalar için gerekli minimum enerji performansı gerekliliklerinin uygulanması, mevcut binalarının kapsamlı olarak yenilenmesinde gerekli olan minimum enerji performansı gerekliliklerinin uygulanması, binaların enerji sertifikasyonu ve kazan ve klima sistemlerinin düzenli takipleri ile ilgili gereklilikleri sunmuştur.

Binalarda Enerji Performansı Direktifi revizyonu (EC, 2010) binalarda enerji tüketim politikaları için önemli bir kilometre taşı olmakta ve tüm üye ülkelerin sağlaması gereken koşulları:

- a. Bina, bina elemanları ve teknik bina sistemleri için minimum enerji performansı gerekliliklerinin tanımlanması,

- b. Binanın yaşam ömrü maliyetlerini hesaba katarak optimum maliyet metodolojisini baz alarak bu gerekliliklerin belirlenmesi,
- c. 2020'den itibaren sadece yaklaşık sıfır enerjili binaların yapılması olarak belirlemektedir.

Avrupa Birliği Komisyonu'nun optimum maliyet hükmünde yayınladığı düzenlemesi ile (EC, 2012a) bina elemanları ve binaların optimum maliyetli minimum enerji performansı seviyesinin belirlenmesini amaçlayan karşılaştırmalı metodolojinin ana çerçevesini oluşturmaktadır. Ülkelerin ulusal hesaplama metodolojilerini oluşturabilmesi adına kılavuz doküman (EC, 2012b) AB Komisyonu tarafından Nisan 2012'de yayınlanmıştır. AB üye ülkeleri sadece yatırım maliyetleri değil, ek olarak işletme, bakım, bertaraf etme ve enerji kazançlarını da hesaba katarak bina ihtiyaçlarının en uygun maliyet ile karşılaştırmalı hesaplanmasını yapmakla yükümlü kılınmıştır. Bu hesaplamaların yapılmasında düzenlemeler ve kılavuzlar üye ülkelere hesaplamalarda kullanılacak girdi verilerinin seçilmesinde büyük bir esneklik sağlamaktadır. Referans bina seçimi, iskonto oranı, hesaplamaların toplumsal ve bireysel yatırımcı perspektifinden incelenmesi, enerji maliyetleri, enerji etkin önlemlerin belirlenmesi, bakım, malzeme ve işçilik maliyetleri, birincil enerji katsayıları, yaklaşık ekonomik yaşam ömrü gibi girdilerin belirlenmesinde de esneklik sağlanmıştır.

Avrupa Birliği Komisyonu 2012 yılında kabul edilen Enerji Verimliliği Direktifi (EC, 2012c) ile 2020 yılı %20 enerji verimliliği hedefine ulaşmaya yönelik enerji arzı ve kullanımına ait önemler ele almıştır. 2018 yılında Binalarda Enerji Performansı Direktifi ve Enerji Verimliliği Direktifi üzerinde değişiklikler yaparak mevcut direktiflerin yükümlülüklerini güçlendirmeyi ve belirli konuları sadeleştirmeyi hedeflemiştir. Yapılan değişiklikler ile direktifin ana hedefleri aşağıda sıralanmaktadır:

- a. 2050 Avrupa Birliği karbon nötr bina stoku hedefine yönelik bir yol haritası oluşturmak,
- b. Bilgi ve iletişim teknolojileri ve akıllı teknolojilerin kullanımının teşviki ile binaların verimli işletilmesini sağlamak,
- c. Elektrikli taşıt altyapısının kullanımının desteklenmesi,
- d. Binaların iletim hatları ile etkileşimini ve işletimini optimize eden, kullanıcı ihtiyaçlarına uyum sağlayan yeni teknoloji ve elektronik sistemlerin kullanma kapasitelerini ölçecek bir akıllı bina hazırlık göstergesini sunmak,

- e. Etkili bir finansal tamamlayıcı kolu ile birlikte uzun vadeli bina yenileme stratejilerini bütünleştirmek ve büyük ölçüde güçlendirmek,
- f. Kamu ve özel finansman yatırımını hareket geçirmek,
- g. Enerji kısıtlılığı ile mücadele etmek ve eski binaları yenileyerek enerji tüketim faturalarını azaltmaktır (EC, 2018).

AB 2050 yılına kadar sera gazı emisyonlarını belirli aralıklar ile tanımladığı hedefler doğrultusunda azaltmayı amaçlamaktadır. İlk aşama olarak 2020 yılı hedefleri sera gazı emisyonlarının 1990 yılı seviyesinin %20 altında olması, enerji eldesinin %20'sinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması ve enerji verimliliğinde %20 gelişme gerçekleşmesi olarak belirlemektedir. 2030 yılına gelindiğinde sera gazı emisyonlarının 1990 yılı seviyesinin en az %40 altında olması, enerji eldesinin en az %32'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması, enerji verimliliğinde ise en az %32,5 gelişme gerçekleşmesi hedeflenmektedir. 2050 yılı için hedef sera gazı emisyonlarının %80-%95 azaltılması olarak belirlenmiştir (EC, 2019).

## 2.2.2 Türkiye’de yasal düzenlemeler

Enerji arzını karşılamak adına son yıllarda yenilenebilir kaynakların kullanımını konusunda ciddi çalışmalar ve ilerlemeler yaşayan ülkemizde hızlı nüfus artışı ve sanayileşme nedeniyle ithal edilen enerjideki artış devam etmektedir. Sanayiden sonra toplam enerji tüketiminde ikinci sırada olan binalarda enerji tasarruf potansiyelinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu yüzden enerji verimliliği ile ilgili atılan adımlarda binalarda enerji verimliliği ön planda tutulmuştur. Türkiye’de atılan ilk önemli yasal adımlardan biri Enerji Verimliliği Kanunu olmaktadır. Enerji Verimliliği Kanunu’nun yayınlanması süreci hakkında Öztürk (2014) şöyle demektedir:

“24 Temmuz 2003 tarih ve 25178 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Avrupa Birliği Müktesebatının Üstlenilmesine İlişkin Türkiye Ulusal Programı; Avrupa Birliği’ne katılım sürecinde kısa ve orta vadede gerçekleştirilmesi öngörülen çalışmaları içermektedir. Söz konusu programda enerji konusunun yer aldığı ön dördüncü bölümde “enerji verimliliği ile ilgili mevzuat uyumunun sağlanması” kısa vadeli hedefler arasında yer almaktadır. Mevzuat uyum takviminde Avrupa Topluluğunda enerji verimliliğine ilişkin 7 Aralık 1998 tarihli konsey teklifine karşılık gelen Enerji Verimliliği Kanunu 2007 yılında ve Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik 2008 yılında yürürlüğe girmiştir.”

Enerji Verimliliği Kanunu ile enerjinin etkin kullanılması, enerji maliyetlerinin ekonomik olarak azaltılması ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması hedeflenmiştir. Bu kanunda yapı projelerinde enerji kimlik belgelerinin çıkarılması ilk defa zorunlu kılınmıştır. Enerji kimlik belgesinde bina enerji ihtiyaçları, yalıtım karakteristikleri,

ısıtma ve soğutma sistemlerinin verimliliği hakkında bilgiler içermesi gerekmektedir. Kanun, enerji üretim, iletim ve dağıtım tesis ve sistemlerini, endüstriyel işletmeleri, binaları kapsamaktadır. Kanun toplum genelinde farkındalık yaratmak, enerji verimliliği hizmetlerinin etkin yürütülmesi için idari yapılanma ve enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesinin yaygınlaştırılması stratejilerini temel almaktadır (Enerji Verimliliği Kanunu, 2007).

2002 yılında EPBD'nin yürürlüğe girmesinin ardından AB ülkeleri kendi standartları ve direktiflerini EPBD'ye göre düzenlemeye başlamıştır. Türkiye AB uyum sürecinde bir ülke olarak, 2008'de iki düzenlemeyi yürürlüğe almıştır. Bunlardan ilki Enerji Verimliliği Kanunu'na dayanılarak hazırlanan 25 Ekim 2008 tarihinde yürürlüğe giren Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Verimliliğinin Artırılmasına Dair Yönetmelik'tir. 2011 yılında Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik 27 Ekim 2011 tarihinde yayınlanarak önceki yönetmeliğin yerini almıştır (Yüksekkaya vd., 2016). 2014 yılında revizyona uğrayan bu yönetmelikte enerji kaynaklarının ve enerjinin verimli kullanılmasına yönelik çalışmalar ve esasların düzenlenmesi hedeflemektedir. Yönetmelik kapsamında üniversitelerin, meslek odalarının ve enerji verimliliği danışmanlık şirketlerinin yetkilendirilmesi, enerji yönetimi ve enerji yöneticisi, eğitim ve sertifikalandırmalar, verimlilik artırıcı projelerin desteklenmesi, talep tarafı yönetimi, elektrik enerjisi üretiminde, iletiminde, dağıtımında ve tüketiminde enerji verimliliğinin artırılması, termik santrallerin atık ısılarından yararlanılması, açık alan aydınlatmaları, alternatif yakıt kullanımının teşvik edilmesi konularına ait usul ve esasları içermektedir. Yönetmelik enerji yönetimi, enerji verimliliği etiketi, enerji yöneticisi ve yönetici sertifikası gibi kavramları tanıtmaktadır (ETKB, 2014).

İkinci düzenleme Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 5 Aralık 2008 tarihinde yayınlanmış olup ana amaçları aşağıda sıralanmaktadır:

- Binalar için iklimsel koşullar, iç ortam ısı gereklilikleri, alansal gereklilikler ve maliyet etkinliği açısından enerji performansı hesaplama prosedürünün tanımlanması,
- Birincil enerji kullanımı ve CO<sub>2</sub> emisyonlarına göre binaların sınıflandırılması,
- Yeni ve büyük yenileme gerektiren mevcut binalar için enerji performansı gerekliliklerinin tanımlanması,
- Binalar için yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımının değerlendirilmesi,
- Bina ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolü,

- Sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması ve çevrenin korunması,
- Binalarda performans ölçütlerinin ve uygulama ilkelerinin tanımlanması şeklindedir.

Bu amaçlarla, yönetmelik EPBD gerekliliklerinin sorumluluklarını tamamen yüklenmektedir. AB üye ülkelerin takip ettiği adımlardan birini kapsayan bu yönetmelik binalarda enerji verimliliği adına ülkemizde atılan önemli adımlardan biridir.

2008 yılında yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği 2010 ve 2017 yıllarında revize edilmiştir. 2010 yılındaki revizyon ile birlikte binaların birincil enerji tüketimlerine göre sınıflandırmak için binalarda enerji performansının ulusal hesaplama metodu yayınlanmıştır. Binaların enerji performans seviyelerinin belirlenmesini sağlayan simülasyon programı hesaplama metodolojisini oluşturmaktadır. 2017 yılındaki revizyonunda enerji kimlik belgesinin formatı, belgeyi hazırlamaya yetkili kuruluşların gereklilikleri ve sorumlulukları hakkında düzenlemeler değişikliklerin büyük kısmını oluşturmaktadır. Ayrıca ısıtma ve sıcak su eldesi tasarım kuralları ile ilgili ek maddeler, ısı yalıtımı faaliyetlerinde kullanılacak sözleşme taslağı ve mevcut binaların enerji kimlik belgeleri ile ilgili düzenlemeler bulunmaktadır.

Bep-Tr hesap yöntemi kullanılarak Türkiye’de binaların enerji kimlik belgeleri çıkarılabilmektedir. Enerji kimlik belgesi bina enerji tüketimlerini, sera gazı emisyonlarını, yenilenebilir enerji kullanımını ve ısıtma, sıcak su, soğutma, havalandırma ve aydınlatma başlıklarında enerji performansı sınıfını göstermektedir. Türkiye’de yeni yapılacak tüm binaların Bep-Tr hesaplama metodu ile oluşturulmuş enerji kimlik belgesinin çıkarılması zorunluluk olmak bile birlikte, mevcut binaların kimlik belgelerinin alım, satım ve kiraya vermek gibi işlemlerde bulunmasının zorunluluğu 2017 yılındaki düzenleme ile 2020 yılına kadar ertelenmiştir (ÇŞB, 2017a). Mevcut binaların enerji kimlik belgesinin çıkarılması enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> salımı açısından mevcut stokun belgelendirilmesi dışında bina ve yapı elemanları envanterinin ülke çapında oluşturulmasını sağlayacaktır.

AB üye ülkelerinin revize EPBD ile birlikte yasal mevzuatlarının içine katılan yaklaşık sıfır enerjili bina kavramı ve optimum maliyet hesaplamaları hakkında yasal düzenleme Türkiye’de olmamak ile birlikte bu kavramlar üzerine yapılan çalışma sayısı da sınırlıdır. Bina iyileştirmelerinde enerji etkin önlemlerin maliyetlerinin ve enerji performanslarının karşılaştırılması ile optimum maliyetli enerji seviyelerinin tespit edildiği çalışmalar yasal mevzuatın geliştirilmesinde yol gösterici olacaktır.

"Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ" 07.12.2010 tarihinde bina enerji performansı ısıtma ve soğutma ihtiyaçları için

tüketilen enerji miktarının hesaplanmasına yönelik ilke ve yöntemlerini açıklamak amacıyla yayınlanmıştır. Bina enerji performansını hesaplamak ve sınıflandırmak amacıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) sunucuları üzerinden web tabanlı olarak çalışan Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi Türkiye (BEP-TR) yazılım programı ulusal hesaplama yöntemi olarak geliştirilmiştir. 1 Kasım 2017 yılında revizyona uğrayan tebliğ hesaplama yönteminin uygulamasına ait geliştirmeleri içermektedir (ÇŞB, 2017b).

2017-2023 yılları Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı ile bina ve hizmetler sektöründe enerji verimliliğinin geliştirilmesi amacıyla 12 adet eylem tanımlanmıştır. Bu eylemler kapsamında;

- Yeni ve mevcut binalarında enerji verimliliği sınıflarının iyileştirilmesi,
- Yenilenebilir enerji, kojenerasyon, merkezi ve bölgesel ısıtma-soğutma sistemlerinin uygulamalarının yaygınlaştırılması,
- Ulusal yeşil bina sertifikasyonu altyapısının geliştirilmesi ve uygulanması,
- Kamu sektöründe enerji kazancı potansiyelinden faydalanılması,
- Kapsamlı bir bina stoku çalışmasının gerçekleştirilmesi,
- Kamu ve özel sektör kesimlerine yönelik destek ve farkındalık çalışmalarının yürütülmesini içermektedir.

Plan kapsamındaki bu eylemler daha önceden yürürlüğe konulan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi ve Onuncu Kalkınma Planı Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi Programı Eylem Planı ile yürürlüğe giren faaliyetler ile uyumlu hedeflerin gerçekleştirilmesine yönelik çalışmaları içermektedir (ETKB, 2017).

### **2.3 Binalarda Enerji Performansının Hesaplanması**

Güçyeter (2010) enerji verimliliğinin, binanın yaşam döngüsü enerji kullanımını azaltmak için alınacak enerji etkin önlemler ve binanın sahip olduğu koşullar ile doğrudan ilgili olduğunu belirtmektedir.

Binaların Enerji Performansı Direktifi binaların enerji performansını, standart kullanım sırasında ısıtma, sıcak su eldesi, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve diğer teknik bina sistemleri için tüketilen veya tüketeceği hesaplanan enerji miktarına göre değerlendirmektedir (EC, 2018). Bina yalıtım, inşa, iklimlendirme sistemleri karakteristikleri, doğal ve mekanik havalandırma, güneş ışınları,

aydınlatma sistemi, komşu yapılar ve iklim koşullarına göre tasarım ve yönetim, enerji üretimi, iç enerji kazançları ve ortam koşulları enerji performansını hesaplamalarında dikkate alınması gereken belirleyicilerdir (EC, 2010). Bina enerji performansı hesaplamalarının sonucunda binanın kullanım alanı başına enerji tüketim değeri ve CO<sub>2</sub> emisyonu referans sınır koşulları ile karşılaştırılarak bina enerji sınıfı belirlenmektedir.

Hem mevcut binaların hem de yeni binaların enerji seviyelerinin belirlenerek belgelenmesi, binaların enerji performanslarını sunması ve konut sahipleri ve kullanıcıları enerji etkinliğine yönelik uygulamalara teşvik etmesi açısından büyük öneme sahiptir. Bu belgelemenin yapılmasının temel faydaları aşağıda sıralanmaktadır:

1. Enerji kimlik belgesi ile binanın performansı hakkında binayı alacak ya da kiralayacak kişiye bilgi sunmak,
2. Dairenin veya binanın alınması, kiralanması veya yenilenmesi hakkında kararların rasyonel biçimde alınması sürecinde kullanılabilir bir dokümanın oluşmasıdır. (Tıkrır, 2009).

EPBD'ye göre her üye ülke binalarda enerji ihtiyaçlarını hesaplamak için kendi metodolojisini oluşturmak zorundadır. Isıtma ve soğutma enerjisi hesaplamaları EN ISO 13790 revizyonu ISO 52016-1 standardına (2017) uygun olacaktır. Bu standarda göre hesaplama metotları aşağıdaki gibidir:

1. Basit saatlik metot: Yarı dinamik metot, ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını belirlenen aralıklar için hesaplamaktadır.
2. Aylık/Sezonsal metot: Kuzey ülkelerinde kullanılmakta olan bu metot ile belirlenen sezonlar veya aylık bazda hesaplama yapılmaktadır. Belirli sezon/ay için sadece soğutma veya ısıtma ihtiyacı var olarak kabul edilmektedir. Hem ısıtma hem de soğutma ihtiyacı olan geçiş zamanlarında hata olabilmekte fakat yıllık bazda hesaplanan enerji miktarı doğru bir sonuç olarak görülmektedir.
3. Detaylı dinamik metot: En karmaşık metot olan bu metot ile kısa zaman aralıkları için hesaplamalar yapılmaktadır. Korunan ısı ve bina kütlesi hesabın içine katılmakta, uzun bir hesaplama süreci ve uzmanlaşmanın önemli olduğu bir yöntem olduğu için binaların enerji kimlik belgelerinin çıkarılmasında pratik olmamaktadır.

Türkiye'nin ulusal hesaplama metodu olan Bep-Tr saatlik basit metodu uygulamaktadır. RC (Direnç-kapasite) modeli ile binanın saatlik ısı davranışını gerçeğe yakın şekilde yansıtabilmektedir (Ganiç, 2012). Yeni veya mevcut konut binaları, ofis binaları, eğitim yerleşkeleri, tıp yerleşkeleri, oteller, alışveriş ve ticaret



merkezleri, idari bina tipolojileri için hesaplama metodu kullanılabilir. Hesaplama yönteminin ele aldığı tipolojiler dışında olan binalar için yakın seçenek seçilebilmektedir (Kaplan, 2018). Hesaplamaları sırasında ısıtma ve soğutma için gerekli net enerji, ısıtma ve soğutma sistemlerinin verimleri ve sistemlerin ısı kayıplarını, havalandırma için gerekli enerji miktarını, gün ışığından faydaları da hesaba katarak aydınlatma enerji ihtiyaçlarını ve tüketimlerini, sıcak su için gerekli enerji tüketimini içermektedir.

2013 yılında son revizyonu yayınlanan TS825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları başta olmak üzere enerji performansı hesaplamaları ile ilgili EN, BR ve DIN standartlarından yararlanılarak oluşturulan Bep-Tr hesaplama metodu bina geometrisini 1.versiyonda basitleştirilmiş örnekler üzerinden belirlemekte olup 2.versiyon ile CAD ortamında basit çizimle gerçekleştirilebilmektedir. Isıl alanlar içindeki aktiviteler, mevcut cihazlar, ihtiyaç duyulan konfor koşulları, belirlenen sıcaklık limit değerleri hesaba katılarak ayrılmaktadır. Benzer özellikteki alanlar tek bir termal alan olarak kabul edilmektedir. İletim ile ısı transferleri opak veya saydam yüzey için U değerleri belirlenerek ve yüzeyin dış koşullarına göre program tarafından hesaplanmaktadır. İç ısı kazançları, kullanıcılar, elektrikli araçlar ve aydınlatma cihazları tarafından üretilmektedir. Saydam ve opak yüzeylerden kazanılan ısı kazançları veya gölgelemenin faydaları ISO 52016 standardına uygun olarak hesaplamanın içine katılmaktadır. 2.versiyon ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hesaplama metodolojisine dahil edilmiştir (ÇSB,2017b).

Enerji etkin binalar açısından, bina enerji tüketiminin etkileyen tüm sistemler (kabuk, aydınlatma, ısıtma, soğutma vb.) ile enerji performansının belirlenmesi ve en uygun kombinasyonun oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Bunun nedeni, binadaki tüm sistemlerin birbirini etkilemesi ve bütüncül bir performans gösterecek olmasıdır (Öztürk, 2014). Bina enerji simülasyon programları tasarımcıya kullanım aşamasına ait analizler sunarak tasarım aşamasında fikirlerini test etme ve yeni fikirler üretmesinde yardımcı olan bir araçtır. Yapı sektöründe mimarlar, mühendisler, akademisyenler ve enerji yöneticileri tarafından bu tarz programlar kullanılmaktadır. Bina enerji performansının hesaplanmasında kullanılan başlıca programlar: EnergyPlus, DOE-2, Ecotect, ESP-r, Blast, Tas, TRNSYS vb. şeklinde sıralanabilir (Keskin, 2012). Bina enerji simülasyonları ile beklenen enerji performansı ile gerçekleşen enerji performansının karşılaştırılması sağlanabilmektedir.

EnergyPlus DOE2 ve BLAST modelleme programları temel alınarak geliştirilmiş, dinamik hesaplama yapan bina enerji simülasyon programıdır. Tasarım aşamasında veya mevcut binaların ısıtma, soğutma, havalandırma ihtiyaçları için tüketilen enerjinin hesaplanmasında kullanılan EnergyPlus programı, binaya ve lokasyona ait termofiziksel özelliklerin sıcaklık ve lokasyon nem oranlarına karşılık etkileşimi ve zamana bağlı değişimlerini verebilmektedir.

Program yapının modellenmesi için bir arayüze sahip değildir ancak bu eksiklik DesignBuilder programının altında çalışılarak çözülmüştür. DesignBuilder ısı ve aydınlatma performansı çıktılarının görsel olarak alınması için kullanılan bir modelleme yazılımıdır (Tıkır, 2009).

Bu tez çalışmasında bina mevcut durum ve enerji etkin önlemler ile enerji performansının belirlenmesinde DesignBuilder programı kullanılmıştır.

Bina enerji simülasyonu programları tanımlanan hesaplama metodolojisini kullanarak hesaplamalarını gerçekleştirmektedir metodolojilerin doğrulanması adına analitik, deneysel ve karşılaştırmalı 3 adet doğrulama yöntemi olduğu belirtilmektedir (Judkoff and Neymark, 1998; Şahin, 2013).

Analitik doğrulama tekniği basit sınır koşulları altında bilinen bir analitik çözüm sonuçları ile bina enerji simülasyonu araçlarının veya algoritmaların çıktıları karşılaştırmaktadır. Bu tekniğin avantajı ucuz olması, girdi belirsizliğinin olmaması ve mutlak doğruluk veren bir standarttır. Ancak analitik karşılaştırma verileri olan durumlar ile sınırlıdır.

Bir diğer doğrulama metodu olan deneysel doğrulama, gerçek yapı ve laboratuvar deneyinden ölçülen verilerin hesaplanan sonuçlar ile karşılaştırılması tekniğidir. Bu yüzden metod yaklaşık doğrudur ve deneysel doğruluğa bağlıdır. Detaylı ölçümlerden dolayı oluşan yüksek maliyetler ve belirsizlikler dezavantajlarıdır.

Üçüncü olarak, karşılaştırmalı doğrulama metodolojisi kendi içinde veya diğer metodolojiler ile karşılaştıran bir yaklaşımdır. Karşılaştırma tekniği duyarlılık testi ve modeller arası karşılaştırmalar içermektedir. Bu tekniğin belirgin avantajı ucuz ve hızlı olması fakat gerçek bir standardı yoktur.

Bina enerji simülasyonu sonucunda çıkan değerlerin gerçekleşen durumu yansıttığını belirlemek adına yukarıdaki tekniklerden biri ile bina enerji simülasyonu yazılımının doğrulamasının yapılması gerekmektedir.

BESTEST, bina enerji simülasyon programlarının doğrulanmasında, hata kaynaklarının test edilmesi için yaygın olarak kullanılan bir test metodudur. BESTEST 1995 yılında International Energy Agency (IEA) tarafından 1995 yılında geliştirilmiştir. Melo (2012) ASHRAE 140 Standardı'nın bu metod baz alınarak geliştirildiğini ifade etmektedir (Şahin, 2013). Metodun amacı, yazılımların bir dizi test serisinde farklı bina kabuğu özelliklerine karşılık gelen sonuçlarının karşılaştırılması ve hata analizlerinin yapılmasıdır. Tasarlanan testlerin simülasyon sonuçları referans değerler, farklı enerji simülasyonu araçlarının sonuçları ve

simülasyon aracının önceki versiyon sonuçları ile karşılaştırılarak hata analizi yapılabilmektedir (Judkoff ve Neymark, 1998).

BESTEST, nitelik ve hata teşhis testleri olarak ayrılmakta ve toplam 40 testten oluşmaktadır. Isıtma ve soğutma enerji tüketimlerinin hesaplandığı nitelik testleri 600-650 ve 900-950 sıra numaralarından oluşmaktadır. Sıra numaraları basitten karmaşık test yapısına doğru sıralanmıştır. Nitelik testleri ısı karakteristیکlerine göre sırasıyla düşük ve yüksek ısı kütle testlerini temsil etmektedir. Yüksel ısı kütle testleri düşük ısı kütle testlerine göre farklı duvar ve yer döşeme yapı karakteristیکlerine sahiptir. Bu tez çalışmasında da dikkate alınan nitelik testlerinin açıklamaları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1- Bestest nitelik testlerine ait açıklamalar (Şahin vd., 2013; DesignBuilder, 2014).

Test No	Test parametreleri
Test 600/900	Test hacmi ölçüleri: 8 m x 6 m x 2,7 m Pencere alanı: 12 m <sup>2</sup> güney pencere 600 serisi için düşük termal kütle (Alçı Levha + Fiberglass Yünü + Ahşap Kaplama) 900 serisi için yüksek termal kütle (Beton Blok + Polistren Yalıtım + Ahşap Kaplama) 0.5 hava değişim sayısı (1/h) 200 W iç kazanç 20 °C ısıtma set sıcaklığı 27 °C soğutma set sıcaklığı $U_{\text{pencere}} = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{tavan}} = 0,318 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{taban}} = 0,039 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{dış duvar}} = 0,512 \text{ W/m}^2\text{K}$ Isıtma ve soğutma sistem verimi: 1
Test 610/910	600/900 nolu test parametrelerine ek olarak güney cephesi boyunca 1 m yatay gölgelendirme oluşturulması
Test 620/920	600/900 nolu test parametrelerine ek olarak güney cephede pencere alanı kaldırılması, doğu ve batı cephelerinde 6 m <sup>2</sup> ’lik pencere alanları oluşturulması
Test 630/930	620/920 nolu test parametrelerine ek olarak yatay ve düşey 1 m gölgelendirme eklenmesi

Tablo 2.1- Bestest nitelik testlerine ait açıklamalar (devam) (Şahin vd., 2013; DesignBuilder, 2014).

Test No	Test parametreleri
Test 640/940	600/900 test parametrelerine ek olarak; 23:00-07:00 saatleri arası ısıtma açık<10 °C iç sıcaklık 07:00-23:00 saatleri arası ısıtma açık<20 °C iç sıcaklık 00:00-23:00 saatleri arası soğutma açık>27 °C iç sıcaklık Geri kalan durumlar için ısıtma ve soğutma kapalı
Test 650/950	600/900 test parametrelerine ek olarak; Isıtma kapalı 18:00-07:00 saatleri arası havalandırma fanı açık 07:00-18:00 saatleri arası havalandırma fanı kapalı 07:00-18:00 saatleri arası soğutma açık>27 °C iç sıcaklık 18:00-07:00 saatleri arası soğutma kapalı

Prosedürün uygulanmasında test parametrelerine ek olarak iklim verileri ve çevresel koşullar da belirlenmiştir. İklim koşulları Denver, Kolorado bölgesine ait saatlik tipik yıllık meteorolojik verileri tanımlanmıştır. Modelin bulunduğu bölge rakımı 1609 metre, rüzgâra maruz ve yüzey yansımaya oranı da 0,2 olarak tanımlanmıştır (DesignBuilder, 2014).

Doğrulanmış bir bina enerji simülasyonu programının kullanılması doğru sonuçlara ulaşmak için yeterli değildir. Dinamik bina enerji simülasyonu araçlarına bina enerji performansını etkileyen yapısal fiziksel özelliklerinin gerçek duruma uygun olarak aktarılma dahi iklim koşulları, kullanım planı, iç ısı kazançları ve ekipmanların yükleri gibi değişkenler belirsizliklere neden olmaktadır (De Wilde, 2014).

Model kalibrasyonu, toplanan ve kabul edilen giriş verilerinin modele uygulanması sonucu çıkan verilerin ölçülen veriler ile karşılaştırılması sonrasında en doğru çıktıya ulaşmaya kadar giriş verilerinin düzeltildiği tekrarlanan bir süreçtir. Simülasyon modellerinin kalibrasyonu için farklı metotlar uygulanmaktadır, aylık veya saatlik kalibrasyon metotları bulunmaktadır, bu izleme ölçümlerinden alınan verilere bağlıdır. Kesin tanımlanmış bir kalibrasyon seviyesi gerekliliği bulunmamakta olup projenin ihtiyaçlarına göre belirlenebilmektedir (FEMP, 2015). Kalibrasyonun yapılmasında gerçekleşen değerlere ne kadar yakın bir model elde edilirse model üzerinden yapılan hesaplamalar da o kadar gerçek tahminlerde bulunacaktır. Model kalibrasyonu farklı standartlarda ve araştırmalarda vurgulanmaktadır. Kalibrasyon prosedürleri ve değerlendirme testlerini tanımlayan ana standartlar aşağıda sıralanmaktadır;

- ASHRAE Guideline 14-2014 Measurement of Energy and Demand and Water Savings
- International Performance Measurement & Verification Protocol- Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings Volume I
- Measurement and Verification for Performance-Based Contracts Version 4.0

Mevcut bir binanın simülasyonunda gerekli olan birçok veri bulunmakta olup bu verilerin toplanması gerçekçi bina modelinin geliştirilmesinde kilit bir aşama olmaktadır. Bu çalışmada, kullanılan model girdi verileri aşağıdaki gibidir:

- Saatlik iç ve dış ortam sıcaklık verisi (8760 saatlik izleme verisi)
- Mimari ve mekanik tesisat planları
- Binanın aktif kullanım bilgileri
- Kabul edilen geçirimsizlik oranları
- Kabul edilen havalandırma oranları

Güçyeter (2018) uzun dönem izleme verileri ile kalibre edilen bina modelinin gerçekleşen bina enerji performansı değerini daha doğru yansıtmakta olduğunu belirtmektedir.

Simülasyonun kalibrasyonu için uygulanan adımlar aşağıdaki listede sıralanmıştır:

1. Varsayılan girdilerin simülasyon modeline entegrasyonu ve saatlik dinamik simülasyon hesaplamalarının yapılması,
2. Saatlik simülasyon sonuçlarının, iç mekan sıcaklıkları ve bağıl nem seviyeleri için doğruluk düzeylerine göre incelenmesi,
3. Simülasyon sonucu hesaplanan enerji tüketimleri ile takip edilen aylık verilerin karşılaştırılması,
4. İkinci ve üçüncü adımdaki analizlere göre birinci adımda kalibrasyon parametrelerinin revize edilmesi, izlenen verilere daha yakın sonuçların elde edilmesidir. (EVO, 2012; FEMP, 2015).

Ölçülen ve hesaplanan model verileri sapmaları kontrol edilerek kalibrasyon yapılmaktadır. Ortalama hata kareleri kökü (RMSE) ve ortalama sistem hatası (MBE) analizleri ölçülen ve hesaplanan veriler arasındaki saatlik veya aylık hataları belirlemekte kullanılmaktadır. MBE regresyon analizindeki toplam sapmanın iyi bir belirleyicisidir. MBE değerleri pozitif değer aldığı anda simülasyon sonuçları gerçek durumun üzerinde çıktılar verdiğini belirtmektedir. N gözlem sayısında pozitif ve negatif değerler birbirini sıfırlayarak sapmanın durumunu değiştirmektedir. RMSE değerinde böyle bir durum oluşmamaktadır (EVO, 2012). Denklem 2.1 ve 2.2 RMSE ve MBE için formülleri göstermektedir. N gözlem sayısını,  $T_{ma}$  ortalama ölçülen verileri (N gözlem için),  $T_s$  simülasyon sonucu hesaplanan saatlik veya aylık veriler ve  $T_m$  ölçülen saatlik veya aylık verileri temsil etmektedir. Tablo 2.2’de kalibrasyon değerlendirme metodlarının sınır değerleri verilmektedir.

$$RMSE = \left(\frac{100}{T_{ma}}\right) \times \left[\frac{1}{N} \times \left(\sum (T_s - T_m)^2\right)\right]^{0.5} (\%) \quad (2.1)$$

$$MBE = \left(\frac{100}{T_{ma}}\right) \times \frac{[\sum (T_s - T_m)]}{N} (\%) \quad (2.2)$$

Tablo 2.2- Kalibrasyon değerlendirme testlerine ait sınır değerler (Güçyeter, 2018).

Kalibrasyon değerlendirme metodu		Kalibrasyon Türü	
		Saatlik	Aylık
<b>ASHRAE 14</b>	MBE	%±10	%±5
	RMSE	%30	%15
<b>IPMVP</b>	MBE	-	%±20
	RMSE	%10-20	-
<b>FEMP</b>	MBE	%±10	%±5
	RMSE	%30	%15

## 2.4 Binalarda Enerji Performansına İlişkin Çalışmalar

Çalışmanın ana çerçevesinin oluşturulmasında yardımcı olan akademik çalışmalar tarihi binalarda enerji verimliliği, bina enerji simülasyonu hesaplamaları ve optimum maliyetli enerji seviyesinin belirlenmesi konularını baz almaktadır.

Mevcut bina yapı kabuğunun enerji etkin iyileştirilmesi ait bir metodoloji sunan Güçyeter (2010) binanın detaylı ölçümünü yaparak yapıya ait verileri toplamıştır. Toplanan veriler ile bina enerji simülasyonu modeli kalibre edilmiş ve belirlenen enerji etkin önlem paketleri bu model üzerinde uygulanarak enerji etkinliği değerlendirilmiştir.

Dinamik enerji simülasyon aracı ve optimum maliyetli enerji seviyesi hesaplama metodolojisini kullanan Ganiç (2012) örnek ofis binasına uygulanmak üzere belirlenen iyileştirme alternatiflerinin tekil ve birbiri ile etkileşimlerin değerlendirmiştir. Referans bina farklı iklim koşullarına sahip olması durumları için farklı hesaplama periyotlarında analiz edilmiştir. Değişen parametrelerin hesaplamalara olan etkileri sunmuştur.

Referans bina olarak tipik okul binasını seçen Ferdos (2015), dinamik enerji simülasyon aracını ve optimum maliyetli hesaplama metodolojisini kullanarak farklı iklim bölgelerinde enerji verimli iyileştirmeleri enerji ve maliyet açısından değerlendirmiştir. Farklı iskonto oranı ve hesaplama periyotları için analizler yapılan çalışmada referans bina için farklı iklim koşullarında soğutma-ısıtma ve aydınlatma ihtiyaçlarının değişimi ve hesaplara olan etkisi sunulmuştur.

Ashrafian (2016) bitişik nizam ve ayırık apartman bloklarının 3 farklı iklim bölgesinde belirlenen enerji etkin önlemlerin optimum maliyetli enerji seviyesi hesaplamalarını gerçekleştirmiştir. Adım adım uygulanan enerji etkin önlemler ile sağlanabilecek enerji ve maliyet kazançları, karbon emisyonunun azalmasını sunmuştur. Ayrıca farklı ekonomik parametreler ile duyarlılık analizini de gerçekleştirmiştir.

Sağlam (2017) çok katlı apartman binalarında maliyet etkin enerji tasarrufu potansiyelini, kullanıcı davranışlarının enerji tüketimi ve maliyet etkinliğine olan etkilerini enerji verimli önlemler ile oluşturulan senaryolar eşliğinde farklı iklim bölgeleri için sunmuştur. Duyarlılık analizleri iskonto oranı, enerji fiyat artışı, ilk yatırım maliyeti azaltımları ve hesaplama periyotları için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen optimum maliyet enerji seviyeleri, yaklaşık sıfır enerji binalar seviyesi ile ilişkilendirilmiştir.

BPIE (2013) Avusturya, Almanya ve Polonya'da yapılan optimum maliyetli enerji seviyesi hesaplamalarına ait raporları sunarak hesaplama metodolojisi hakkında daha ayrıntılı bilgi veren kılavuz bir çalışma amaçlamıştır. Hesaplama metodolojisi hakkında genel bilgilere yer veren çalışma, örnek çalışmalara ait sonuçları paylaşarak hesaplama metodolojisinin adımları hakkında dikkat edilmesi gereken detayları sunmuştur.

Karásek et al. (2018) müstakil evler ve apartman binaları için belirledikleri enerji etkin önlemler için optimum maliyetli enerji performansı hesaplamalarını gerçekleştirmiştir. Alınan önlemlerin yatırım maliyeti, iskonto oranı ve enerji fiyatı artış oranı değişimleri kullanılarak hesaplamalarda kullanılan ekonomik parametrelerin etkilerine dikkat çekilmiştir.

Türkiye’de, revize EPBD ile ortaya konulan optimum maliyetli enerji seviyesinin metodolojisi ile ilgili ulusal bir hesaplama yöntemi oluşturulması alanındaki araştırmalardan biri "Binalarda Maliyet Optimum Enerji Verimliliği Seviyesi için Türkiye Koşullarına Uygun Yöntemin ve Referans Binaların Belirlenmesi" başlıklı TÜBİTAK destekli 113M596 no'lu araştırma projesidir. Proje kapsamında seçilen pilot bölge için referans binaların ve kullanıcıların tanımlamaları yapılmıştır. Yapılan çalışmada ulusal yöntemin oluşturulması adına öncelikle konut binalarına odaklanılmış, diğer bina tipolojileri için bir altyapı oluşturması amaçlanmıştır. Dinamik enerji simülasyonu araçları ve küresel maliyet hesaplamaları sonuçları ile karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiştir. Proje sonucunda optimum maliyetli enerji verimliliği seviyelerinin belirlenmesi ulusal yönteminin bir çerçeve altlığı oluşturulmuştur. Optimum maliyetli enerji seviyelerinin belirlenmesi konusunda farklı bina tipolojileri ve farklı iklimsel bölgeler için yapılacak çalışmalar ile ulusal yöntemin geliştirilmesi sağlanması gerekmektedir (Sağlam, 2017).

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği tarihi binalarda enerji etkin önlemlerin alınmasına yönelik çalışmaların Kültür ve Tabiat Varlıklarının Koruma Kurulu’nun görüşünü alarak yapının kültürel vasfını ve görüşünün etkilemeyecek şekilde yapılmasını kapsamaktadır. Ancak bu konu yapılmış Türkiye’de sadece iki tez çalışması bulunmaktadır. Şahin (2013) yaptığı çalışmada, İzmir’de bulunan örnek bir tarihi binada yapılan ölçümler ile doğrulanan bina enerji modellemesi oluşturulmuştur. Bu bina modellemesi üzerinde enerji simülasyonu aracı ile mevcut durum ve tanımlanan enerji etkin önlemlerin enerji performansı değerlendirilmesi, bina kültürel değerinin korunması konusunun dikkate alınması ve alınmaması durumları için karşılaştırılmıştır.

Karagözler (2018) tarafından yapılan çalışmada İzmir’de bulunan örnek bina üzerinde yapı fonksiyonuna ve tarihi görünümüne uygun iyileştirme önerileri geliştirilmiştir. Bu öneriler bina enerji performansına etkileri ile maliyet etkinlikleri karşılaştırılarak değerlendirilmiş ve enerji etkinliği ile maliyet etkinliği arasındaki farklara dikkat çekmiştir.

Carpino et al. (2018) İtalyan bina stokunda önemli bir oranda bulunan sosyal konutları için iki farklı iklim bölgesinde enerji etkin önlemleri maliyet ve enerji verimlilik açısından değerlendirilerek maliyet etkin önlemleri belirlemiştir. Farklı cam türlerinin, yalıtım kalınlıklarının, iklimlendirme sistemlerinin ve fotovoltaik panellerin değerlendirildiği çalışmada ortaya çıkan sonuçlar yaklaşık sıfır enerjili binalar ve minimum enerji performansı gereklilikleri ile karşılaştırılmıştır.

Corgnati et al. (2013) optimum maliyetli enerji performansı hesaplamaları aşamalarından referans binanın belirlenmesi kavramı üzerine genel bir metodoloji sunmuştur. Referans bina oluşturulmasında gerekli olan verilerin belirlenmesi,



toplanması ve sınıflandırılmasına dair aşamalardan oluşan metodoloji ile belirlenen ofis binasının enerji performansına dair sonuçlar paylaşılmıştır.

Referans binanın belirlenmesi sürecine ait metodoloji sunan bir başka çalışmada da Güney Brezilya'da bulunan düşük gelirli kesimin bina stokuna ait veriler toplanarak ortak özellikli binanın oluşturulması sağlanmıştır (Schaefer and Ghisi, 2016).

Galatioto et al. (2019) tarihi bir bina üzerinde 4 farklı iklim bölgesi için alınan enerji etkin önlemlerin enerji ve maliyet etkinliği açısından değerlendirmesini sunmuştur. Yapı elemanlarının yalıtımı, camların değiştirilmesi, aydınlatma sistemi üzerinde alınan önlemlere ek olarak fotovoltaik panel sisteminin uygulanması değerlendirilmiştir.

Milic et al. (2019) tarafından yapılan 12 tarihi konut tipini içeren çalışmada maliyet optimum seviyesinin belirlenmesi ve enerji tüketiminin %50 azaltılması hedeflenerek farklı enerji etkin önlemlerin uygulanması sonucu enerji tüketimlerinin değişimi gözlenmiş ve maliyet analizleri yapılmıştır. Optimum maliyetli senaryo ile %50 enerji tüketimi azaltılmasının karşılaştırmasına ek olarak oluşturulan senaryoların karbon salım değerlerinin de karşılaştırılması yapılmış ve farklı enerji türlerinin karbon emisyonlarının hesaplamalardaki etkisine dikkat çekilmiştir.

### 3.OPTİMUM MALİYETLİ ENERJİ PERFORMANSI HESAPLANMASI

Binaların işletme aşamasındaki enerji tüketimlerinin azaltılması için alınacak enerji etkin önlemler yatırım maliyetini gerektirmektedir. Yatırım maliyetlerinin binanın yaşam ömrü sürecinde alınacak enerji etkin önlemlerin sağlayacağı ek kazancın toplamı ile birlikte karşılaştırılması ve kararların bu karşılaştırmaya göre alınması kaçınılmazdır. Mevcut bir binayı daha verimli hale getirmek için birçok iyileştirme çalışması yapılabilir; ancak verimlilik açısından öncelikle maliyet analizlerinin yapılması ve karşılaştırma sonucu optimum maliyet ile en yüksek enerji kazancının sağlanması amaçlanmaktadır.

Bu bölümde AB komisyonu tarafından sunulan (EC, 2012a; EC, 2012b) ve tez çalışmasında uygulanan hesaplama metodunun her aşaması hakkında bilgiler yer almaktadır.

#### 3.1 Referans Binanın Belirlenmesi

Her bina için minimum enerji performansını sağlayan maliyet etkin hesaplamaların yapılması neredeyse imkânsız olacağı için referans bina üzerinde çalışma yapılması önceliklidir. Seçilen referans bina üzerinden yapılan çalışmalar o bina türü, geometrisi, iklim koşulları, bina kabuğu ve içerdiği sistemler dahil olmak üzere benzer niteliklere sahip binalar için örnek teşkil edecektir. Referans binaların mevcut ulusal bina stokunu mümkün olduğunca doğru yansıtması optimum maliyet hesaplamaları sonucu elde edilen sonuçlarının tüm stok için temsili olmasını sağlayacaktır (Cargnati et al., 2013).

Düzenlemeye göre üye ülkelerde yeni binalar için en az bir mevcut binalar için ise en az iki referans binanın aşağıdaki bina kategorilerine göre tespit edilmesi gerekli görülmektedir:

- Müstakil binalar
- Apartman blokları ve çoklu hane binaları
- Ofis binaları

Bu gereklilikten dolayı her üye ülke en az 9 referans bina tespit etmek durumundadır. Referans binalar binanın yaşı, formu, yapım yöntemi, kullanım amacı ve bulunduğu konumun iklimsel özellikleri gibi parametrelere göre alt kategorilere ayrılabilir. EPBD tarihi binalarda enerji performansı gerekliliklerini zorunlu kılmaya da, bu tarz yapılarda yenileme uygulamaları gerçekleştiren üye ülkeler için “tarihi binalar” alt kategorilerden birini

oluşturmaktadır (EC, 2012a). Ganiç (2012) bu alt kategori ayrımlarının uygun bir şekilde yapılabilmesi için uzman kişilerin süreçte görev alması gerekliliğine dikkat çekmektedir.

Torcellini et al. (2008) referans bina tespiti için toplanacak ilgili, gerekli tüm verilerin 4 kategoriye ayrılmasını önermektedir:

1. Binanın formu (Fonksiyonu, tasarımı ve geometrisi)
2. Termal fiziksel özellikleri ile yapı kabuğu özellikleri (Yapım teknolojileri ve malzemeler)
3. HVAC (Isıtma/Soğutma/Havalandırma) sistemleri, sıcak su eldesi ve aydınlatma için kullanılan sistemler
4. Kapı ve pencerelerin kullanımı, ekipmanların kullanımı, ısıtma ve soğutma sisteminin işletimi gibi kullanıma ait parametreler (Schaefer and Ghisi, 2016).

4 alt başlığa ait veriler toplandıktan sonra, referans binanın oluşturulması için, tüm verilerin bir araya getirilmesi süreci çok önemli bir görev olmaktadır. Kullanılan kaynaklara bağlı olarak mevcut verilerin tipolojisini anlamak önemlidir. İstatistiksel analizlerden veya referans binalar üzerinde uzmanlaşmış kişilerin kabullerinden veriler toplanabilir (EC, 2012a).

EPBD referans bina girdi dokümantasyonu olarak sunduğu IEE TABULA projesi 3 sınıflandırma metodu sunmuştur:

1. Örnek referans binalar, tecrübelerden, el kitaplarından, standartlardan veya uzmanların araştırmalarından toplanan bilgilerin sonuçlarıdır. Bu metod hiçbir istatistiksel verilerin olmadığıda kullanılabilir. Çıkan sonuçlar seçilen konum ve bina yaşı ile benzer gruptaki binalar için uygun olabilir.
2. Gerçek referans bina, bina stoku üzerinde sahip olunan bilgiden türetilir. Bu stokun ortak özelliklerine sahip en yakın gerçek bir bina seçilmesinde bina stokuna ait istatistiksel bilgilere ihtiyaç bulunmaktadır.
3. Teorik referans bina, gerçek binaların çeşitli özelliklerinin bir toplamı olarak en çok kullanılan malzemeler ve sistemlerden oluşturulmaktadır. Tek başına gerçek bir binayı temsil etmektedir, fakat binanın özellikleri

istatistiklerden alınan bilgilerin kombinasyonundan oluşmaktadır (Corgnati et al., 2013).

Referans binanın seçimi çalışma sonucunda çıkan verilerin diğer binalar için alınacak kararları etkileyeceği unutulmamalı ve seçim yapılırken dikkatli olmalı, referans bina hesaplama yapılacak ülke mevcut ve gelecek bina stokunu temsil eden, kompleks olmayan geometriye sahip ve tekrar uygulanabilirliği olmalıdır (BPIE, 2013).

### 3.2 Enerji Etkin Önlemlerin Tanımlanması

Revize Binalarda Enerji Performansı Direktifi'ne (EC,2010) göre, üye ülkeler tarafından binaların enerji performansı üzerinde önemli etkisi olan genel iç ortam koşulları, yerel koşullar, bina işlevi ve yaşını da dikkate alarak, değiştirilmeye veya yenilemeye müsait tüm elemanlar için minimum enerji performansı gerekliliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Enerji etkin önlemlerin belirlenmesi süreci ulusal seviyede belirlenen minimum enerji performansı gerekliliklerine bağlı olarak yürütülmektedir (Ferdos, 2015). Bina enerji tüketimine etki eden bina elemanları ve sistemlerinin yenilenmesine ek olarak yenilenebilir enerji kaynakları, kojenerasyon, ısı pompaları veya bölge enerji sistemleri bazlı iletim şebekesinden bağımsız enerji üretim sistemlerinin de değerlendirme içerisine alınmasına dikkat çekilmektedir (EC, 2012a).

244/2012 nolu direktife (EC, 2012a) göre:

- Spesifik konum, ekonomik ve iklimsel içeriklere uygun önlemlerin tanımlanması,
- Tanımlanan önlemler/paketler/seçenekler içinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının gözden geçirilmesi,
- Yaklaşık sıfır enerjili binalar için minimum enerji performansı koşullarını sağlayan gerekli önlemleri/paketleri/seçenekleri içermesi,
- Optimum maliyet seviyelerinden çok uzak kalan önlemlerin değerlendirme dışı bırakılması,
- CEN 15251 standardına uygun iç hava kalitesi ve iç ortam konfor seviyelerini sağlayabilen önlemler/paketler/seçeneklerin seçilmesi üye ülkelerin yapması gereken konular şeklinde sıralanmaktadır.

Belirlenen enerji etkin önlemlerin sadece tekil olarak bina enerji performansı etkisine bakılmayıp birbiriyle anlamlı etkileşimli bir bütün oluşturan önlem paketleri/senaryoları oluşturularak enerji performansının değerlendirilmesi

önerilmektedir. Belirlenen yenileme önerisi bir başka yenileme önerisi ile birlikte daha efektif bir etki yaratabilmektedir. Bazen tekil olarak uygulandığında maliyet etkin bir yenileme çalışması olmayan bir önlem optimum maliyet seviyeli bir önlem paketi/senaryosu içerisinde bulunabilmektedir (EC, 2010).

Hesaplamalarda değerlendirilecek olan senaryoların sayısı referans duruma ek olarak 10 adetten az olmaması ve mevcut yönetmeliklere uygun olması konusuna vurgu yapılmaktadır. Mevcut veya planlanan ulusal ve/veya küresel olarak kabul edilebilir standartlara dayanarak önlemlerin belirlenmesi önemlidir. Enerji etkinliği çok yüksek olan senaryolar, gelecekte standartlaşacak olan yaklaşık sıfır enerjili binalar gerekliliklerinin finansal ve çevresel etkilerinin tahmini sağlamasında dikkate alınmalıdır (BPIE, 2013). Bu çalışmada tarihi bir bina örneği üzerinde çalışıldığından dolayı yapının tarihi kültürel değerlerine zarar vermeyecek, uygulanabilir önlemlerin belirlenmesine dikkat edilmiştir. Bu yüzden yaklaşık sıfır enerjili bina standardı gerekliliklerine bağlı kalınmamıştır.

Genel olarak enerji etkin önlemler 4 kategoriye ayrılabilir. Bunlar mimari sistem geliştirmeleri (duvarlar, pencereler, çatı vb.), mekanik sistem geliştirmeleri (iklimlendirme sistemi ve sıcak su eldesi), aydınlatma sistemi geliştirmeleri ve yenilenebilir enerji sistemlerinin uygulanması veya geliştirilmesi olarak sıralanmaktadır (Ashrafian, 2016). Optimum maliyet hesaplamalarında belirlenen önlemlerin hepsinin birbiriyle kullanıldığı senaryoların oluşturulması ve hesaplamaların yapılması zaman ve anlaşılabilirlik açısından verimli olmayacağı için bu 4 ana kategoriye ayrılması faydalı olacaktır. Çok katlı bir konutta dış duvarlar %40, pencereler %30, çatılar %7, bodrum döşemesi %6 ve hava kaçakları %17 oranında toplam ısı kayıplarından sorumlu olmaktadır (Koçu ve Dereli, 2010). Bu yüzden öncelikle yapı kabuğu üzerinde alınan önlemler değerlendirilerek binanın aktif sistemlere olan ihtiyaç azaltılacaktır. Yapı kabuğu üzerinde alınan önlemlerden en verimli olanları enerji sistemleri üzerinde alınacak önlemler ile birlikte değerlendirilerek enerji tüketim miktarlarının düşürülmesi hedeflenecektir. En son olarak yenilenebilir enerji sisteminin kullanımının dağıtım sisteminden alınan enerji tüketimini azaltırken küresel maliyet açısından değerlendirmesi yapılacaktır. Galatioto et al. (2019) yaptığı çalışmada en verimli yenileme senaryosunu fotovoltaik panel uygulaması ile bulmaktadır.

Kategorilere ayırarak önlem senaryolarının belirlenmesi ve verimsiz önlemlerin değerlendirme dışına alınması sistematik bir yaklaşım sunsa da bu kategoriler içerisinde değerlendirmeye alınacak önlemlerin bina tipolojisine ve iklimsel koşullarına uygun seçilmesine uzmanlık gerektiren bir süreçtir (Sağlam, 2017).

Detaylı ve kapsamlı bir enerji etkin önlemlerin belirlenmesi çalışması gelecekte yapılacak benzer optimum maliyetli enerji performansı hesaplama

çalışmaları için şablon olacaktır (BPIE, 2013). Fakat önceki çalışmalardan örnek alınarak enerji etkin önlemler belirlenirken, referans binanın enerji performansına etki eden parametrelerin ve binanın bulunduğu bölgenin inşaa yapım maliyetlerinin dikkate alınması gerekmektedir.

### 3.3 Net Birincil Enerji Talebinin Hesaplanması

Binalarda enerji performansı direktifine (EC, 2010) göre binaların enerji performansı binanın tipik kullanımı ile ilgili enerji ihtiyaçlarını karşılayan, hesaplanan veya ölçülen enerji miktarıdır. Binanın tipik kullanımı ile ilgili enerji ihtiyaçları, ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su ve aydınlatma ihtiyaçlarını içermektedir. Optimum maliyetli enerji performansı hesaplamalarında mevcut durum ve her bir yenileme senaryosu için tüketim miktarlarının hesaplanması yapılmaktadır.

Belirlenen önlemlere ait senaryoların birincil enerji tüketim değerleri ve yenilenebilir enerji sistemlerinin değerlendirildiği aşamalarda toplam tüketime olan yüzdesi, yapının bağlı olduğu ülkenin enerji performansı hedeflerine uygunluğu ile karşılaştırılması gerekmektedir (BPIE, 2013).

Düzenleme enerji performansı hesaplamaları boyunca aşağıdaki birkaç adımın takip edilmesini önermektedir:

1. Net ısıl enerji ihtiyaçlarının hesaplanması,
2. Net ısıl enerji ihtiyaçlarından yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan ve kullanılan ısıl enerji miktarının belirlenmesi,
3. Her enerji türü için ve her nihai kullanım (ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma) için enerji kullanımlarının hesaplanması,
4. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilerek kullanılan elektrik enerjisinin hesaplanması,
5. Her enerji türü (doğal gaz, elektrik vb.) için teslim alınan enerjinin hesaplanması,
6. Teslim alınan enerji miktarlarından birincil enerji tüketimlerinin hesaplanması,
7. Dağıtım sistemine ihraç edilen enerji miktarının birincil enerji miktarının hesaplanması,

8. Birincil enerji tüketimlerinden dağıtım sistemine ihraç edilen birincil enerji miktarlarının çıkarılması ile net birincil enerji tüketimine ulaşılması ile sonuçlanmaktadır (EC, 2012a).

Direktif'e göre tasarlanmış ulusal binalarda enerji performansı hesaplama metodolojileri veya ilgili CEN standartlarının enerji hesaplamalarında kullanılması uygundur. Referans bina ve alınacak önlemler ile oluşturulan senaryoların detaylı dinamik simülasyon araçları kullanılarak hesaplanması tercih edilmektedir (Ashrafian, 2016).

Hesaplamalarda, üye ülkeler ulusal seviyede belirlenmiş enerji çevrim faktörlerini kullanarak birincil enerji kullanımlarını hesaplayacaktır ve sonuçlar metrekare başına sunulacaktır (Ganiç, 2012). Makroekonomik hesaplama perspektifinden çalışmalar yürütülürken birincil enerji kullanımları emisyon katsayıları ile çarpılarak tüketimlerin karbon etkileri hesaba katılacaktır. Milic et al. (2019) farklı enerji kaynaklarının karbon etkileri nedeniyle, enerji tüketimi ve bireysel perspektifli maliyet açısından verimli olsa dahi çevreye etki açısından daha zararlı senaryoların oluşturulabileceğine dikkat çekmiştir. Çıkacak sonuçların doğruluğu açısından enerji çevrim katsayılarının doğru seçilmesi ve periyodik olarak güncellenmesi gereklidir (BPIE, 2013).

Bu çalışmada incelenen binanın tek enerji kaynağı olan elektrik enerjisinin Türkiye için ulusal birincil enerji çevrim faktörü hesaplamalarda kullanılmıştır. Elektrik çevrim faktörü 2.36 olarak belirlenmiştir.

### 3.4 Küresel Maliyet Hesaplamaları

Optimum maliyet analizinin yapımında farklı hesaplama perspektiflerinden biri seçilerek küresel maliyet hesaplamaları yapılmaktadır. Bu hesaplama perspektifleri:

- “Sosyal makro-ekonomik perspektif” iklim değişikliği ve CO<sub>2</sub> emisyonları maliyetleri gibi sosyal faydaları içermekte, ulusal vergileri ve destekleri içermemektedir;
- “Bireysel kullanıcı perspektifi” kullanıcı bakış açısından vergileri ve destekleri, maliyetleri ve faydaları hesaba katmaktadır;
- “İdealleştirilmiş kullanıcı mikro ekonomik perspektif” tipik kullanıcı tanımı belirler (Farklı kullanıcı perspektiflerinin etkilerinden kaçınarak) ve yatırım maliyetlerini dikkate almamaktadır (Ferdos, 2015).

Hesaplama periyodu kısaltıkça ilk yatırım maliyetinin hesaplara olan etkisi artış göstermektedir (Karasek et al., 2018). AB'nin ilgili yönetmeliğinde küresel maliyet hesaplama periyodu kamu binaları ve konutlar için 30 yıl, konut dışı, ticari binalar içinde 20 yıl olarak tanımlanmıştır (EC, 2012a).

EN 15459-1 standardına (2017) göre küresel maliyeti “Yatırım maliyetlerini içeren tüm maliyetlerin bugünkü değerinin toplamı” olarak tanımlamaktadır. Standarda göre hesaplama periyodu sonunda, yıkım maliyetleri veya kalan değeri malzemenin maliyetinin belirlenmesinde dikkate alınmalıdır. Yıkım maliyetlerinin hesaplama dahil edilmesi yönetmeliğe göre zorunlu değildir. Özellikle yeni yapılacak binalarda farklı bina yapım yöntemlerinin değerlendirilmesinde binanın yaşam ömrü sonunda çıkacak olan yıkım maliyetleri önemli olmaktadır. Bunun dışında hesaplama periyodundan önce yaşam ömrünün sonuna gelen bir bina elemanının yenilenmesi sırasında yıkım maliyetleri, yenileme maliyetlerinin içerisinde katılabilmektedir (EC, 2012b).

Değerlendirilecek enerji etkin önlemler ile ilgili ortak olan maliyetler ve enerji performansını etkilemeyen bina elemanları ile ilgili maliyetler küresel maliyet hesaplamalarına dahil edilmeyebilir (Ganiç, 2012).

Çalışma binası bir kamu binası olduğu için hesaplama periyodu direktife uygun olarak 30 yıl belirlenmiştir. Hesaplama periyodunun etkilerinin değerlendirilebilmesi adına 10 yıllık ve 20 yıllık süreçler de ayrıca değerlendirilmiştir. EN 15459-1 standardına (2017) göre küresel maliyet hesaplamaları metodolojisi aşağıdaki başlıklara ayrılmıştır:

- Finansal verilerin toplanması
- Proje verilerinin toplanması
- Malzeme ve sistemler ile ilgili maliyetler
- Enerji maliyetleri
- Küresel maliyet hesaplamaları

### **3.4.1 Proje ve finansal verilerin toplanması**

Hesaplama periyodu, enflasyon oranı, piyasa faiz oranı, işletme giderlerinin gerçekleşme oranı ve enerji fiyatlarındaki gelişmeler küresel maliyet hesaplamalarında gerekli olan finansal verilerdir.

Avrupa Birliği üye ülkeleri için gaz ve elektrik fiyatları hakkında piyasa bilgileri ve petrol, gaz, kömür ve elektrik enerjisi karbon fiyatları ile ilgili



gelişmeler hakkında AB yönetmeliği No 244/2012 Ek-II'den bilgi sağlanabilmektedir. Diğer enerji kaynakları için, ulusal ve yerel bilgiler toplanarak kullanılabilir (EC, 2012a).

Maliyet verileri piyasadaki fiyatları baz alır ve çalışmanın yapıldığı bölge ve zamana uygun ulusal seviyedeki gerçek maliyetleri dikkate alır. Avrupa komisyonun yayınladığı kılavuzlarda maliyet verileri piyasa bazlı maliyet veri tabanlarından, inşaat firmaları tekliflerinden veya yakın zamanda yapılmış projelerdeki fiyatlardan toplanabileceğini belirtmektedir (EC, 2012b). BPIE (2013) maliyet verilerinin bina stoku verileri gibi bir veri bankasında toplanarak sürekli güncellenmesini önermektedir. Maliyetlere ilişkin verilerin herkes tarafından ulaşılabilir olması, değerlerin incelenmesi ve değerlendirilmesi açısından faydalı olacağı vurgulanmaktadır.

Ayrıca maliyet verilerinin düzenli olarak kayıt altına alınması ve yıllara göre gelişiminin takip edilmesi gelecek maliyet tahminlerinin daha tutarlı olmasını sağlayacaktır. Ayrıca toplanan bu veriler yasal düzenleyiciler için hedeflerin oluşturulmasında araç olacaktır (BPIE, 2013).

Bazı bina elemanları ve ürünleri ile ilgili yaklaşık yaşam ömürleri ve bakım maliyetleri EN 15459-1 standardı Ek D'de (2017) bulunmaktadır.

Bu çalışmada, maliyet verileri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan birim fiyatlardan alınmıştır. 2018 yılı bazında malzeme, yapım ve kurulum maliyetlerini içermektedir. Bu çalışmada değerlendirilen ve birim fiyatlar içinde bulunmayan enerji etkin önlemler için maliyet bilgisi piyasada bu önlemler hakkında uygulama yapan firmalardan alınmıştır. Malzemelere ait yaşam ömürleri ve bakım maliyetleri EN 15459-1 standardından (2017) alınmıştır. Piyasalar için enflasyon oranı, faiz oranı ve döviz kuru gibi finansal değerleri istatistiksel verilerden baz alınmıştır.

Bina lokasyonu, iklim verileri ve diğer proje hakkında veriler 4.bölümde açıklanmıştır.

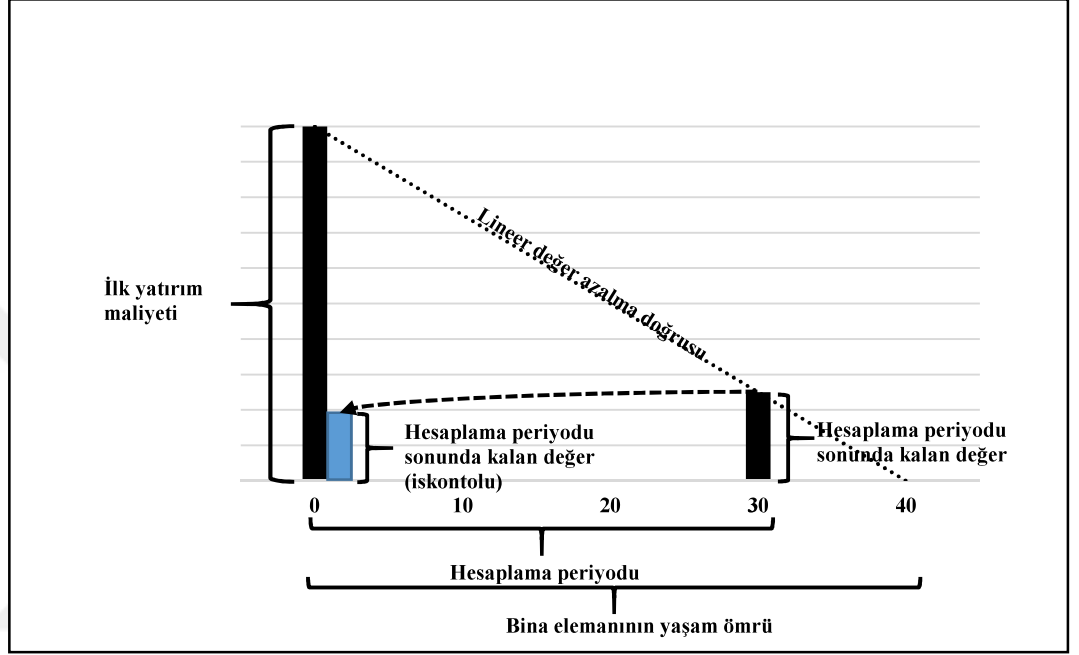
### **3.4.2 İşletme maliyetleri**

İşletme maliyetleri bakım ve tamir maliyetlerini içermekte ve yıllık olarak eklenecek bu bedel yatırım maliyeti ile orantılı olarak hesaplamalara eklenmektedir.

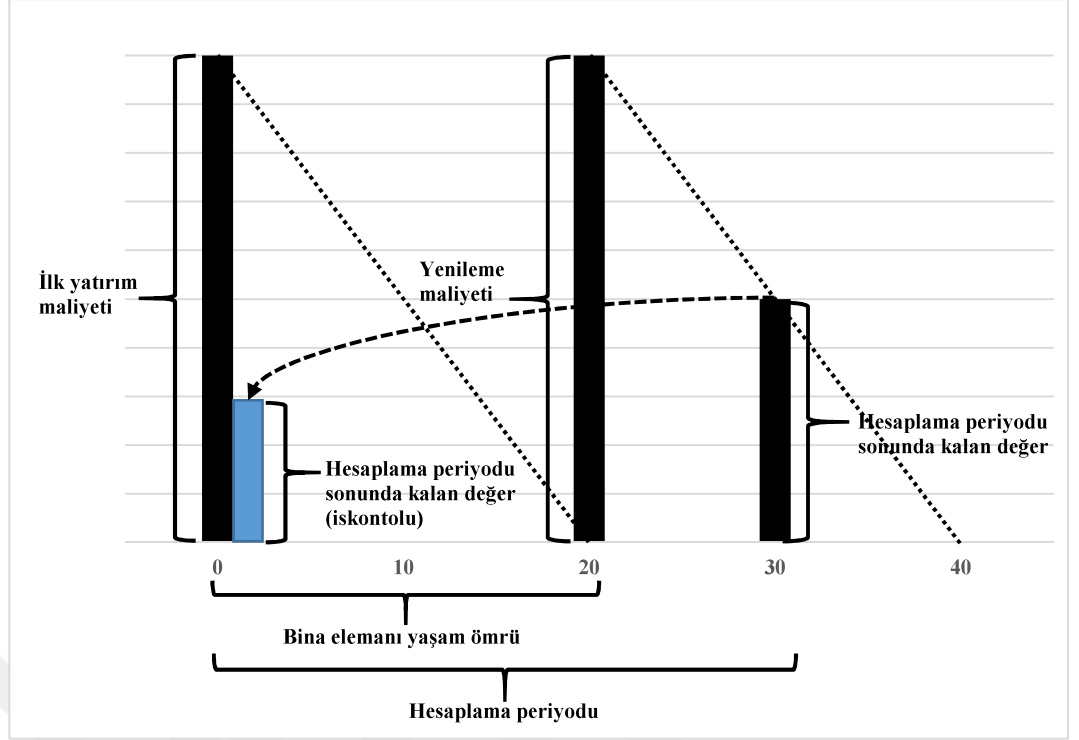
Yenileme maliyetleri EN 15459-1 Ek D'de (2017) belirtilen malzeme yaşam ömrünün sonu gelen malzemelerin yenilenmesinin bedeli küresel maliyet hesaplamalarına eklenmektedir. Hesaplama periyodunun sonunda malzemenin

yaşam ömrünün sonuna gelmediği durumlarda kalan yaşam ömrü için değeri küresel maliyet hesaplarından çıkarılmaktadır (Ganiç, 2012).

Kalan yaşam ömrü bina elemanın maliyetinin yaşam ömrü boyunca değerinin lineer olarak azaldığının kabulü ile yapılmaktadır. Hesaplama periyodu sonunda malzemenin kalan ömrü bu kabule göre hesaplanıp iskonto faktörü ile çarpılır (EC, 2012b).



Şekil 3.1-Hesaplama periyodu sürecinde bina elemanın yaşam ömrünün gelişimi (EC, 2012b).



Şekil 3.2-Hesaplama periyodu içerisinde yenilenen bina elemanının kalan değerinin gelişimi (EC, 2012b).

Enerji maliyetleri hesaplanan yıllık tüketim değerleri ve birim enerji fiyatları ile hesaplanmaktadır. Enerji maliyetlerine, ek olarak sabit ücretler (üyelik ücretleri, kiralama ücretleri) ve enerji fiyatlarının yıllık artış oranları hesaba katılmıştır.

Bu çalışmada, enerji maliyet hesaplamaları 2018 yılı elektrik birim fiyat ortalaması kullanılarak hesaplanmıştır.

### 3.4.3 Küresel maliyet

Küresel maliyet hesaplamaları iki perspektiften yapılabilmektedir. Bunlar finansal hesaplama ve makroekonomik hesaplama.

Finansal hesaplamada, kullanıcıyı etkileyen tüm maliyetler uygulanan vergiler ve sabit ücretler ile birlikte dikkate alınmaktadır (Ganiç, 2012).

$$C_g(t) = C_I + \sum_j \left[ \sum_i^t (C_{a,i}(j) \times R_d(i)) - V_{f,t}(j) \right] \quad (3.1)$$

- T hesaplama periyodu
- $C_g(t)$  hesaplama periyodu sonunda küresel maliyet

- $C_I$  önlem veya önlem dizisi  $j$  için ilk yatırım maliyeti
- $C_{a,i}(j)$  önlem veya önlem dizisi  $j$  için  $i$  yılındaki yıllık giderler
- $V_{f,t}(j)$  önlem veya önlem dizisi  $j$  için hesaplama periyodu sonunda kalan bedeli
- EN 14549-1'e (2017) göre  $R_d(i)$   $i$  yılı bazında reel iskonto oranı ( $R_r$ ) üzerinden hesaplanan iskonto faktörü, denklem 3.2 ile hesaplanır. Direktif hesaplamalarda iskonto oranı ( $r$ ) kavramını ortaya koymuştur ve finansal perspektiften hesaplamalar için %2 ile %4 arasında bir oranın belirlenmesini uygun görmektedir.

$$R_d(p) = \left( \frac{1}{1 + R_r} \right)^p \quad (3.2)$$

- $p$  hesaplama başlangıç yılından itibaren geçen yıl sayısı
- Reel iskonto oranı ( $R_r$ ) enflasyon oranı ( $R_i$ ) ve piyasa faiz oranı ( $R$ ) bağlı olarak denklem 3.3 ile hesaplanır.

$$R_r = \frac{R - R_i}{1 + R_i} \quad (3.3)$$

Makroekonomi hesaplamalara, var olan vergiler, sabit ücretler ve teşvikler dışındaki tüm maliyetler dikkate alınır. Makroekonomik hesaplama sosyal faydaları belirlemek için, yukarıda belirtilen maliyetlere ek olarak sera gazı emisyonlarının maliyetli hesaba katmaktadır (Ferdos, 2015).

$$C_g(t) = C_I + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^t (C_{a,i}(j) \times R_d(i) + C_{c,i}(j)) - V_{f,t}(j) \right] \quad (3.5)$$

- $C_{c,i}(j)$  önlem veya önlem dizisi  $j$  için  $i$  yılın boyunca karbon maliyeti

### 3.5 Duyarlılık Analizinin Yapılması

Duyarlılık analizi, optimum maliyet hesaplamalarına etki eden ana ekonomik parametrelerin etkilerinin analiz edilmesini hedefleyen bir aşamadır. Yönetmelik, üye ülkelerin, ulusal bir bağlamdaki tüm enerji taşıyıcıları için farklı fiyat senaryoları üzerinde en az bir duyarlılık analizi gerçekleştirmesini ve ayrıca, makroekonomik ve finansal maliyet optimum hesaplamaları için kullanılacak iskonto oranı için en az iki senaryosunun gerçekleştirmesini gerektirmektedir (Ferdos, 2015).

Duyarlılık analizinde belirlenen enerji fiyat gelişim oranı ve iskonto oranı ile farklı enerji etkin önlem senaryolarının optimum maliyetli enerji seviyesi olması gerçekleşebilmektedir (BPIE, 2013). Optimum maliyetli enerji seviyesi ile yaklaşık sıfır enerjili bina seviyesinin ulaşılabilirliği duyarlılık analizleri sonucunda değerlendirilebilmektedir (Sağlam, 2017).

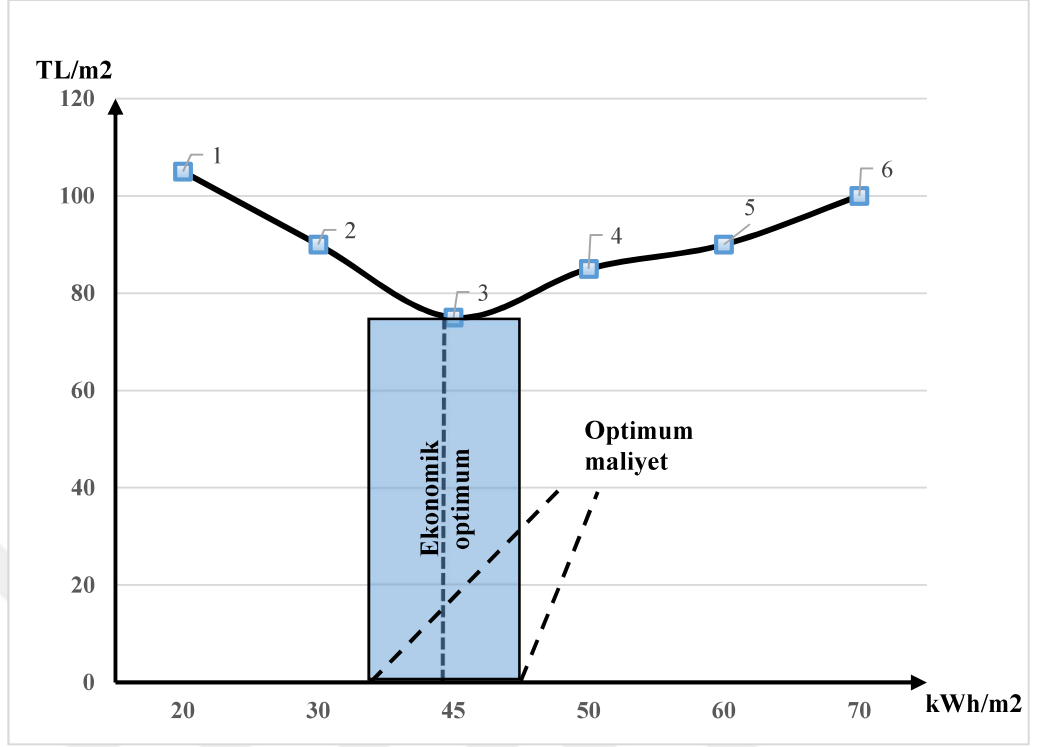
Değerlendirilen iskonto oranları bireysel yatırımcının minimum yatırım geri kazançlarını yansıtan seçeneklerde olması gerekmektedir. %2-%4 arası düşük iskonto oranları enerji etkin önlemlerin uzun vadeli faydalarının görülmesi AB üye ülkeler adına değerlendirilebilir seçeneklerdir. Daha düşük iskonto oranları daha yüksek küresel maliyetleri ortaya çıkarmaktadır (BPIE, 2013).

### 3.6 Optimum Maliyetli Enerji Seviyesinin Belirlenmesi

Hesaplamaların son aşamasında referans binanın değerlendirilen önlemler veya senaryolar için optimum maliyetli enerji seviyesinin belirlenmesidir. Belirlenen bu optimum maliyetli enerji seviyesi, değerlendirme yapılan üye ülkenin belirlemiş olduğu minimum enerji performansı seviyesine uygun olması gerekmektedir. Bu iki enerji seviyesi arasındaki fark %15'i aştığında durum üye ülke tarafından raporlanmalı ve bu farkı azaltacak önlemler belirlenmelidir (EC, 2010).

Optimum maliyet noktası binanın tahmini ekonomik yaşam ömrü boyunca en düşük maliyet sunan enerji performansı seviyesidir. Hesaplamalardaki amaç, binanın kullanım ömrü boyunca yer alan tüm bileşenlerin enerji performansları ile hesaplanan yatırım ve işletme maliyetleri arasında iyi bir uzlaşmanın belirlenmesidir (Carpino and et al., 2018). Maliyet hesaplamaları küresel maliyet hesaplamalarına uygun olarak, dikkate alınan binanın yaşam ömrüne göre belirlenen periyot boyunca yapılmaktadır. Her değerlendirilen önlem veya senaryonun enerji performansı sonuçları ve küresel maliyetleri karşılaştırılarak optimum maliyetli enerji seviyesine ulaşılabilir. Değerlendirilen önlemlerin veya senaryoların uygulanması sonucu bina tüketimleri çizilecek grafiğin x eksenine kWh/m<sup>2</sup> cinsinden birincil enerji, y ekseninde TL/m<sup>2</sup> cinsinden küresel

maliyetler yerleştirilecektir. Değerlendirilen önlemlerin veya senaryoların grafik üzerine yerleştirilmesi ile maliyet eğrisi oluşturulabilmektedir (Ferdos, 2015).



Şekil 3.3-Örnek küresel maliyet-birincil enerji tüketimleri grafiği (EC, 2012b).

Şekil 3.3'de farklı seçeneklere ait iyileştirme önerisini göstermektedir; 3 numaralı iyileştirme önerisi en düşük maliyete sahip ve birincil enerji ile toplam maliyet arasından en uygun öneri olarak görülmektedir. Bu noktaya ait iyileştirme önerisi referans bina için en uygun maliyet enerji seviyesini belirtmektedir. Uygulamalar sırasında maliyet eğrisi birkaç noktada uygun maliyet seviyesine ulaşabilir. Hesaplamalarda, aynı toplam maliyete sahip farklı tüketim değerlerine sahip önlemler için, daha düşük tüketim değerine sahip olan önlem minimum enerji performansı gereksinimleri ile karşılaştırılacak olan optimum maliyetli enerji seviyesidir (EC, 2012b).

AB üye ülkeleri hesaplamalar sonucunda belirledikleri optimum maliyetli enerji performansı seviyesi ile yaklaşık sıfır enerjili bina seviyesi arasındaki farkın ekonomik ve çevresel etkilerini değerlendirerek ulusal politikalarına şekil vermesi beklenilmektedir (BPIE, 2013).

Bu çalışmada belirlenen önlemlerin referans bina üzerinde uygulanması ile etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yapı elemanları üzerinde yapılacak yenileme senaryolarının performanslarına ek olarak mekanik sistemlerin iyileştirilmesi ve yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonu ile birlikte etkisi ayrı olarak sunulmuştur.

## 4.TARİHİ BİNA ÖRNEĞİNDE OPTİMUM MALİYETLİ ENERJİ ETKİN İYİLEŞTİRME

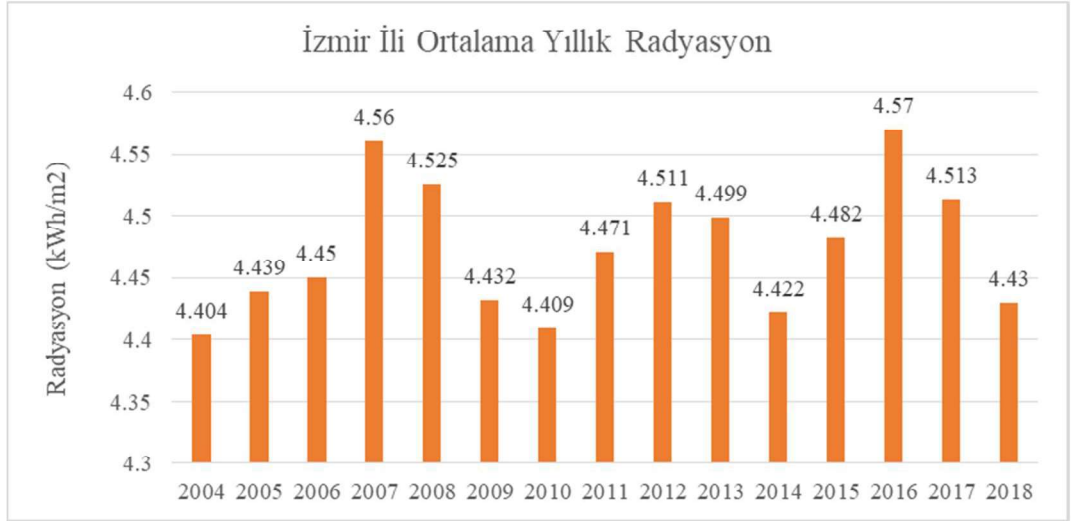
### 4.1 Konum ve İklimsel Özellikleri

Çalışmanın yapıldığı örnek bina İzmir ilinde bulunmaktadır. 37°45' ve 39°15' kuzey enlemleri ile 26°15' ve 28°20' doğu boylamları arasında kalan il toprakları Ege Bölgesi'ndedir. İzmir, Akdeniz iklim kuşağında içinde olup BEP hesaplamalarında 1.bölge il grubunda bulunmaktadır. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçmektedir. İl genelinde yıllık ortalama sıcaklıklar kıyı kesimlerde 14-18 °C aralığında değişmektedir. En sıcak geçen aylar Temmuz (28,0 °C) ve Ağustos (27,6 °C), en soğuk geçen aylar ise Ocak (8,7 °C) ve Şubat (9,5 °C) aylarıdır. Nem oranı yüksek olan şehirde en yüksek sıcaklıkların geçtiği Ağustos ayında nem oranı %49'a kadar yükselmektedir (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2019).

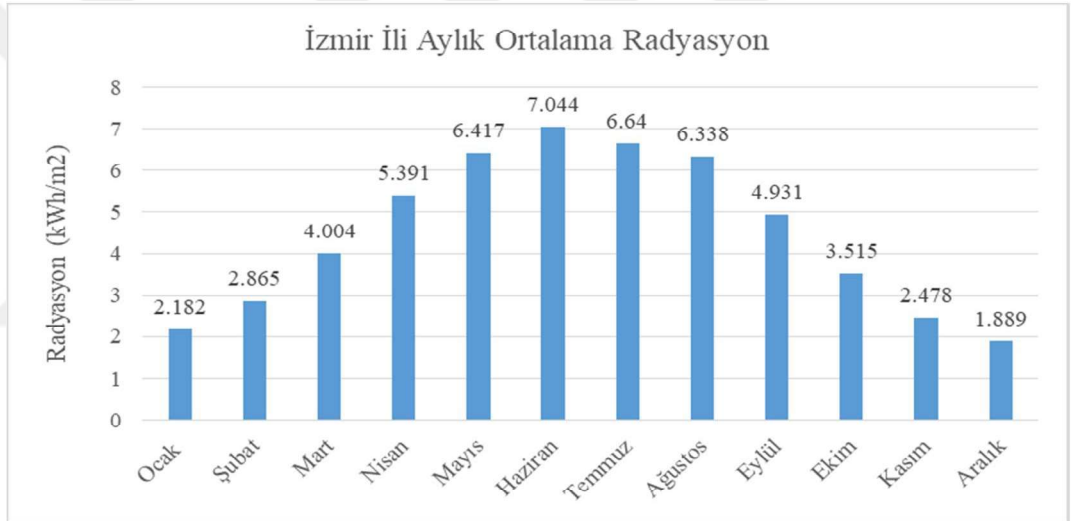
İZMİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu ( 1938 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	8.7	9.5	11.6	15.8	20.8	25.5	28.0	27.6	23.6	18.7	14.1	10.4	17.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	12.4	13.6	16.2	20.9	26.1	30.7	33.2	32.9	29.1	23.9	18.5	14.0	22.6
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	5.7	6.2	7.6	11.1	15.4	19.8	22.4	22.3	18.6	14.5	10.7	7.5	13.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.3	5.2	6.4	7.9	9.8	11.6	12.3	11.9	10.1	7.6	5.6	4.2	96.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.6	10.8	9.3	7.9	5.4	2.2	0.4	0.5	2.0	5.4	8.8	12.7	78.0
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	132.7	102.2	76.1	45.4	31.1	9.9	1.7	2.9	13.6	43.8	92.9	143.1	695.4
Ölçüm Periyodu ( 1938 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.4	27.0	30.5	32.5	37.6	41.3	42.6	43.0	40.1	36.0	30.3	25.2	43.0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-8.2	-5.2	-3.8	0.6	4.3	9.5	15.4	11.5	10.0	3.6	-2.9	-4.7	-8.2

Şekil 4.1-İzmir İli genel istatistik verileri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2019).

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de verilen güneş radyasyonu verilerine göre İzmir ili güneş enerjisi kullanımı açısından önemli bir potansiyele sahiptir.



Şekil 4.2-İzmir İli ortalama yıllık güneş radyasyon verileri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2019).

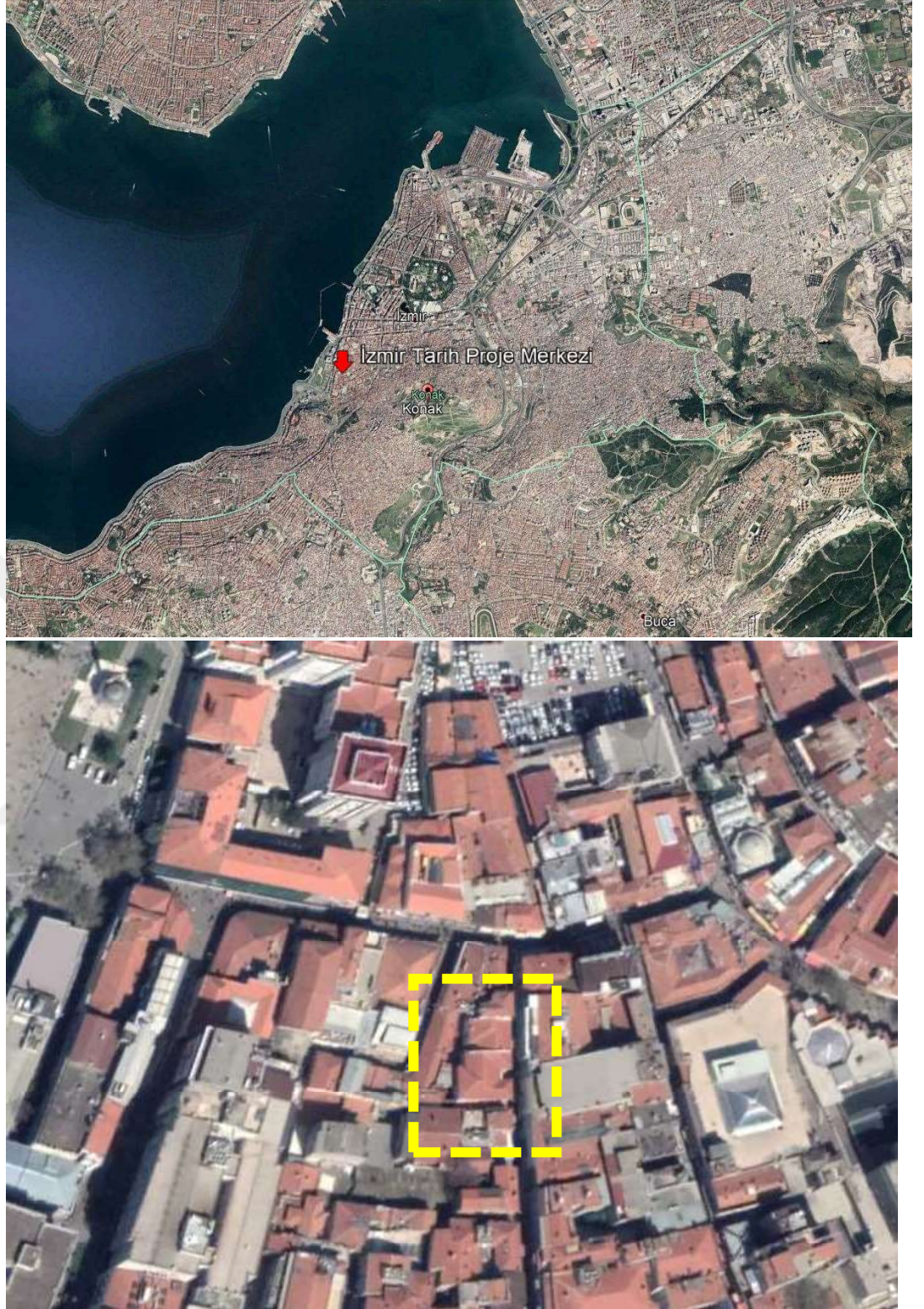


Şekil 4.3-İzmir İli aylık ortalama güneş radyasyon verileri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2019).

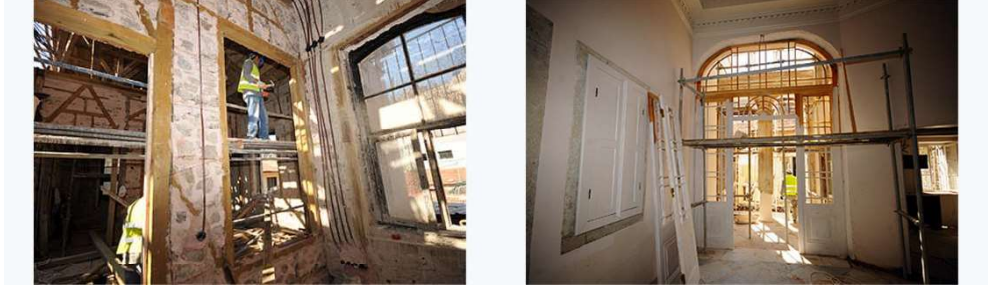
## 4.2 Binaya İlişkin Veriler

Tez çalışmasının yürütüldüğü örnek tarihi bina Ahmet Ağa Konağı'dır. Tarihi Ahmet Ağa Konağı İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından 2013 yılında gerçekleştirilen restorasyon çalışmaları ile yeni işlevine uygun olarak kullanıma kazandırılmıştır (İzmir Tarih, 2019a). İzmir Büyükşehir Belediyesi, Tarihsel Çevre ve Kültür Varlıkları Şube Müdürlüğü kullanımına tahsis edilmiştir. İzmir ili, Konak ilçesinde yer almaktadır ve tapuda 180 ada 36, 37 parsellerine kayıtlıdır. Tarihi bina (Ahmet Ağa Konağı) İzmir Tarih Proje Merkezi olarak kullanılmakta ve İzmir Tarih Projesi yürütülmektedir. Proje Birimi, Tasarım Atölyesi, Katılım Sağlama ve Halkla İlişkiler Birimi ve Arkeoloji Yönetim Birimi alt birimlerini içerisinde barındıran Proje Merkezi faaliyetleri yönetmekte ve koordinasyonu sağlamaktadır.





Şekil 4.4-Binanın Google Earth programı üzerinden lokasyonu.



Şekil 4.5-Binanın restorasyon aşamalarından fotoğrafları (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2019) ve dış cephe görünümü (İzmir Tarih, 2019b).

#### 4.2.1 Binanın mimari özellikleri

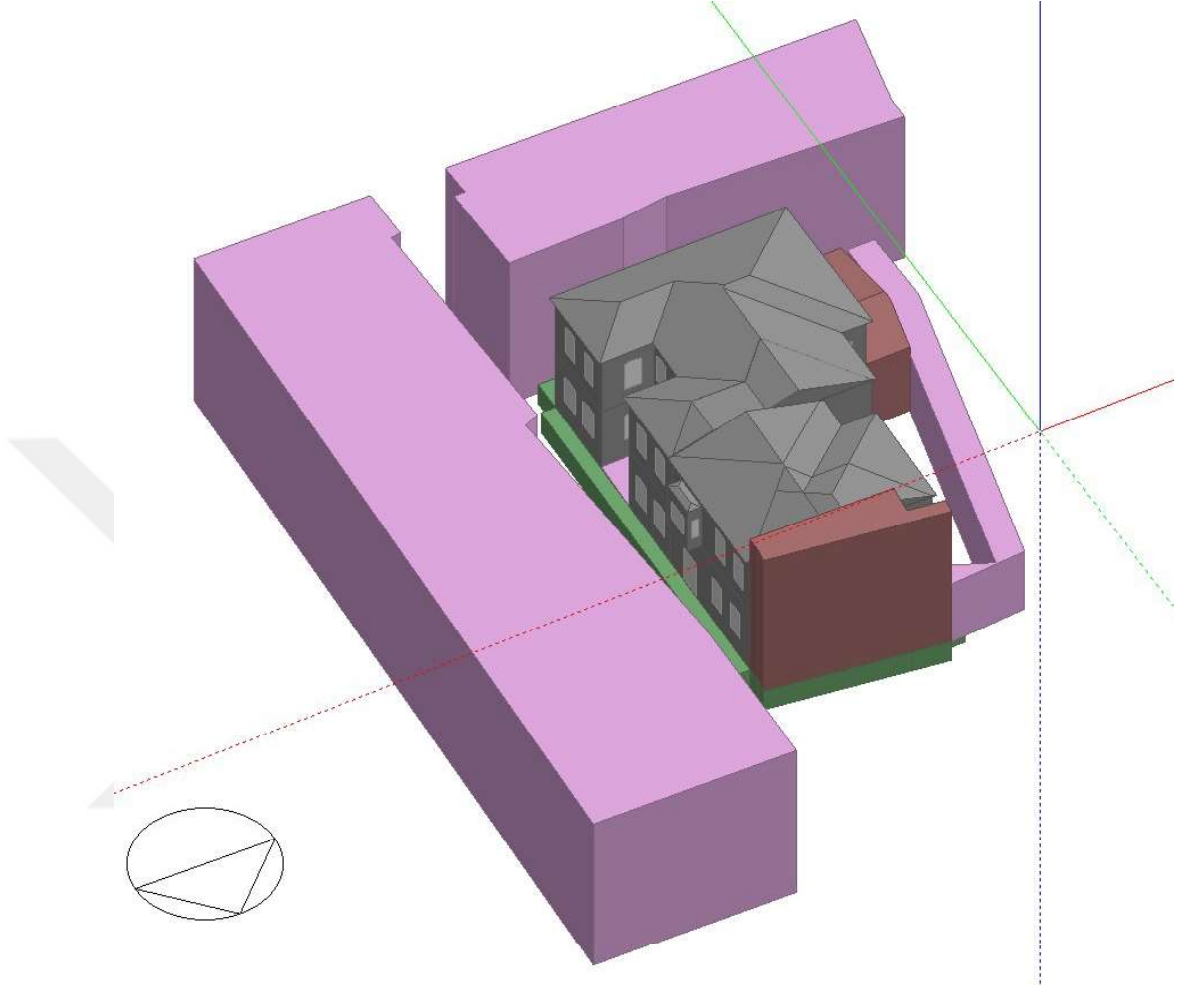
Bina 365 m<sup>2</sup> oturma alanına sahip olup iki ana bölümden oluşmaktadır. Bina cephe yüksekliği 10,85 m olup bodrum kat üzerine iki ana kat ve bir ara kata sahiptir.

Binanın kuzey ve batı cephelerinde bitişik nizamda, güney ve doğu cephelerinde 3-4 metre aralıkla komşu yapılar bulunmaktadır.

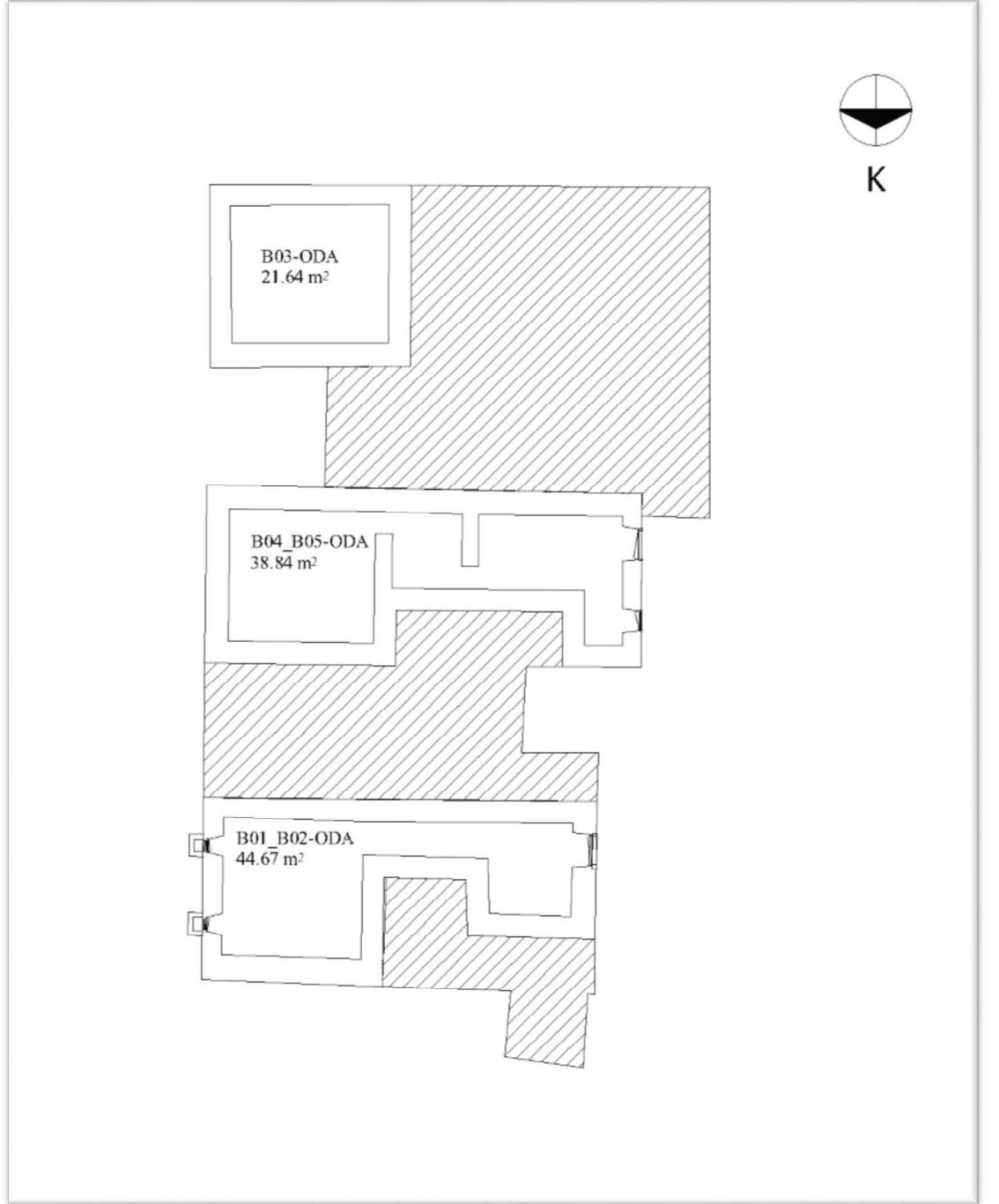
Yapının DesignBuilder bina enerji simülasyon programında hazırlanan 3D model görüntüsü Şekil 4.4’de verilmektedir. Binanın mimari özellikleri yapı revize



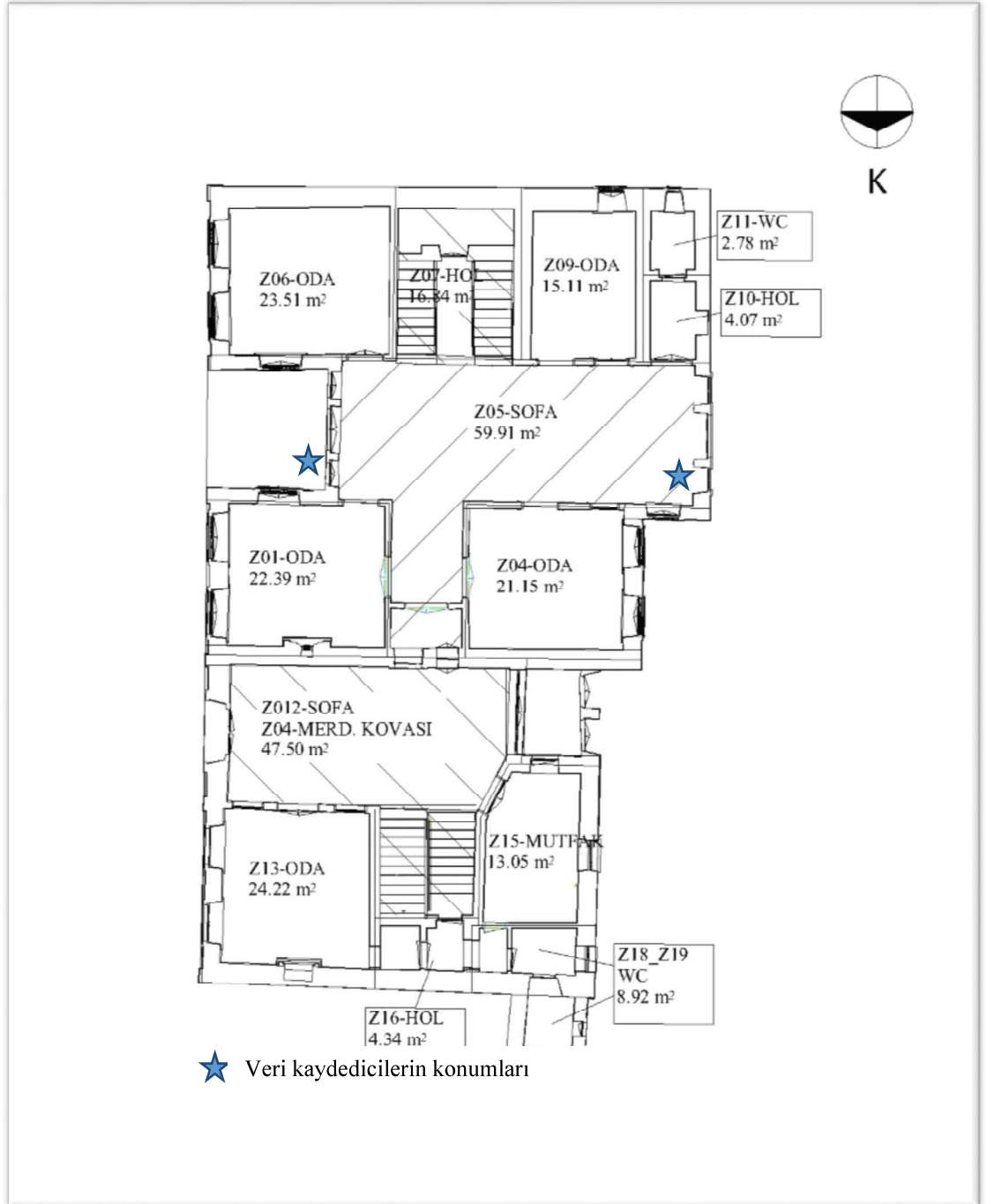
restorasyon çalışması iş sonu projesinden alınmıştır. Şekil 4.5’de bodrum kat planı, şekil 4.6’da zemin kat planı, şekil 4.7’de ara kat planı ve Şekil 4.8’de üst kat planı görülmektedir.



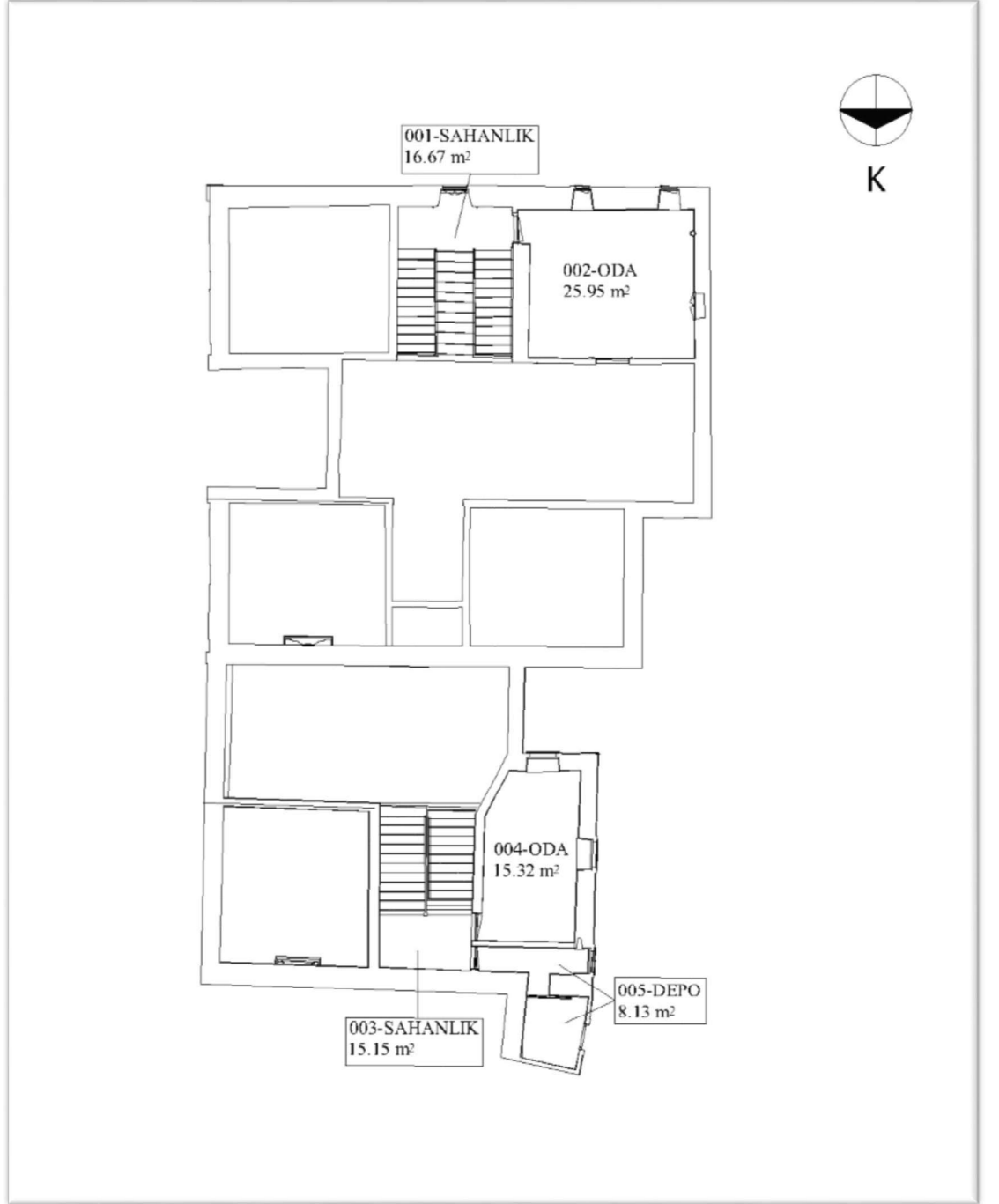
Şekil 4.6-Binanın DesignBuilder programında hazırlanan 3D modeli.



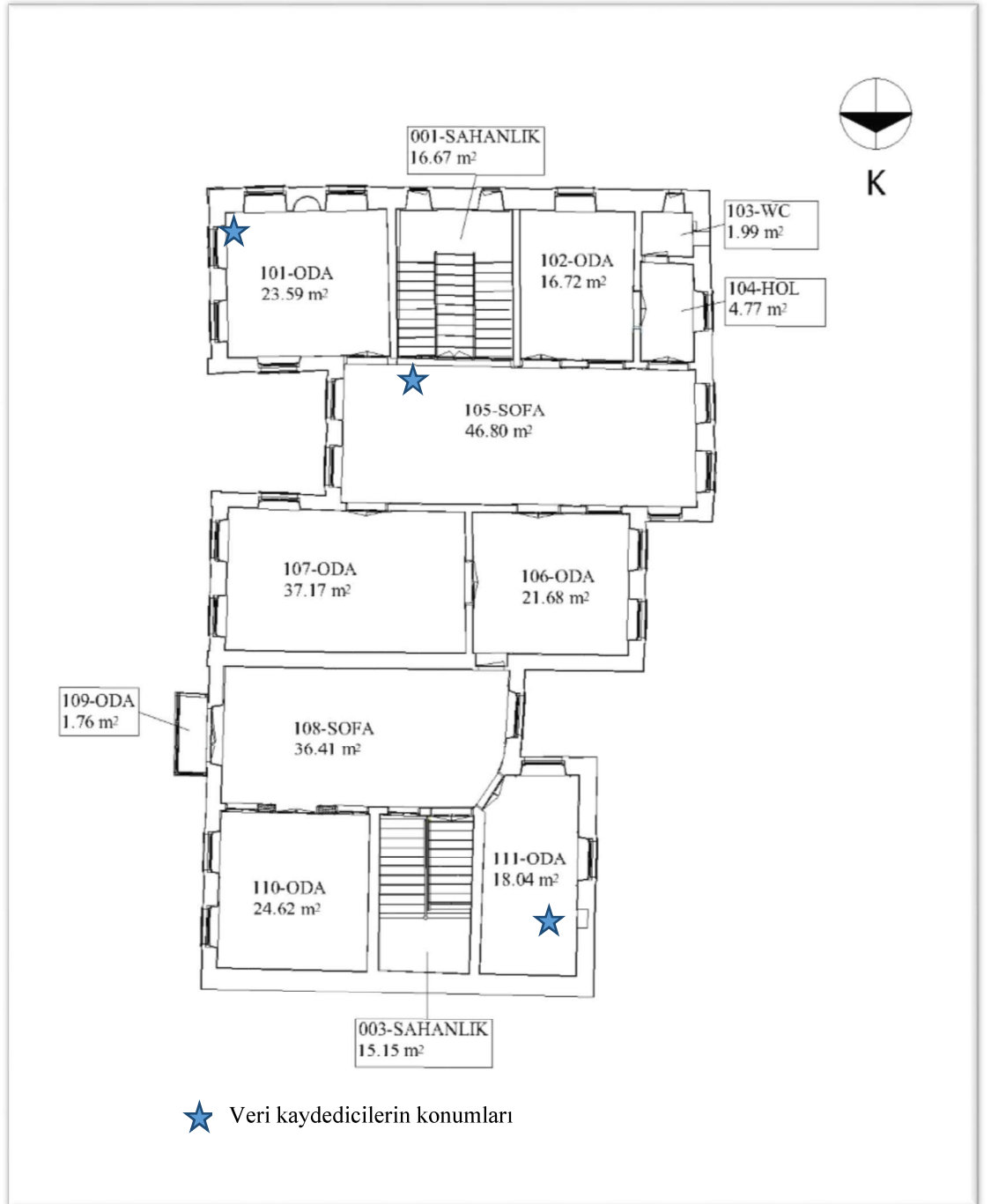
Şekil 4.7-Bodrum kat planı.



Şekil 4.8-Zemin kat planı.



Şekil 4.9-Ara kat planı.



Şekil 4.10-Üst kat planı.



Şekil 4.11-Örnek bina doğu cephesi.



Şekil 4.12-Örnek bina batı cephesi.



Şekil 4.13-Örnek bina güney cephesi.



Tarihi yapı ahşap karkaslı yığma yapı özelliğindedir (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2019). Yapının fiziksel özellikleri restorasyon yapımı sırasında çekilmiş olan fotoğraflar ve mimari projesine göre belirlenmiştir.

Yapının iç ve dış duvar kalınlıkları farklılık göstermesine karşın aynı katmanlardan oluşmaktadır. Dış duvar kalınlıkları proje plan görünümüne 40 cm ile 75 cm arasında olmak ile birlikte, iç duvar kalınlıkları 20 cm ile başlayıp binanın iki ana bölümünün birleştiği aksta 70 cm'ye kadar çıkmaktadır.

Binanın ara kat döşemesi, çatı katı döşemesi ve çatısında ahşap kirişlerden oluşmaktadır. Ahşap kirişlerin arası boşluk bırakıldığı ve bu boşluklar kesitte ahşap kirişlerden daha fazla hacim kapladığı için bu yapı elemanlarına ait bileşenler DesignBuilder programında tanımlanırken ahşap kirişler yerine hava boşluğu dikkate alınmıştır. Yapının mevcut çatı kırma çatı şeklinde olup, çatı katı döşemesinde 5 cm kalınlığında taş yünü yalıtımı kullanılmıştır.

Tablo 4.1-Yapı elemanlarının bileşenleri ve fiziksel özellikleri.

Yapı Elemanı	Katmanlar	Kalınlık (m)	$\lambda$ (W/mK)	U (W/m <sup>2</sup> K)
Dış Duvar	Dış Sıva	0,02	0,72	1,467-0,898
	Yığma Duvar	0,36-0,71	0,81	
	İç Sıva	0,02	0,51	
İç Duvar	İç sıva	0,02	0,51	1,866-0,867
	Yığma Duvar	0,16-0,66	0,81	
	İç Sıva	0,02	0,51	
Bodrum Duvarı	Yığma Duvar	0,68	0,81	0,964
	İç Sıva	0,02	0,72	
Zemin Döşemesi (Seramik Kaplama)	Betonarme	0,25-0,35	2,3	2,781-2,481
	Şap Betonu	0,05	1,5	
	Seramik Kaplama	0,006	0,8	
Zemin Döşemesi (Mermer Kaplama)	Betonarme	0,25	2,4	2,773
	Şap Betonu	0,05	1,5	
	Mermer Kaplama	0,03	3,5	
Ara Kat Döşemesi	Ahşap Kaplama	0,02	0,14	1,397
	Hava Boşluğu	0,15	R (m <sup>2</sup> -K/W)=0,22	
	Ahşap Kaplama	0,02	0,14	
Çatı	Kiremit Kaplama	0,025	1	2,163
	Hava Boşluğu	0,24	R (m <sup>2</sup> -K/W)=0,22	
	Çatı Keçesi	0,005	0,19	
	OSB	0,013	0,105	
Çatı Katı Döşemesi	Hava Boşluğu	0,24	R (m <sup>2</sup> -K/W)=0,22	0,531
	Taş Yünü	0,05	0,04	
	Ahşap Kaplama	0,02	0,14	

Yapının pencere boyutları değişkenlik göstermekte olup hepsi tek camlı ahşap doğramadan oluşmaktadır.

Tablo 4.2-Pencere özellikleri.

Pencere	Kalınlık (m)	U (W/m <sup>2</sup> K)	Güneş Isı Kazanç Katsayısı	Işık Geçirgenliği
Ahşap Doğramalı Tek Cam	0,03	5,894	0,861	0,898

#### 4.2.2 Bina tesisat sistemi

Binada ısıtma ve soğutma ihtiyaçları iki borulu VRF sistemi ile sağlanmaktadır. Binanın arka bahçesinde bulunan 90kW soğutma, 100kW ısıtma kapasitesine sahip dış ünite ve alanlarda bulunan iç üniteler ile sistem çalışmaktadır. Sistemin katalog verilerine göre soğutmada enerji verimlilik oranı (EER) değeri 3,20, ısıtma performans katsayısı (COP) değeri 3,60 olmaktadır. (Mitsubishi Heavy Industries, 2012) Her iç ünitenin ayrı kontrol kumandası bulunmaktadır. İklimlendirme sistemine ait projeden alınan iç ünitelere ait detaylar Tablo 4.1’de verilmektedir. Binada sıcak su ihtiyacı bulunmamaktadır.

Isıtma sistemi resmi tatil günleri dışında hafta içi her gün 07:00-18:00 saatleri ve cumartesi günleri 09:00-15:00 saatleri arasında çalışacak şekilde simülasyonda tanımlanmıştır. Isıtma sisteminin termostat değeri 22°C olarak tanımlanmıştır. Soğutma sistemi resmi tatil günleri dışında hafta içi her gün 08:30-18:00 saatleri ve cumartesi günleri 09:00-15:00 saatleri arasında çalışacak şekilde tanımlanmıştır. Soğutma sistemi için ise termostat değeri 26°C olarak tanımlanmıştır.

Tablo 4.3-Isıtma ve soğutma iç ünitelerinin bulunduğu alanlar.

Alanlar	İç Ünite	Isıtma Kapasitesi	Soğutma Kapasitesi
Z13-ODA	Döşeme Tipi Klima	8 kW	7,1 kW
110-ODA	Döşeme Tipi Klima	6,3 kW	5,6 kW
Z12-SOFA Z14-MERD.K.	Duvar Tipi Klima	8 kWx2	7,1 kWx2
108-SOFA	Döşeme Tipi Klima	5 kWx2	4,5 kWx2
Z15-MUTFAK	Duvar Tipi Klima	3,2 kW	2,8 kW
004-ODA	Duvar Tipi Klima	3,2 kW	2,8 kW
111-ODA	Döşeme Tipi Klima	4 kW	3,6 kW
Z06-ODA	Döşeme Tipi Klima	8 kW	7,1 kW
101-ODA	Döşeme Tipi Klima	8 kW	7,1 kW
Z04-ODA	Duvar Tipi Klima	8 kW	7,1 kW
106-ODA	Döşeme Tipi Klima	5 kW	4,5 kW
Z05-SOFA	Duvar Tipi Klima	6,3 kWx2	5,6 kWx2
105-SOFA	Döşeme Tipi Klima	6,3 kW	5,6 kW
Z01-ODA	Duvar Tipi Klima	8 kW	7,1 kW
107-ODA	Döşeme Tipi Klima	8 kW	7,1 kW
Z09-ODA	Duvar Tipi Klima	8 kW	7,1 kW
002-ODA	Duvar Tipi Klima	3,2 kW	2,8kW
102-ODA	Döşeme Tipi Klima	4 kW	3,6 kW

Aydınlatma sistemi kompakt floresan ampuller ile sağlanmaktadır. Aydınlatma sistemi kontrolü her alan için ayrı olup sadece kapalı ve açık olarak ayarlanabilmektedir. Ayrıca binada 200 W toplam güce sahip dış aydınlatma sistemi bulunmaktadır.

Tablo 4.4-Aydınlatma ekipmanları.

Alanlar	Toplam Alan (m <sup>2</sup> )	W/m <sup>2</sup>	Aydınlatma Ekipmanları
B01_B02 ODA	44,67	-	
B03 ODA	21,64	-	Aydınlatma tanımlanmadı
B04_B05 ODA	38,84	-	
Z01-ODA	22,39	4,47	5 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
Z04-ODA	21,15	4,73	5 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
Z05-SOFA	76,75	1,55	6 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
Z06-ODA	23,51	3,40	4 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
Z07-HOL			Z05-SOFA alanı ile birleştirildi.
Z09-ODA	15,11	1,32	1 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
Z10-HOL	4,07	2,95	1 adet 12 W/630 lümen kompakt floresan ampul
Z11-WC	2,78	3,72	1 adet 12 W/630 lümen kompakt floresan ampul
Z012-SOFA Z14-MERD. KOVASI	47,5	3,37	8 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
Z13-ODA	24,22	4,95	6 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
Z15-MUTFAK	13,05	1,53	1 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
Z16-HOL	4,34	2,76	1 adet 12 W/630 lümen kompakt floresan ampul
Z18_Z19-WC	8,92	1,28	1 adet 12 W/630 lümen kompakt floresan ampul
001-SAHANLIK	16,67	1,43	2 adet 12 W/630 lümen kompakt floresan ampul
002-ODA	25,95	0,77	2 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
003-SAHANLIK	15,15	1,58	2 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
004-ODA	15,32	1,31	1 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
005-DEPO	8,13	2,32	1 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
101-ODA	23,59	4,24	5 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
102-ODA	16,72	5,98	5 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
103-WC	1,99	6,03	1 adet 12 W/630 lümen kompakt floresan ampul
104-HOL	4,77	2,52	1 adet 12 W/630 lümen kompakt floresan ampul
105-SOFA	46,8	2,56	6 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
106-ODA	21,68	4,61	5 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
107-ODA	37,17	4,84	9 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
108-SOFA	38,17	4,13	8 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
109-ODA			108-SOFA alanı ile birleştirildi.
110-ODA	24,62	4,06	5 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul
111-ODA	18,04	3,33	3 adet 20 W/1200 lümen kompakt floresan ampul

### 4.2.3 Bina kullanım/işletim sistemi

Ofis işlevindeki bina resmi tatil günleri dışında hafta içi her gün 08:30-17:30 saatleri arasında kullanılmaktadır. Cumartesi günü bina temizliği için yarım gün binada personel bulunmaktadır. Binada bulunan sunucu sistemi ve güvenlik kameraları 7 gün 24 saat etkin kullanılmaktadır.

Zemin katta bulunan Z01, Z04, Z06 ve Z013 odaları ofis olarak kullanılmaktadır. Z09 alanında sunucu odası ve Z15 alanında mutfak bulunmaktadır. Zemin katta geri kalan alanlar sirkülasyon alanları ve tuvaletler olarak kullanılmaktadır. Ara katta 004 odası ofis işlevinde, 002 odası arşiv ve 005 alanı depo işlevindedir. Üst katta 101, 102, 105, 106, 108 ve 110 numaralı alanlar ofis işlevindedir. 107 numaralı oda toplantı odası, 111 numaralı oda fotokopi odasıdır. 103 ve 104 numaralı alanlarda tuvalet ve lavabo bulunmaktadır. 001 ve 003 sahanlıkları merdivenlerin bulunduğu alanlardır.

Tablo 4.5-Alanların kullanım bilgileri.

Alanlar	Toplam Alan (m <sup>2</sup> )	Kişi Sayısı	Ekipmanlar	Ekipmanlar Toplam (W)	Ekipmanlardan İç Isı Kazancı (W/m <sup>2</sup> )	Aktif Kullanılan Saatler
B01_B02 ODA	44,67	-	-	-	-	-
B03 ODA	21,64	-	-	-	-	-
B04_B05 ODA	38,84	-	-	-	-	-
Z01-ODA	22,39	4	4xBilgisayar 4xMonitör 4xTelefon	890	39,75	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30
Z04-ODA	21,15	4	2xBilgisayar 2xWorkstation 3xMonitör 2xGeniş Monitör 4xTelefon	1995	94,28	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30
Z05-SOFA	76,75	1	1xTelefon 1xGüvenlik Kamerası	10	0,13	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30
Z06-ODA	23,51	3	3xBilgisayar 3xMonitör 3xTelefon	670	28,50	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30
Z07-HOL			Z-05 SOFA alanı ile birleştirildi.			
Z09-ODA	15,11	-	Sunucu	500	33,09	Her gün 00:00-24:00
Z10-HOL	4,07	-	-	-	-	-
Z11-WC	2,78	-	-	-	-	-
Z012-SOFA Z14-MERD. KOVASI	47,5		1xGüvenlik Kamerası	5	0,11	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30
Z13-ODA	24,22	2	2xBilgisayar 3xMonitör 2xTelefon	465	19,20	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30

Tablo 4.5-Alanların kullanım bilgileri (devam).

Alanlar	Toplam Alan (m <sup>2</sup> )	Kişi Sayısı	Ekipmanlar	Ekipmanlar Toplam (W)	Ekipmanlardan İç Isı Kazancı (W/m <sup>2</sup> )	Aktif Kullanılan Saatler
Z15-MUTFAK	13,05	1	1xBuzdolabı 1xBulaşık Makinesi 1xÇay Makinesi	700	53,64	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30
Z16-HOL	4,34	-	-	-	-	-
Z18_Z19-WC	8,92	-	-	-	-	-
001-SAHANLIK	16,67	-	-	-	-	-
002-ODA	25,95	-	-	-	-	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30
003-SAHANLIK	15,15	-	-	-	-	-
004-ODA	15,32	2	1xBilgisayar 1xMonitör 1xLaptop 1xTelefon	280	18,28	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30
005-DEPO	8,13	-	-	-	-	-
101-ODA	23,59	1	1xBilgisayar 1xMonitör 1xYazıcı 1xTelefon	225	9,54	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30
102-ODA	16,72	2	2xBilgisayar 2xMonitör 2xTelefon	445	26,61	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30
103-WC	1,99	-	-	-	-	-
104-HOL	4,77	-	-	-	-	-
105-SOFA	46,8	2	2xBilgisayar 2xMonitör 2xTelefon	445	9,51	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30
106-ODA	21,68	3	3xBilgisayar 5xMonitör 3xTelefon	710	32,73	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30
107-ODA	37,17	10	1xLaptop 1xProjektör	800	21,52	Haftada bir gün 09:00-12:00
108-SOFA	38,17	3	1xBilgisayar 3xMonitör 2xWorkstation 2xGeniş Ekran Monitör 3xTelefon	1790	46,16	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30
109-ODA			108-SOFA ile birleştirildi.			
110-ODA	24,62	4	4xBilgisayar 4xMonitör 4xTelefon	890	36,15	Hafta içi 8:30-12:00 ve 13:00-17:30
111-ODA	18,04	1	1xBilgisayar 1xOfis Yazıcı 2xGeniş Formatlı Yazıcı	550-850	30,49 Geniş formatlı yazıcılar kullanıldığında: 47,12	Hafta içi 8:30-17:30 Haftada bir gün geniş formatlı yazıcılar kullanılıyor(09:00-12:00)

### 4.3 Enerji Etkin İyileştirme Önlemleri

Tarihi bina enerji performansı geliştirilmesi adına alınacak enerji etkin önlemler yapı kabuğu üzerinde alınan önlemler, mekanik ve aydınlatma sistemi üzerinde alınacak önlemler ve fotovoltaik (PV) panel kullanımı olarak belirlenmiştir.

Tarihi bina yığma taş duvardan oluşan geçirimli bir yapıya sahiptir. Bina dış cephesinden yalıtımın gerçekleştirilmesi yapının tarihi dokusuna zarar verebileceği için geçirimli duvar yapısını da bozmayacak olan taş yünü mantolama plakaları duvarların iç yüzeyinden uygulanabileceği değerlendirilmiştir. Bina ahşap doğramaları yine aynı şekilde yapının tarihi dokusunun bir parçası olduğu için sadece camları değiştirilmesi veya Historic England (2017) yayınladığı kılavuzda tarihi binalar için önerdiği ikincil pencere uygulaması enerji etkin iyileştirme önlemleri arasında belirlenmiştir.

Mekanik sistemlerin verimliliklerinin geliştirilmesi ile ilgili olarak piyasada bulunan daha verimli COP ve EER değerlerine sahip 3 borulu VRV sistemi ve hava kaynaklı ısı pompaları iklimlendirme sistemleri konusunda uzmanlar ile yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiştir.

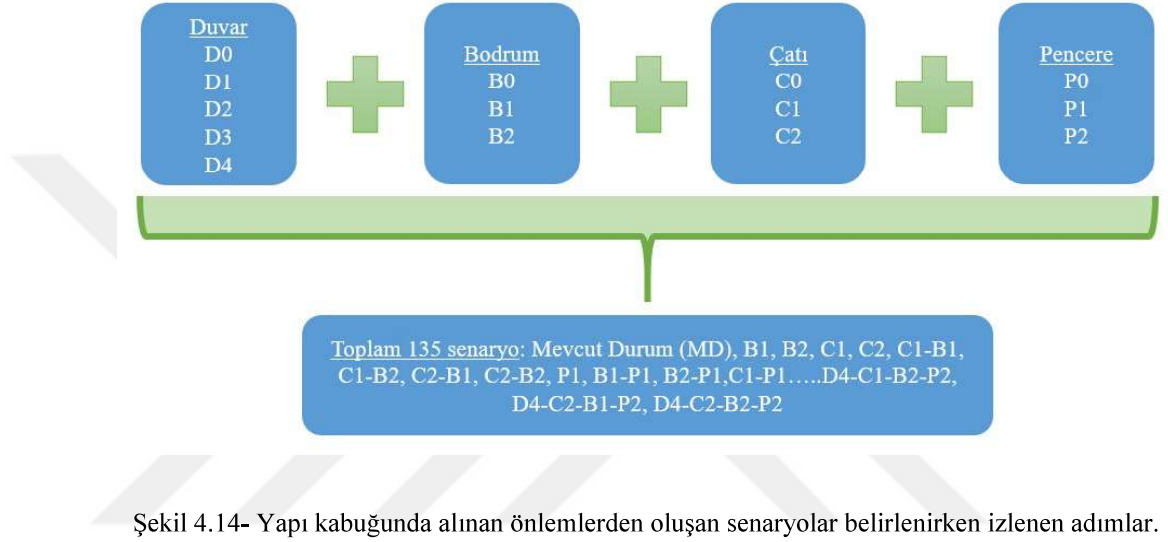
İzmir'in yüksek potansiyele sahip güneş enerjisinden faydalanmak için belirlenen PV panel sistemine ait veriler üretici firmanın paylaştığı teknik bilgilerden sağlanmıştır (Tommatech, 2019).

Tablo 4.6-Tarihi binada uygulanabilecek enerji etkin iyileştirme önerileri listesi.

No	Alınacak önlem
D1	3 cm kalınlığında taş yünü mantolama plakaları kullanılarak duvarların içten yalıtımı
D2	4 cm kalınlığında taş yünü mantolama plakaları kullanılarak duvarların içten yalıtımı
D3	5 cm kalınlığında taş yünü mantolama plakaları kullanılarak duvarların içten yalıtımı
D4	6 cm kalınlığında taş yünü mantolama plakaları kullanılarak duvarların içten yalıtımı
C1	Mevcut yalıtıma ek olarak 8 cm kalınlığında çatı şiltesi ile çatı döşemesinin yalıtımının geliştirilmesi
C2	Mevcut yalıtıma ek olarak 10 cm kalınlığında çatı şiltesi ile çatı döşemesinin yalıtımının geliştirilmesi
B1	5 cm kalınlığında cam yünü şilte bodrum kat tavanlarının yalıtılması
B2	8 cm kalınlığında cam yünü şilte bodrum kat tavanlarının yalıtılması
P1	Güneş ısı kazancı düşük cam kullanımı (SGHC:0,716)
P2	6mm+6mm kalınlıkta,9 mm ara boşluk çitallı (ilk camı ısı kontrol kaplamalı) içten ikinci doğramanın yapılması (U:1,501, SGHC:0,599, V <sub>i</sub> :0,656)
A	LED aydınlatma (15 W/1200 lümen, 7 W/630 lümen ampuller)
M1	3 borulu VRV sisteminin kullanımı (COP: 4,3/EER: 6,2)
M2	Hava kaynaklı ısı pompasının kullanımı (COP: 3,8/EER:4,0)
PV	Fotovoltaik paneller ile enerji üretimi (5,0 kW gücünde %16,77 verimli modül, akülü sistem)

### 4.3.1 Önerilen yenileme senaryolarının tanımlanması

Belirlenen enerji etkin önlemler tekil ve birlikte kullanılması ile oluşturulan senaryolarının birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyet analizi yapılarak değerlendirilmiştir. Belirlenen önlemlerin birbiri ile kombinasyonlarından toplamda 1620 senaryo oluşturulabilmektedir. 1620 senaryonun hepsini değerlendirmek ciddi zaman alacağından öncelikle yapı kabuğu için belirlenen önlemler (ısı yalıtım ve pencereler) değerlendirilmiş ve maliyet açısından en verimli senaryolar ile diğer önlemlerin kombinasyonuna devam edilmiştir.

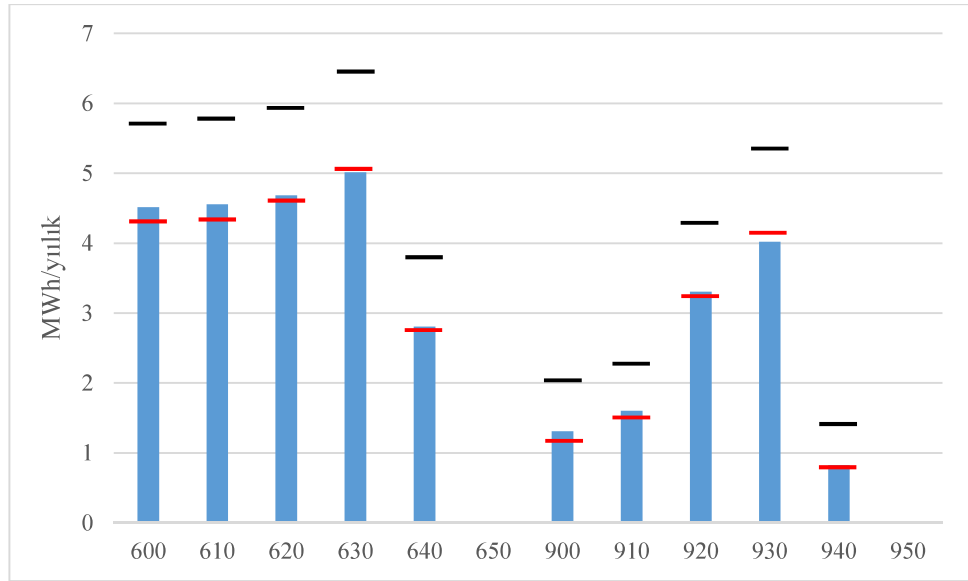


Mevcut durumdan ve yapı kabuğu önlemlerinden oluşan 135 senaryonun enerji tüketim ve küresel maliyet değerleri hesaplanıp karşılaştırılarak optimum maliyetli 20 senaryo belirlenmiştir. Belirlenen 20 senaryo ve mevcut durum için aydınlatma sistemi, iklimlendirme sistemi ve yenilenebilir enerji eldesi için belirlenen önlemlerin kombinasyonları ile 231 senaryo daha oluşturulmuştur.

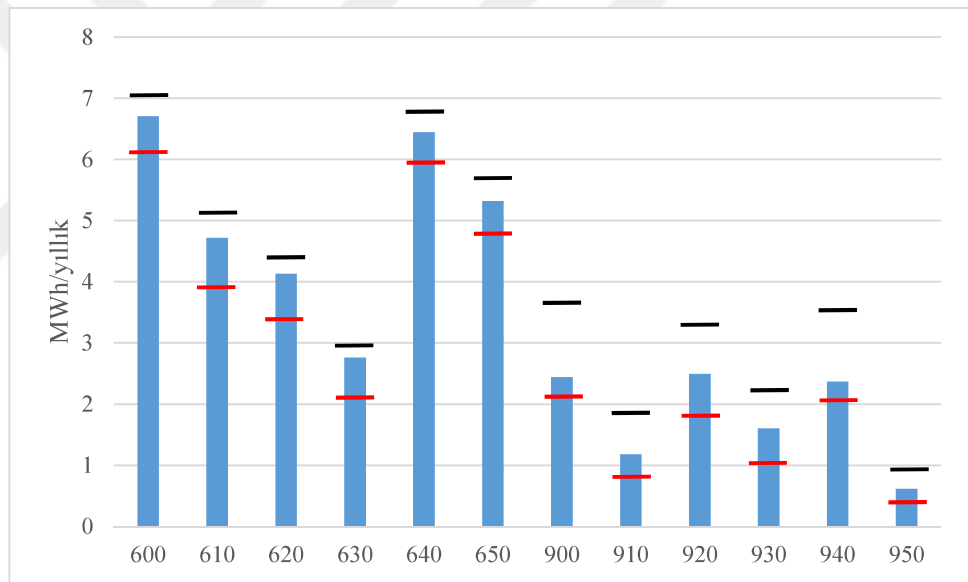
Çalışmada mevcut durum haricinde toplam 365 senaryo oluşturulmuştur. Değerlendirilen senaryo miktarı toplam oluşturulabilecek senaryo miktarının %23,6'sına karşılık gelmektedir.

### 4.3.2 Kullanılan simülasyon programının doğrulanması (BES-TEST)

DesignBuilder programı düzenli güncellemeler ile gelişen bir program olup her versiyonu BES-TEST prosedürüne göre kontrol edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan programın 4.versiyonu için BES-TEST sonuçları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de verilmiştir. Yıllık hesaplanan değerler enerji tüketim hesaplamalarında dikkate alınacağı için BES-TEST sonuçları yıllık soğutma ve ısıtma sınır değerlerine uygunluğu dikkate alınmıştır. Grafikte kırmızı çizgi ile alt limit değeri, siyah çizgi ile üst limit değeri belirtilmiştir.



Şekil 4.15-Bestest senaryolarının yıllık ısıtma enerjisi tüketim değerleri (DesignBuilder, 2014).

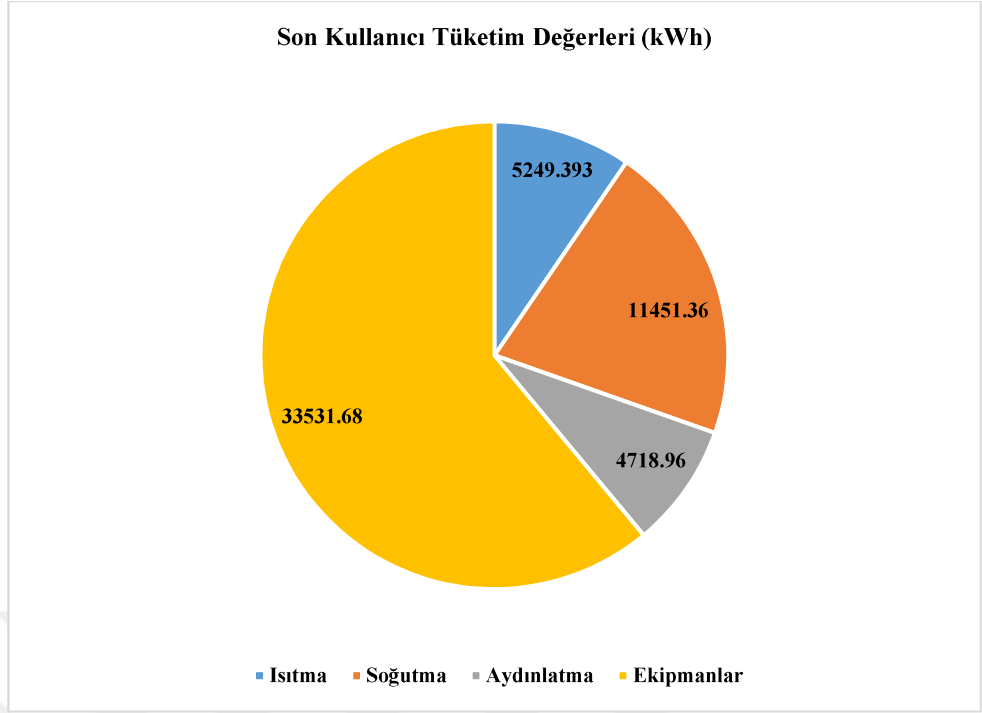


Şekil 4.16-Bestest senaryolarının yıllık soğutma enerjisi tüketim değerleri (DesignBuilder, 2014).

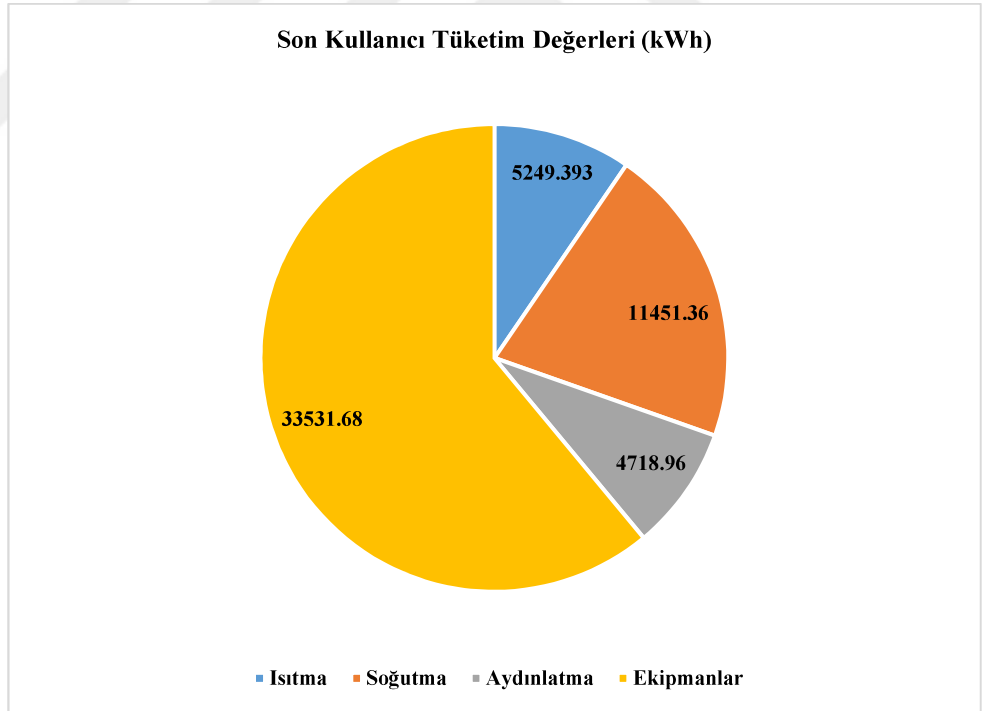
### 4.3.3 Mevcut durum birincil enerji tüketimlerinin hesaplanması

Tarihi binanın mevcut durumu yukarıda belirlenen verilere göre bina enerji simülasyonunda enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Binanın yıllık son kullanıcı enerji tüketim değeri 5.4951,393 kWh, birincil enerji tüketim değeri 129.685,287 kWh olarak hesaplanmıştır.





Şekil 4.17- Mevcut durum son kullanıcı tüketim değerlerinin dağılımı.



Şekil 4.18- Mevcut durum birincil enerji tüketim değerlerinin dağılımı.

#### 4.3.4 Bina enerji simülasyonunun kalibrasyonu

Tarihi binada iç ve dış ortam sıcaklık ve nem değerleri 1 yıl boyunca yerleştirilen veri kaydeden ölçüm cihazları ile toplanmıştır. Onset markasına ait HOBO veri kaydedici cihaza ait teknik özellikler Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7- Veri kaydedici cihaza ait teknik özellikler (Onset, 2019).

ONSET HOBO UX100-003 Data Logger	
<b>Bağıl nem ölçüm aralığı</b>	%15-%95
<b>Doğruluk</b>	%±3,5
<b>Çözünürlük</b>	%0,07
<b>Sıcaklık ölçüm aralığı</b>	-20 °C - +70 °C
<b>Doğruluk</b>	±0,21 °C
<b>Çözünürlük</b>	0,024 °C
<b>Kayıt kapasitesi</b>	84650 ölçüm
<b>Ölçüm sıklığı</b>	1 sn-18 s



Şekil 4.19-Veri kaydediciye (Onset Hobo UX100-003) ait fotoğraf (Onset, 2019).



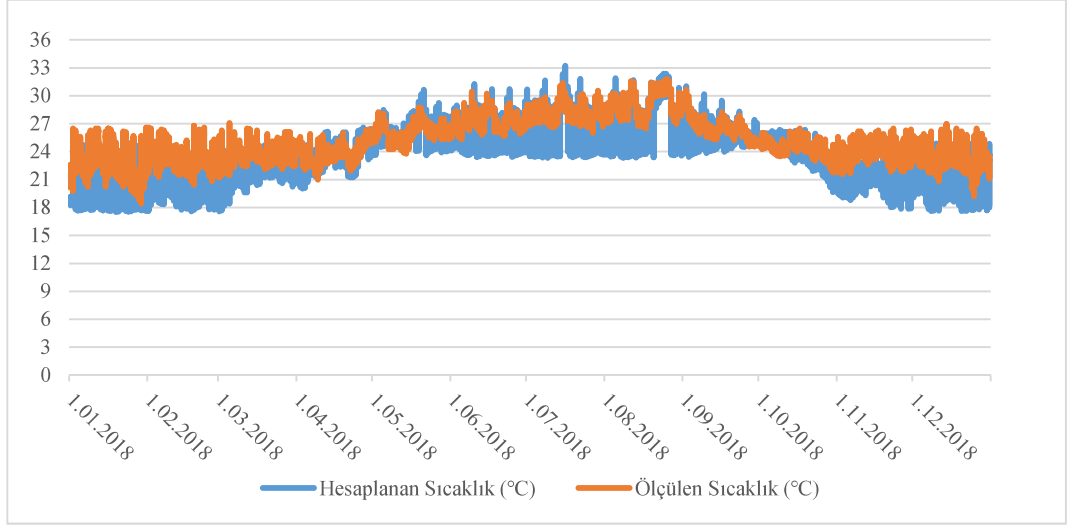
Şekil 4.20-Z05 sofa alanında bulunan veri kaydedici konumuna ait fotoğraf.

Ölçümlerin yapıldığı alanlarda toplanan veriler ile simülasyon sonucunda ulaşılan değerler karşılaştırılmıştır. Ortalama hata kareleri kökü (RMSE) ve ortalama sistem hatası (MBE) değerleri sınır değerlerin içinde kalacak şekilde bina için kabul edilen parametrelerde değişiklik yapılmıştır.

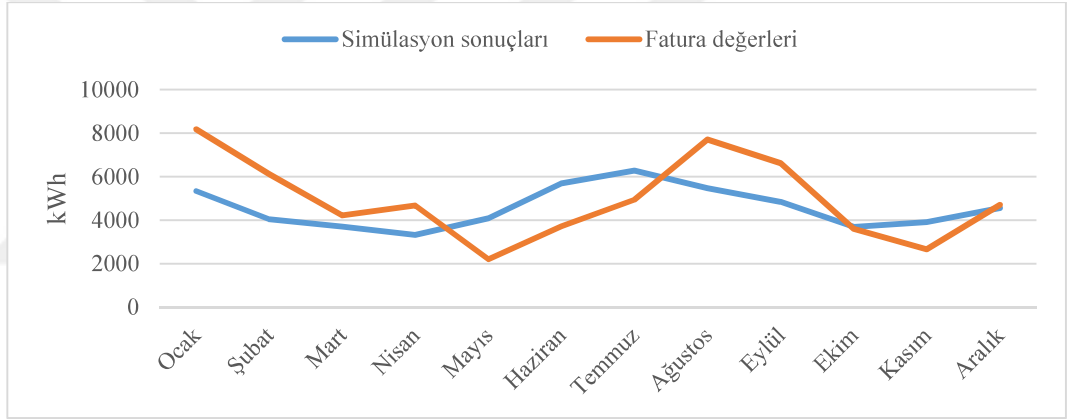
Tablo 4.8-8760 saatlik sıcaklık değerlerine göre ölçüm yapılan alanlardaki MBE ve RMSE değerleri.

Alan	MBE (%)	RMSE (%)
Z05-SOFA	-3,42805682	7,4722599
101-ODA	-1,701735913	9,275823267
105-SOFA	-5,858416024	10,15166931
111-ODA	0,084620082	9,451209934

Ayrıca tarihi yapının 2018 yılı aylık faturalarına ait enerji tüketim değerleri belediyeden alınmış olup simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.21-105 sofa alanı hesaplanan ve ölçülen sıcaklık değerleri.



Şekil 4.22-Simülasyon sonucu hesaplanan enerji tüketimleri ile fatura değerlerinin karşılaştırılması.

### 4.3.5 Senaryolara göre bina enerji simülasyonu

Bina enerji simülasyonları öncelikle yapı kabuğunda alınan önlemler ile oluşturulan senaryoların değerlendirilmesi ile başlanmıştır. Yapı kabuğunda alınan önlemlerden 3 cm kalınlığında duvar yalıtımı (D1) pencerelerde önlem alınmadığı durumlarda ısıtma yükünde %23,947, soğutma yükünde %1,675 ve toplam enerji tüketiminde %2,649 azalma göstermektedir. 3 cm kalınlığında duvar yalıtımı (D1) düşük güneş ısı kazançlı camlar (P1) ile kullanıldığı durumlarda ise ısıtma yükünü %24,281, soğutma yükünü %2,321 ve toplam enerji tüketimini %2,816 azaltmaktadır. 3 cm kalınlığında duvar yalıtımı (D1) ikincil pencere uygulaması ile bir arada uygulandığı durumlarda ise ısıtma yükünde %27,854, soğutma yükünde %3,367 ve toplam enerji tüketiminde %3,375 azalma sağlamaktadır. Duvar yalıtımı önlemlerinin enerji tüketimine olan katkıları pencerelerde alınan önlemler ile artış

göstermektedir. Tablo 4.9’da diğer yalıtım kalınlıklarının enerji tüketimlerine olan katkıları gösterilmiştir.

Tablo 4.9- Duvar yalıtımı önlemlerinin değişen pencere önlemlerine göre enerji tüketimlerinin azaltılmasındaki yüzde katkıları.

Yalıtım Kalınlığı	Isıtma Yükünü Azaltmaya Katkısı (%)			Soğutma Yükünü Azaltmaya Katkısı (%)			Toplam Enerji Tüketimini Azaltmaya Katkısı (%)		
	P0	P1	P2	P0	P1	P2	P0	P1	P2
<b>D1 (3 cm)</b>	23,947	24,281	27,854	1,675	2,321	3,367	2,649	2,816	3,375
<b>D2 (4 cm)</b>	27,034	27,364	30,722	2,042	2,782	3,778	3,025	3,211	3,739
<b>D3 (5 cm)</b>	32,135	32,543	35,538	0,317	1,167	2,082	3,156	3,372	3,848
<b>D4 (6 cm)</b>	33,364	33,802	36,911	0,776	1,670	2,541	3,346	3,574	4,053

Pencereler için alınan önlemlerin enerji tüketimlerine olan katkısı da duvar yalıtımı kalınlıklarına göre değişim göstermektedir. Düşük ısı kazançlı camların kullanımı duvar yalıtımı olmadığı durumlarda ısıtma yükünde %3,231’lik artış, soğutma yükünde %6,106’lık azalış ve toplam enerji tüketiminde %0,964’lük azalış sağlamaktadır. Duvar yalıtımı 6 cm kalınlığa çıkarıldığında ise ısıtma yükündeki artış %2,791’e düşmektedir. Soğutma yükündeki azalış %7,001’e ve toplam enerji tüketimindeki azalış %1,192’ye yükselmektedir. Duvar yalıtım kalınlığının artması düşük ısı kazançlı camların (P1) enerji tüketimlerine olan katkısında artış sağladığı gözlemlenmektedir. İkincil pencere uygulamasında (P2) ise 4 cm yalıtım kalınlığına (D2) kadar enerji tüketimlerine olan katkı artmakta daha yüksek kalınlıklarda düşüşe geçmektedir.

Tablo 4.10- Düşük güneş ısı kazanç katsayılı camların (P1) enerji tüketimlerine olan etkilerinin yalıtım kalınlığına göre değişimi.

Isıtma Yükünü Azaltmaya Katkısı (%)				
D0	D1	D2	D3	D4
-3,231	-2,894	-2,898	-2,821	-2,791
Soğutma Yükünü Azaltmaya Katkısı (%)				
D0	D1	D2	D3	D4
6,106	6,753	6,847	6,957	7,001
Toplam Enerji Tüketimini Azaltmaya Katkısı (%)				
D0	D1	D2	D3	D4
0,964	1,131	1,150	1,180	1,192

Tablo 4.11- İkincil pencere uygulamasının (P2) enerji tüketimlerine olan etkilerinin yalıtım kalınlığına göre değişimi.

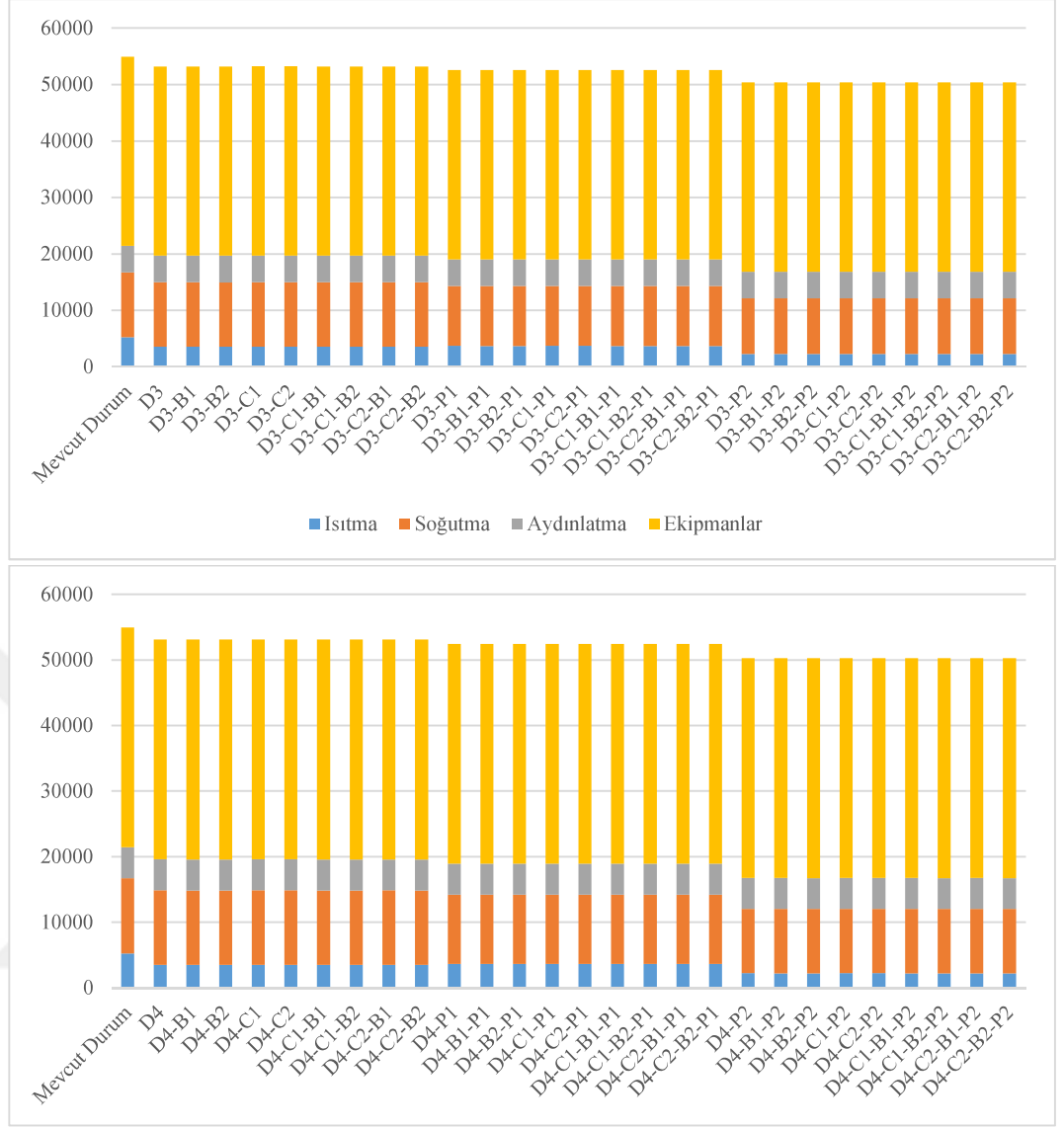
Isıtma Yükünü Azaltmaya Katkısı (%)				
D0	D1	D2	D3	D4
20,706	24,617	24,398	24,112	24,256
Soğutma Yükünü Azaltmaya Katkısı (%)				
D0	D1	D2	D3	D4
11,891	13,585	13,628	13,658	13,658
Toplam Enerji Tüketimini Azaltmaya Katkısı (%)				
D0	D1	D2	D3	D4
4,456	5,183	5,171	5,150	5,163

Çatı yalıtımı varyasyonlarının ısıtma ve soğutma yüklerine ek bir katkı sağlamadığı görülmüştür. Çatı yalıtımı için ek 8 cm kalınlığında çatı yalıtım şiltesinin kullanılması durumunda (C1) ısıtma yükü %0,004, soğutma yükü %0,013 ve toplam enerji tüketimi %0,003 artmaktadır. Ek 10 cm kalınlığında çatı yalıtım şiltesinin kullanılması durumunda (C2) ısıtma yükü %0,005, soğutma yükü %0,015 ve toplam enerji tüketimi %0,004 artmaktadır. Çatı katı döşemesinde mevcut 5 cm kalınlığındaki çatı yalıtım şiltesinin ısıtma ve soğutma yükleri açısından yeterli geldiği belirlenmiştir. Bodrum katı tavan döşemesinde alınan önlemlerden 5 cm kalınlığında cam yünü şilte kullanılması durumunda (B1) ısıtma yükünde %0,148, soğutma yükünde %0,017 ve toplam enerji tüketiminde %0,018'lik bir azalma gerçekleşmektedir. 8 cm kalınlığında cam yünü şilte kullanılması durumunda (B2) ısıtma yükü %0,237, soğutma yükü %0,030 ve toplam enerji tüketimi %0,029 azalmaktadır. Bodrum tavan döşemesi için alınan önlemlerin katkısının düşük miktarlarda gerçekleşmesi, bodrum katı alanlarının toplam bina zemin katının alanına göre daha küçük olmasından kaynaklanmaktadır.

Yapı kabuğunda alınan önlemlerin değerlendirildiği 135 senaryo içerisinde 6 cm kalınlığında duvar yalıtımı (D4), 8 cm kalınlığında bodrum tavan yalıtımı (B2) ve ikincil pencerenin (P2) uygulandığı senaryoda ısıtma yükü %57,82, soğutma yükü %14,45 ve toplam enerji tüketimi %8,53 azalarak en düşük enerji tüketimine sahip senaryoyu oluşturmaktadır.



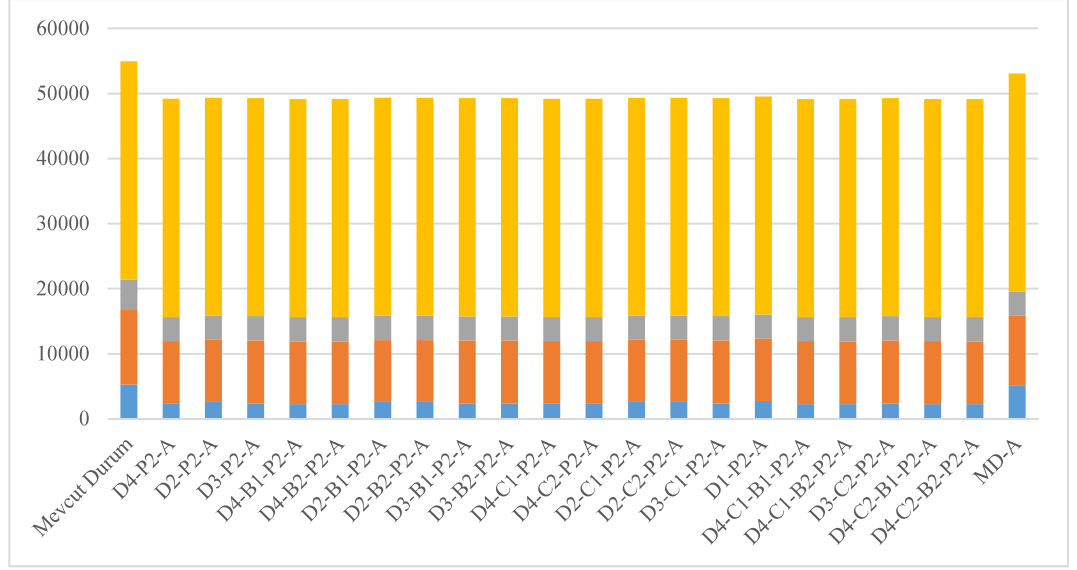
Şekil 4.23-Yapı kabuğunda alınan önlemlere ait senaryoların son kullanıcı tüketim değerleri a) D0 kombinasyonları b) D1 kombinasyonları c) D2 kombinasyonları.



Şekil 4.24-Yapı kabuğunda alınan önlemlere ait senaryoların son kullanıcı tüketim değerleri a) D3 kombinasyonları b) D4 kombinasyonları.

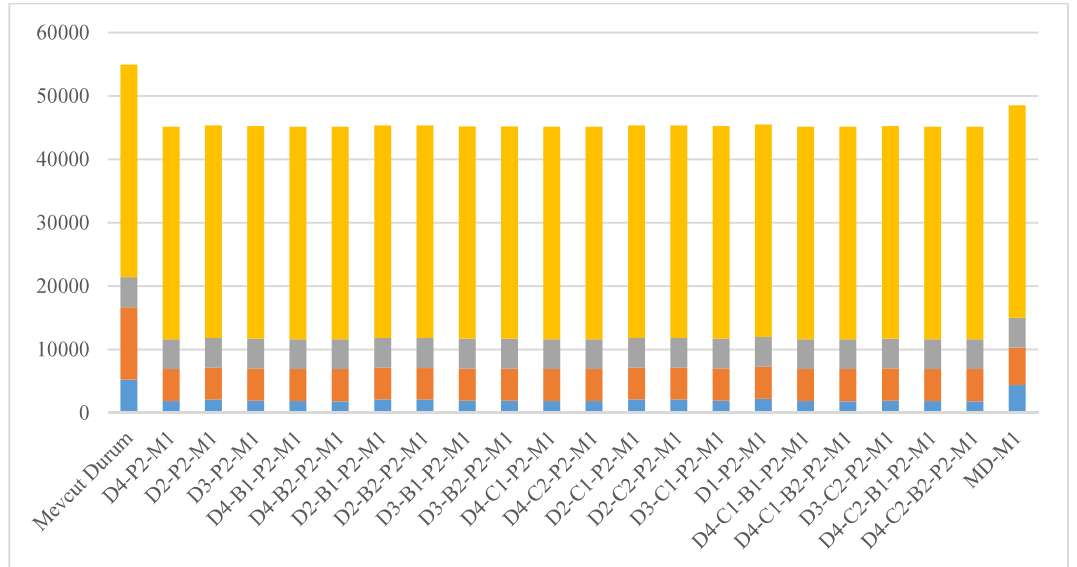
Yapı kabuğunda alınan önlemlerin ve mevcut durumun değerlendirildiği toplam 135 senaryodan optimum maliyetli 20 senaryo ve mevcut durum üzerinde aydınlatma sistemi, iklimlendirme sistemi ve yenilenebilir enerji eldesi için belirlenen önlemler ile kombinasyonları oluşturulmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda bulunduğu 126 senaryo değerlendirildiğinde LED ampul uygulaması ısıtma yükünü yaklaşık %0,952 arttırdığı, soğutma yükü ve aydınlatma yükünü sırasıyla %1,076 ve %21,267 azalttığı ve toplam enerji tüketimini %1,960 azalttığı belirlenmiştir.





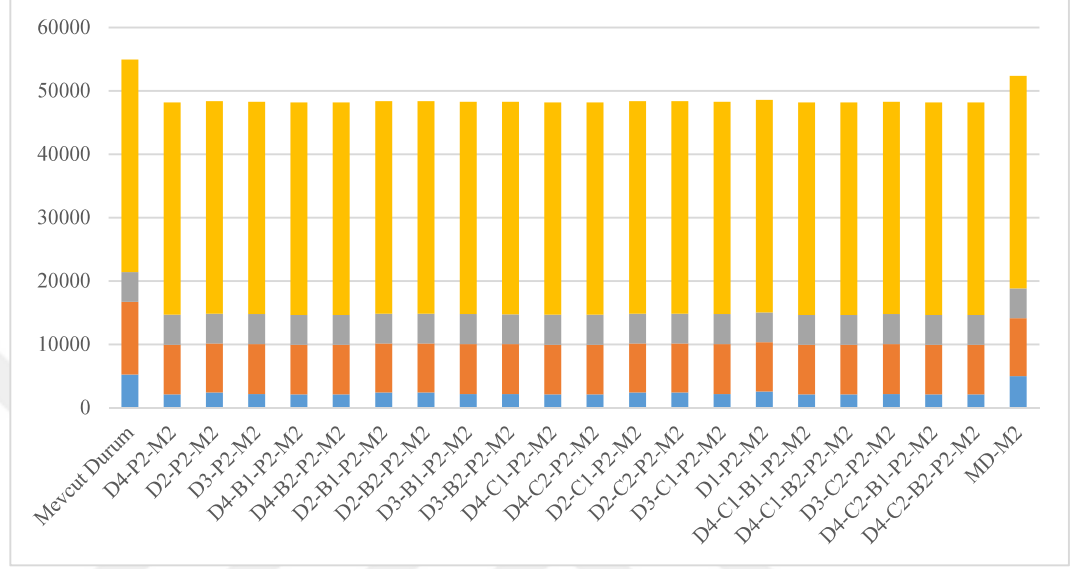
Şekil 4.25-Aydınlatma sisteminde alınan önlemin eklendiği senaryolara ait son kullanıcı tüketim değerleri.

İklimlendirme sisteminin geliştirilmesi için 1.öneri olan 3 borulu VRV sistemi (M1) bulunduğu 84 senaryoda ısıtma yükünde ortalama %7,787, soğutma yükünde %41,226 ve toplam enerji tüketiminde %9,335 ekstra azalma sağlamıştır. Yapı kabuğunda alınan önlemlerin olmadığı mevcut duruma 3 borulu VRV sistemi önleminin uygulandığı senaryolarda sistemin enerji tüketimlerine olan katkısı daha yüksek olmaktadır (Isıtmada %16,240, soğutmada 47,701 ve toplam enerji tüketiminde %11,492 ekstra azalma).



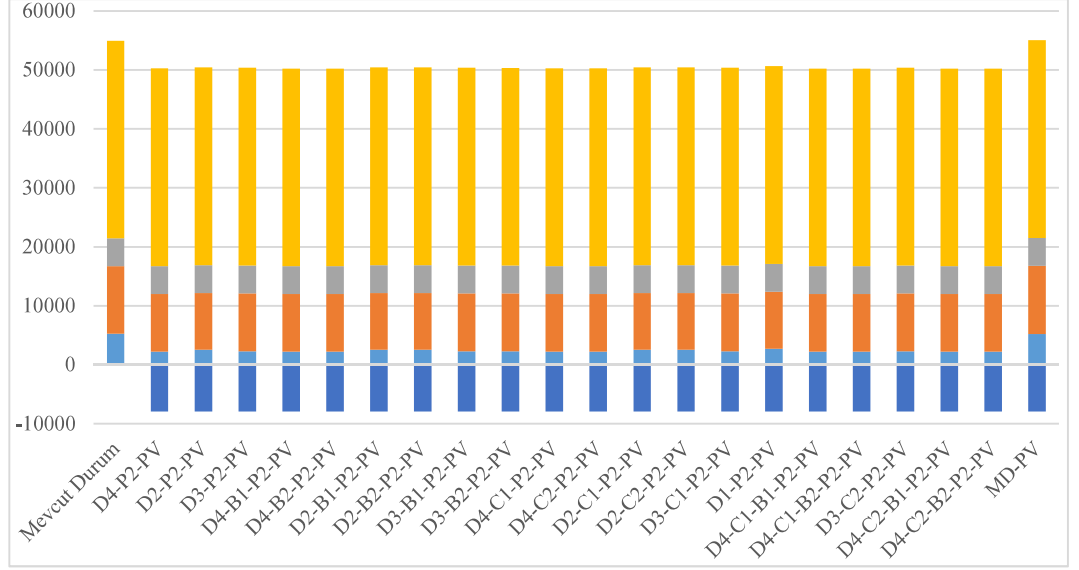
Şekil 4.26-3 borulu VRV sisteminin (M1) eklendiği senaryolara ait son kullanıcı tüketim değerleri.

2. öneri olan hava kaynaklı ısı pompası sisteminin (M2) bulunduğu değerlendirilen tüm senaryolarda ısıtma yükünde ortalama %2,525, soğutma yükünde %17,034 ve toplam enerji tüketiminde %3,791 ekstra azalma sağlanmıştır. Yapı kabuğunda alınan önlemler olmadığı durumlarda enerji tüketimlerine olan katkısı ısıtma yükünde %5,250 azalma, soğutma yükünde %19,716 ve toplam enerji tüketiminde %4,610 azalma olarak belirlenmektedir.



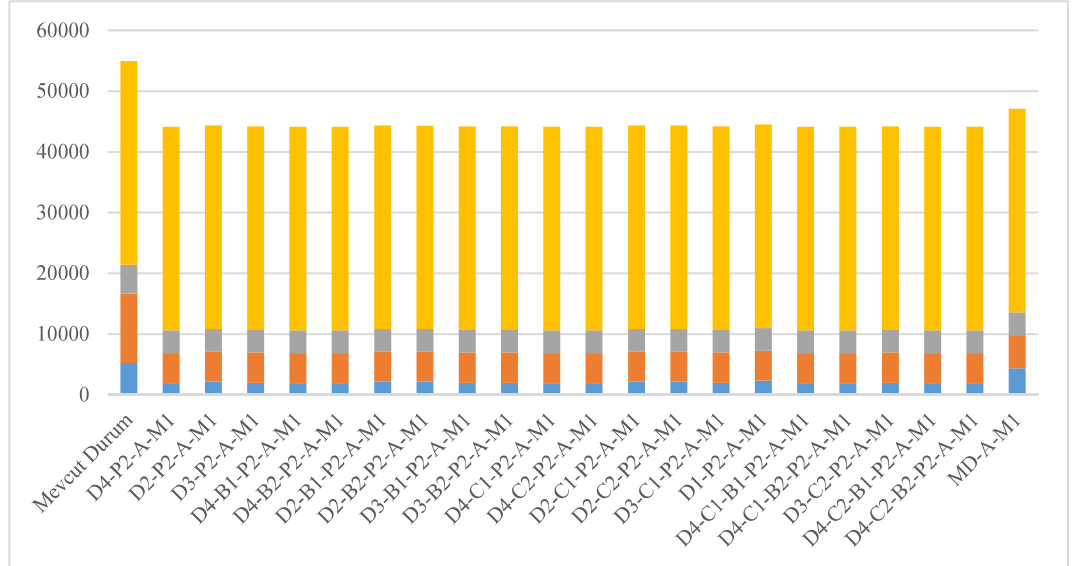
Şekil 4.27-Hava kaynaklı ısı pompası sisteminin (M2) eklendiği senaryolara ait son kullanıcı tüketim değerleri.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanabilmek adına belirlenen PV panel uygulaması (PV) DesignBuilder programına üretici firmanın sağladığı ürün teknik bilgilerine uygun olarak modele aktarılmıştır. Bina çatısına yerleştirilen PV paneller gölgeleme etkisi ile ısıtma ve soğutma yüküne düşük oranlarda etki etmekte olup yıllık 7936,44 kWh enerji üretimi ile toplam enerji tüketiminin azaltılmasında önemli rol almaktadır. PV panel uygulamasının eklendiği senaryolara olan ortalama katkısı ısıtma yükünde %0,126 artış, soğutma yükünde %0,072 azalma ve toplam enerji tüketiminde %14,446 azalma olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.28-PV panel sisteminin eklendiği senaryolara ait son kullanıcı tüketim değerleri.

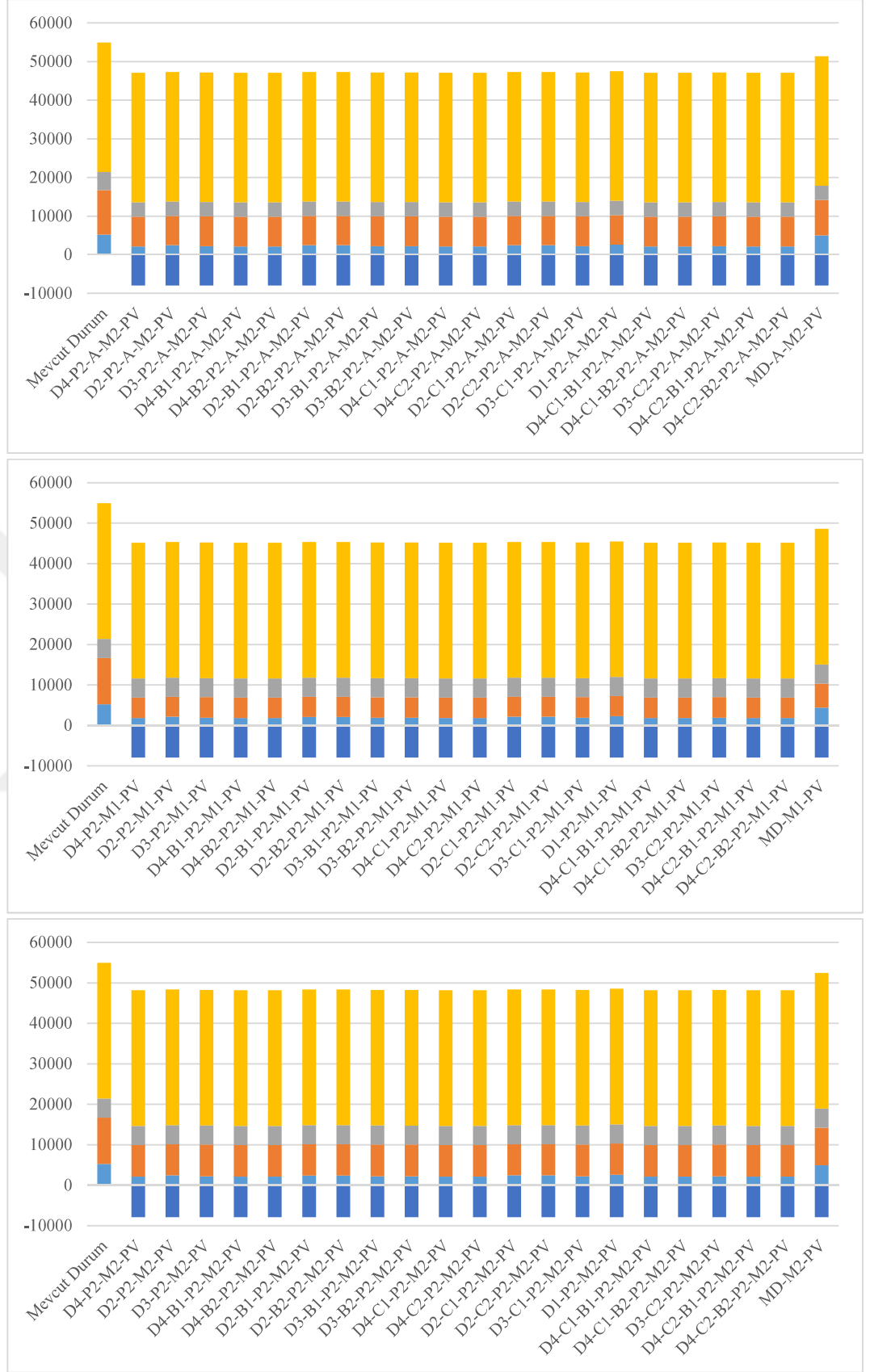
Değerlendirilen tüm senaryolar içerisinde minimum enerji tüketimine sahip senaryo 6 cm kalınlığında duvar yalıtım (D4), 8 cm kalınlığında bodrum kat döşeme yalıtımı (B2), ikincil pencere (P2), LED aydınlatma (A), 3 borulu VRV sistemi (M1) ve fotovoltaik panel (PV) eklemelerine sahip olduğu durumda gerçekleşmektedir. Mevcut duruma göre ısıtma yükünde %63,73, soğutma yükünde %56,65, aydınlatma yükünde %21,24 ve toplam enerji tüketiminde %34,16 azalma sağlanmaktadır.



Şekil 4.29- LED aydınlatma (A) ve 3 borulu VRV sisteminin (M1) eklendiği senaryolara ait son kullanıcı tüketim değerleri.



Şekil 4.30- Aydınlatma sistemi, iklimlendirme sistemi ve yenilenebilir için belirlenen önlemlerin eklendiği senaryolara ait son kullanıcı tüketim değerleri a) A+M2 kombinasyonları b) A+PV kombinasyonları c) A+M1+PV kombinasyonları.



Şekil 4.31- Aydınlatma sistemi, iklimlendirme sistemi ve yenilenebilir enerji eldesi için belirlenen önlemlerin eklendiği senaryolara ait son kullanıcı tüketim değerleri a) A+M2+PV kombinasyonları b) M1+PV kombinasyonları c) M2+PV kombinasyonları.

#### 4.4 Küresel Maliyetin Hesaplanması

Yenileme senaryolarını oluşturan enerji etkin önlemlerin ilk yatırım maliyetleri, yıllık enerji tüketimine bağlı maliyetleri, yıllık bakım maliyetleri, yenileme maliyetleri ve kalan değerleri hesaplanarak küresel maliyetleri hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar yapılırken enerji fiyatları artışı, enflasyon oranı ve piyasa faiz oranları dikkate alınmaktadır.

Elektrik fiyatlarında 2018 yılına ait fiyat ortalaması olan tüm vergiler dahil birim fiyat 0,509 TL/kWh olarak belirlenmiştir. 2008-2019 yılları birim fiyatlarda yaşanan değişiklikler dikkate alınarak enerji fiyat artışı yıllık %8,42 oranla olacak şekilde hesaplamalar yapılmaktadır (T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2019).

2005-2019 yılları arasında yaşanan değişiklikleri baz alarak ortalama enflasyon oranı hesaplamalarda %10,3 olarak kabul edilmiştir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2019). Banka faiz oranı yine aynı döneme denk gelen değişikliklerin ortalaması alınarak %12,47 olarak belirlenmektedir (Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, 2019).

Bakım ve yenileme maliyetleri ile ilgili olarak kabul edilen yaşam ömürleri ve bakım maliyetleri oranları Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12-Bileşenlere ait yaşam ömrü ve yıllık bakım maliyeti değerleri (EN15459-1, 2017).

Bileşen	Yaşam Ömrü (yıl)	Yıllık Bakım Maliyeti (İlk yatırım maliyetine olan yüzde oranı)
Klima üniteleri	15	4
Fan coil üniteleri	15	4
Isı pompası	15	2
Bakır boruları	30	1
Çelik borular	30	1
Fotovoltaik sistem	20	0.5
Ahşap doğrama	30	1
Alüminyum doğrama	30	0.5

#### 4.5 Duyarlılık Analizinin Yapılması

Belirlenen senaryolar değerlendirilen bina bir kamu binası olduğu için 30 yıllık hesaplama periyodunda küresel maliyet hesaplamaları yapılmaktadır. Enflasyon ve banka faiz oranına göre de iskonto oranı belirlenmiştir. İstatistiksel verilere dayanan enflasyon ve banka faiz oranlarına göre iskonto oranı %1,97 olarak hesaplanmaktadır.

Hesaplama periyodunun optimum maliyetli enerji seviyesi hesaplamalarına olan etkisinin değerlendirilmesi için 20 yıllık ve 10 yıllık periyotlar içinde değerlendirilmesi yapılmıştır.

Düzenlemeye göre bireysel yatırımcı perspektifinden yapılan hesaplamalarda iskonto oranı %2 ile %4 arasında bir değer alması seçenekler arasındadır. İskonto oranının etkisinin değerlendirilmesi için %3 ve %4 iskonto oranı ile hesaplamalar tekrar yapılmıştır.

İskonto oranına ek olarak enerji fiyatı gelişimi de küresel maliyet hesaplamalarında kabulü yapılan bir diğer ekonomik parametredir. İstatistiksel verilere dayanarak yıllık %8,42 enerji fiyatı artış oranına göre yapılan hesaplamalara ek olarak %7,0 ve %10,0 oranlarında hesaplamalar tekrarlanmıştır.

Çalışmada farklı ekonomik parametreler ile oluşturulan senaryolar;

- Enerji fiyat artışı oranı %7,0 olup iskonto oranının %1,97, %3,0 ve %4,0 olması durumları,
- İskonto oranı %4,0 olup enerji fiyat artışı oranının %7,0, %8,42 ve %10,0 olması durumları olarak belirlenmiştir.

Duyarlılık analizi sonuçları 5.bölümde paylaşılmıştır.

## 5.BULGULAR VE KARŞILAŞTIRMALAR

Ofis işlevinde kullanılan binanın toplam enerji tüketiminin %9,6'sı ısıtma, %20,8'i soğutma, %8,6'sı aydınlatma amaçlı olup %61'i kullanılan ekipmanlardan kaynaklanmaktadır. Binada kullanılan ekipmanlar enerji tüketimde yüksek bir paya sahiptir; bu durum bina ısıtma enerji ihtiyaçlarını azaltmakta ve soğutma enerji ihtiyaçlarını arttırmaktadır. Mevcut durumun belirlenen ekonomik veriler ve 30 yıllık hesaplama periyodu için küresel maliyeti 5207,150 TL/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

Bina ısıtma ve soğutma yükünü azaltmak için öncelikle bina kabuğunda alınan önlemlerin enerji tüketimlerine ve küresel maliyetlere olan etkisi incelenmiştir. 3 cm kalınlığında duvar yalıtımı (D1) pencerelerde herhangi bir önlem alınmadığında mevcut duruma göre toplam enerji tüketimini %2,650 azaltmasına karşılık küresel maliyetleri %0,236 oranında arttırmaktadır. Düşük güneş ısı kazanç katsayısına sahip camların (P1) kullanıldığı durumlarda ise 3 cm kalınlığında duvar yalıtımı toplam enerji tüketimini %2,816 azaltmakta iken küresel maliyetleri %0,089 arttırmaktadır. Aynı duvar yalıtımı kalınlığında ikincil pencereler kullanıldığında (P2) ise duvar yalıtımının enerji kazancına katkısı %1,381 olup küresel maliyetleri de %0,403 azaltmaktadır. Diğer yalıtım kalınlıklarının enerji tüketimi ve küresel maliyetlere olan etkisi Tablo 5.1'de yer almaktadır. Yapı kabuğunda alınan önlemler ile birlikte değerlendirildiğinde yalıtım kalınlığının artmasının küresel maliyetlere olan faydayı arttırdığı gözlenmiştir.

Tablo 5.1- Duvar yalıtımı önlemlerinin değişen pencere önlemlerine göre toplam enerji tüketimi ve küresel maliyetlere olan katkısı.

Yalıtım Kalınlıkları	Toplam Enerji Tüketimini Azaltmaya Katkısı (%)			Küresel Maliyetleri Azaltmaya Katkısı (%)		
	P0	P1	P2	P0	P1	P2
<b>D1 (3 cm)</b>	2,649	2,816	3,375	-0,236	-0,089	0,403
<b>D2 (4 cm)</b>	3,025	3,211	3,739	-0,031	0,132	0,597
<b>D3 (5 cm)</b>	3,156	3,372	3,848	-0,041	0,149	0,569
<b>D4 (6 cm)</b>	3,346	3,574	4,053	0,001	0,202	0,623

Yapı kabuğunda alınan önlemlerden pencere önlemleri değerlendirildiğinde küresel maliyetlere olan faydasının duvar yalıtımından daha yüksek olduğu görülmektedir. Duvar yalıtımı kalınlıkları pencerelerde alınan önlemlerin küresel maliyete olan etkilerini değiştirmektedir. Yalıtım kalınlığı arttıkça düşük ısı kazanç katsayılı camların (P1) kullanıldığı senaryolara küresel maliyetler açısından faydası



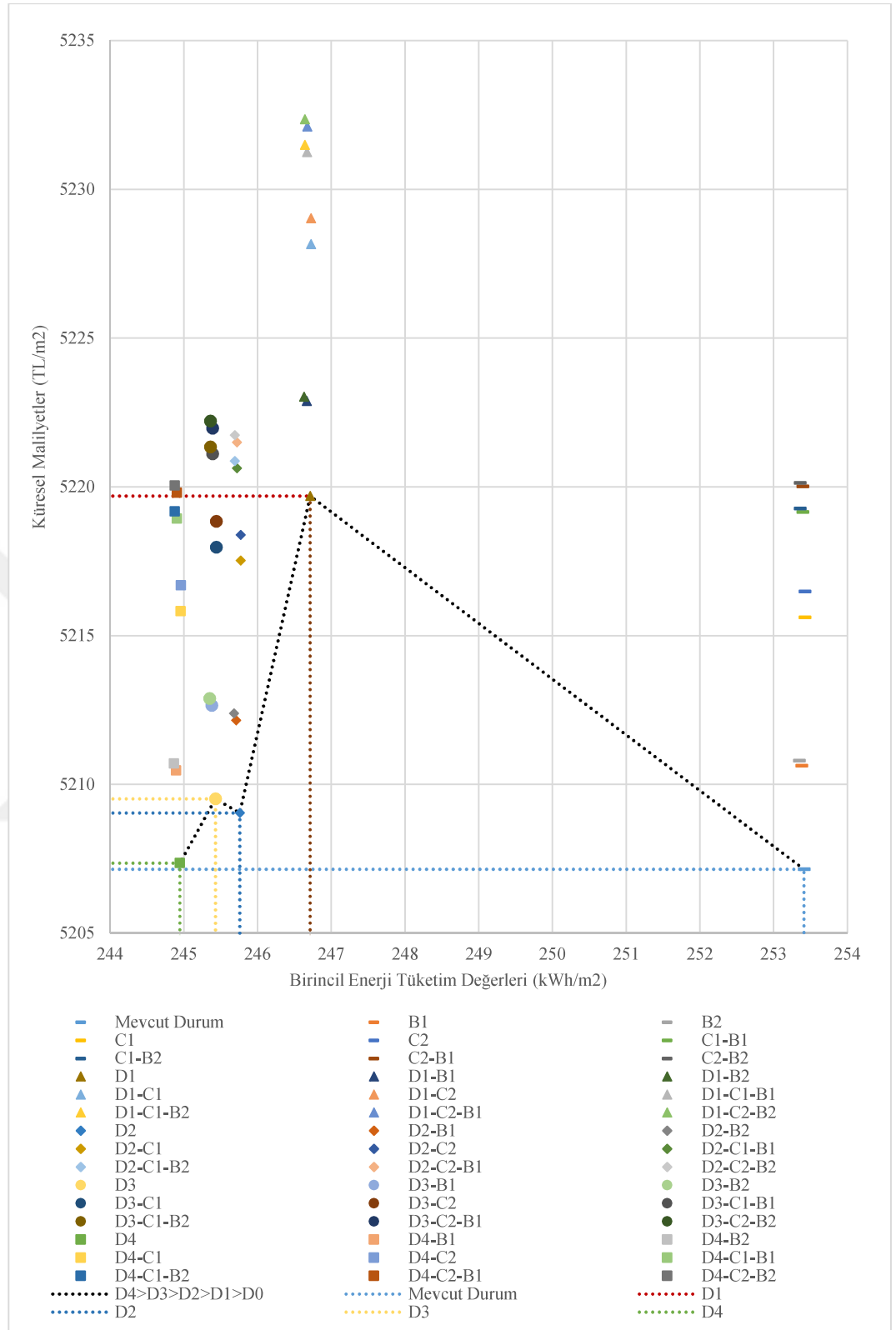
artmaktadır. İkincil pencere uygulaması (P2) en yüksek küresel maliyet faydasını 3 cm kalınlığında duvar yalıtımı uygulandığı (D1) senaryolarda göstermektedir.

Tablo 5.2- Düşük güneş ısı kazanç katsayılı camların (P1) farklı yalıtım kalınlıklarına göre toplam enerji tüketimi ve küresel maliyetlere olan katkısı.

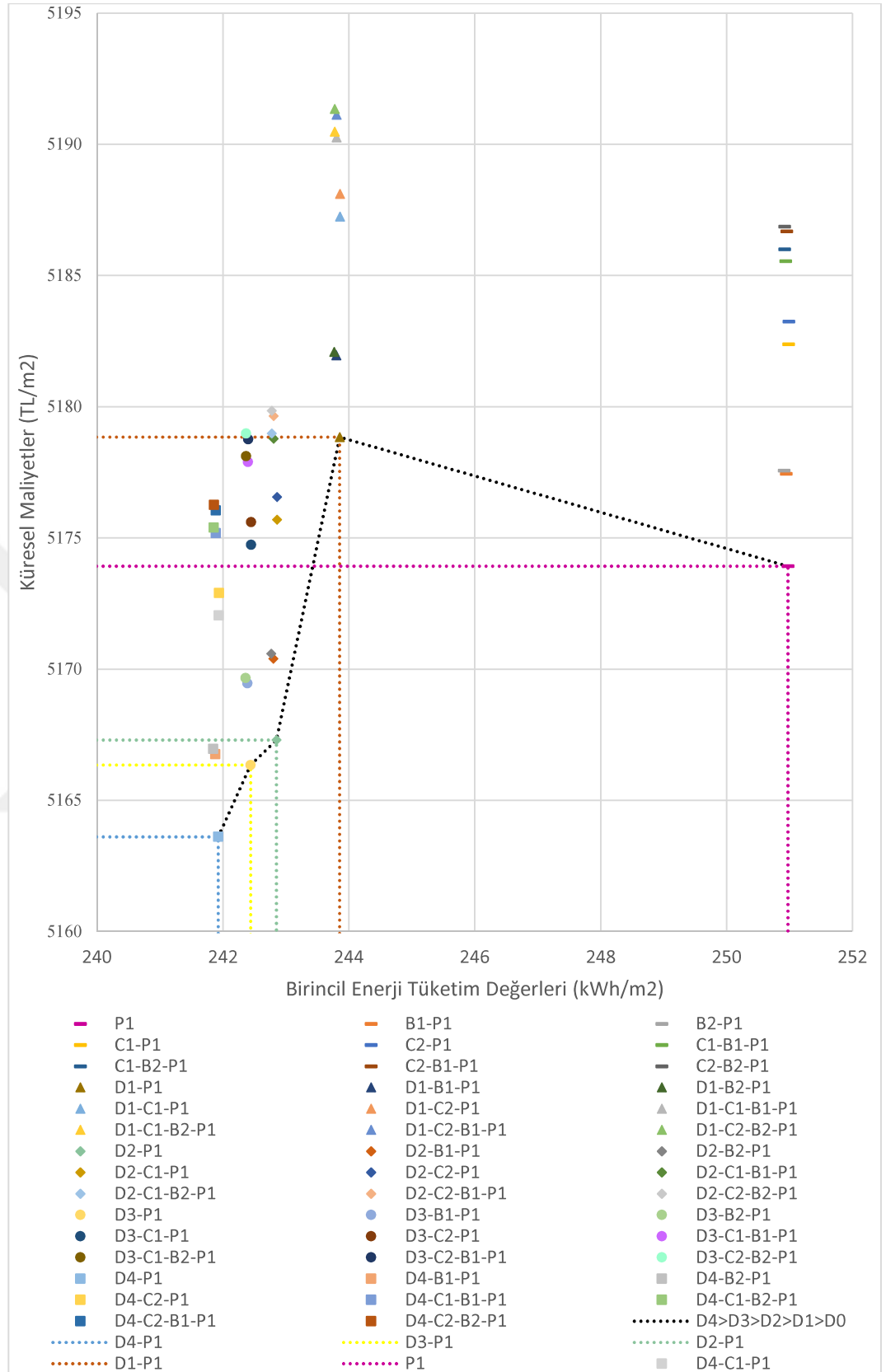
<b>Toplam Enerji Tüketimini Azaltmaya Katkısı (%)</b>				
<b>D0</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>
0,964	1,131	1,150	1,180	1,192
<b>Küresel Maliyetleri Azaltmaya Katkısı (%)</b>				
<b>D0</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>
0,639	0,786	0,803	0,830	0,840

Tablo 5.3- İkincil pencere uygulamasını (P2) farklı yalıtım kalınlıklarına göre toplam enerji tüketimi ve küresel maliyetlere olan katkısı.

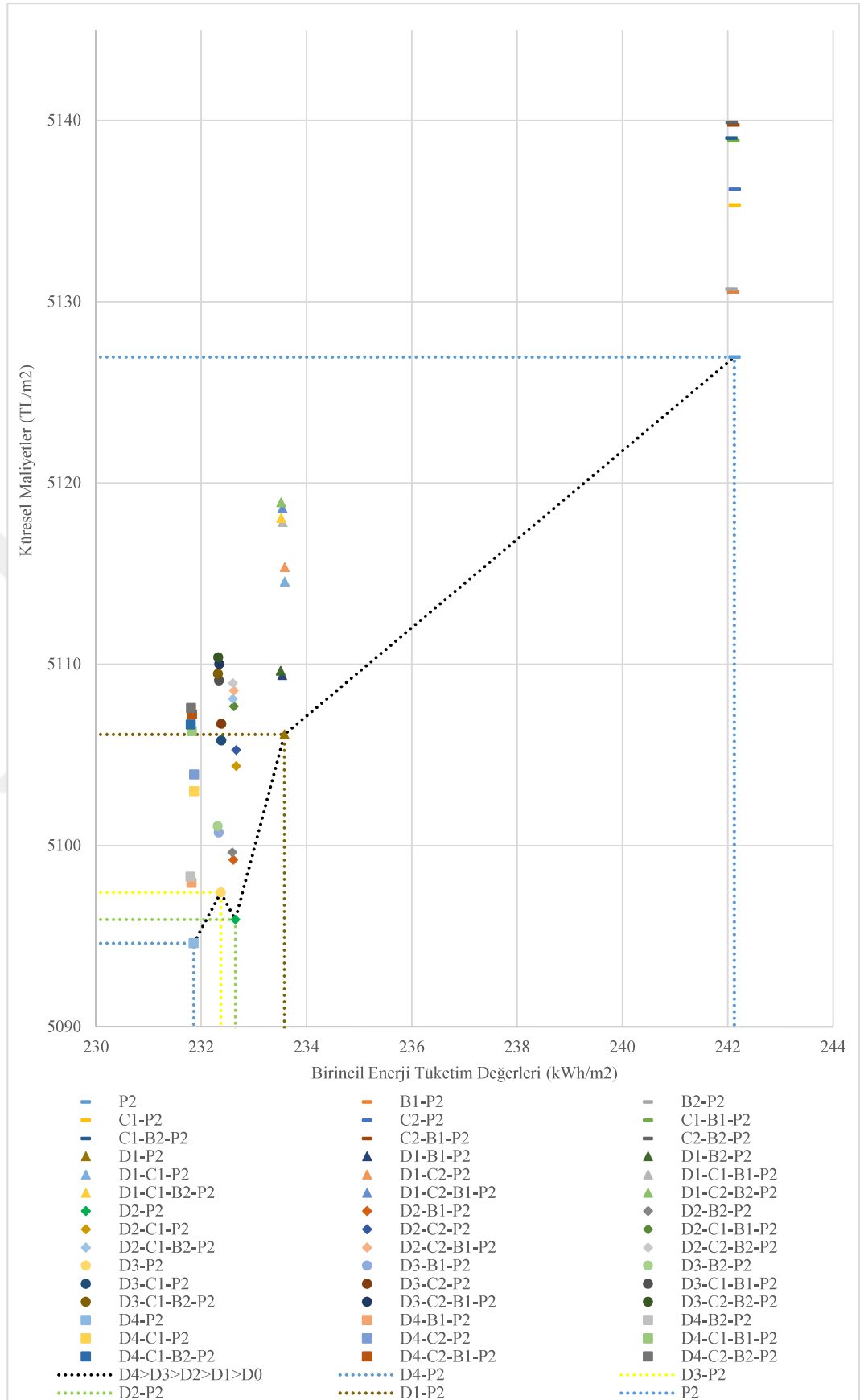
<b>Toplam Enerji Tüketimini Azaltmaya Katkısı (%)</b>				
<b>D0</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>
4,456	5,183	5,171	5,150	5,163
<b>Küresel Maliyetleri Azaltmaya Katkısı (%)</b>				
<b>D0</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>
1,541	2,180	2,169	2,150	2,163



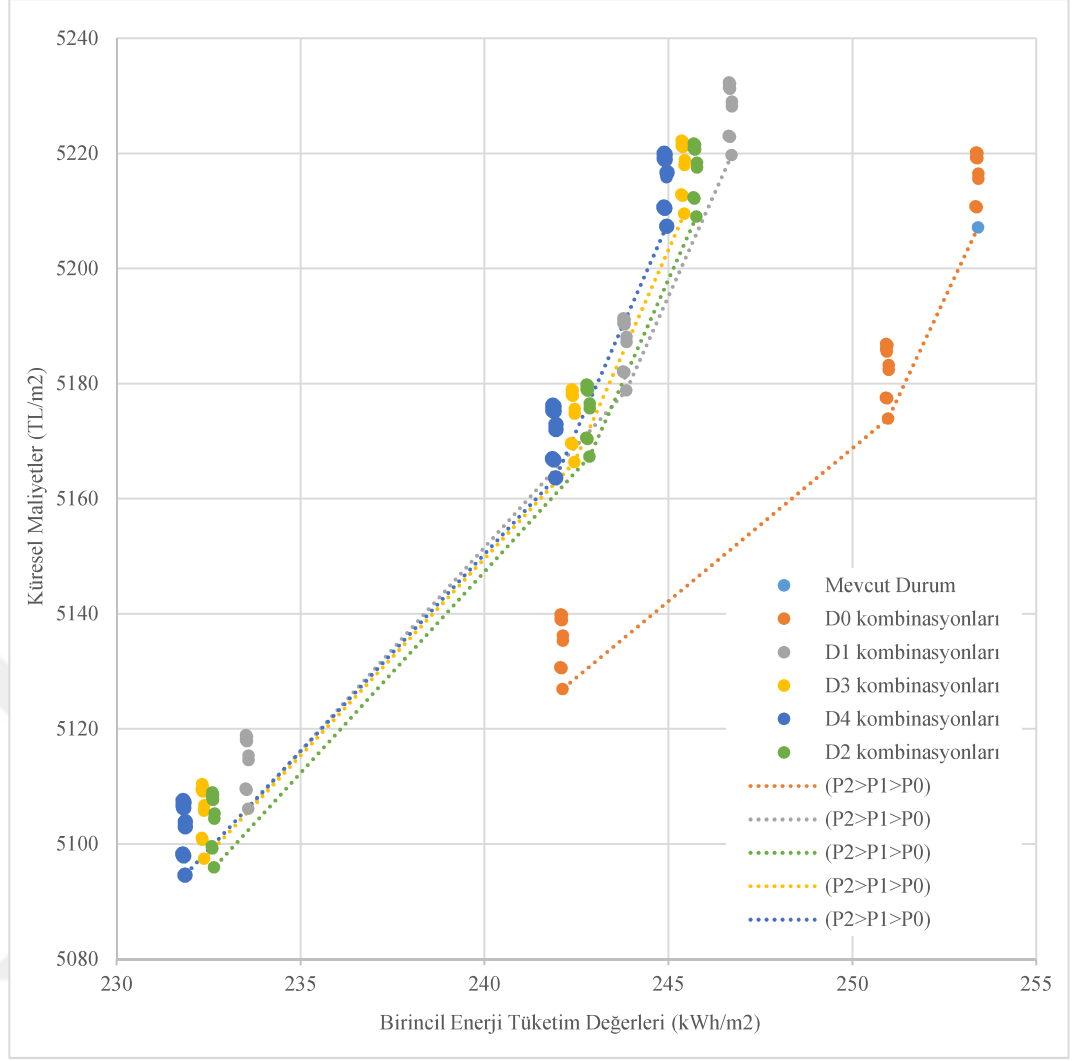
Şekil 5.1- Yapı kabuğunda alınan önlemlere ait (Duvar + Çatı + Bodrum yalıtımları) birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri.



Şekil 5.2- Yapı kabuğunda alınan önlemlere ait (Duvar + Çatı + Bodrum yalıtımları ve düşük güneş ısı kazanç katsayılı camlar) birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri.



Şekil 5.3- Yapı kabuğunda alınan önlemlere ait (Duvar + Çatı + Bodrum yalıtımları ve ikincil pencere uygulaması) birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri.



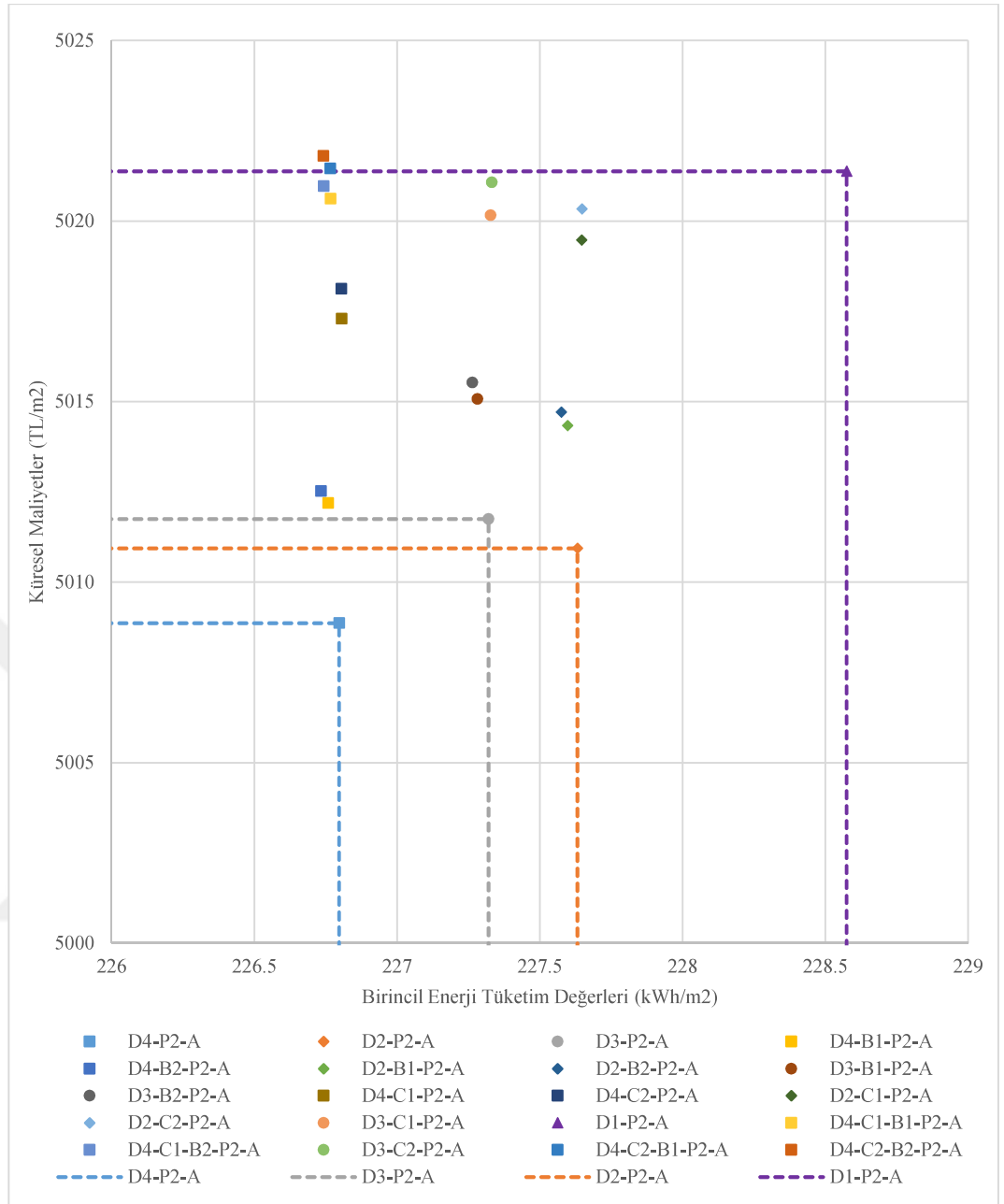
Şekil 5.4- Yapı kabuğunda alınan önlemler ile oluşturulan senaryolar ve mevcut durum birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri.

Yapı kabuğunda alınan önlemler değerlendirildiğinde çatı katı yalıtımı ve bodrum tavan döşemesi yalıtımının senaryolara eklenmesi maliyet etkinliği açısından fayda sağlamamıştır. 5 cm kalınlığında bodrum tavan döşemesi yalıtımı (B1) uygulanan senaryolarda toplam enerji tüketimine katkısında %0,017 azalma olup küresel maliyeti %0,064 oranında arttırdığı görülmüştür. 8 cm kalınlığında bodrum tavan kat döşemesi yalıtımı (B2) ise toplam enerji tüketimini %0,029 azaltıp, küresel maliyeti %0,067 artış göstermektedir. Çatı katı döşemesinde 8 cm kalınlığında ek yalıtımın yapılması (C1) toplam enerji tüketimini %0,003 ve küresel maliyeti %0,162 arttırmaktadır. 10 cm kalınlığında yalıtım uygulanması durumunda (C2) ise toplam enerji tüketiminde %0,004 ve küresel maliyette %0,178 artışa neden olmaktadır.

Yapı kabuğunda alınan önlemler kendi içerisinde değerlendirildiğinde enerji tüketimini ve küresel maliyetleri düşürmek adına en etkili önlem ikincil pencere uygulaması (P2) olduğu görülmüştür. Düşük güneş ısı kazançlı camların

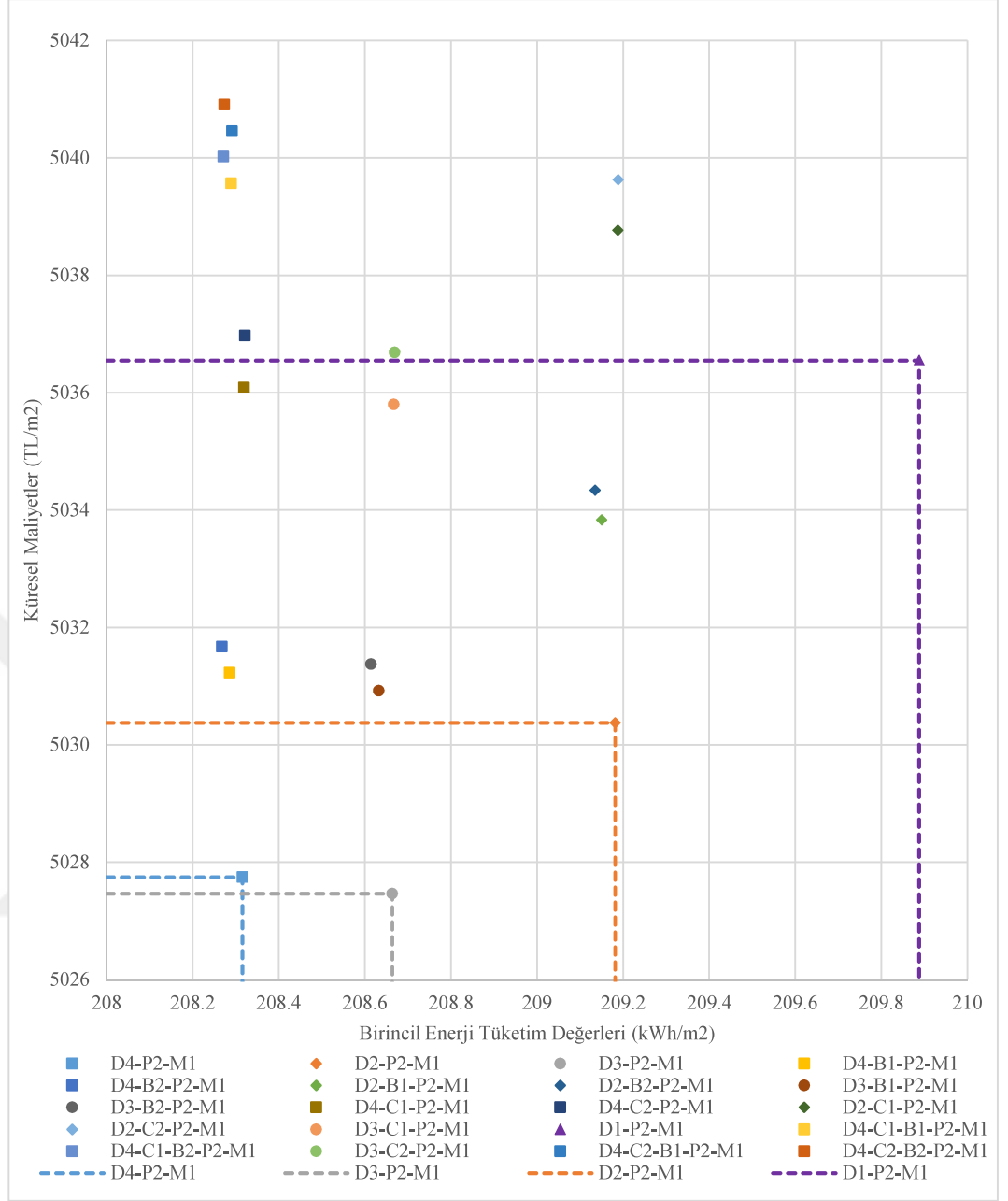
kullanılması (P1) enerji tüketimleri ve küresel maliyetlere en çok katkı sağlayan önlemlerden bir diğeridir. Duvar yalıtımı kalınlığının artırılmasının enerji tüketimlerine ve küresel maliyetlere katkısı pencere önlemlerinden daha az olmaktadır. Hatta pencerelerde alınan önlemler olmaksızın sadece duvar yalıtımı önlemleri ile küresel maliyetler açısından kazanç elde edilememektedir. Küresel maliyetler açısından değerlendirildiğinde en yüksek verimlilikten en düşük verimliliğe doğru duvar yalıtımı önlemleri D4-D2-D3-D1 olarak sıralanmaktadır. Çatı döşemesi ve bodrum tavan döşemesi yalıtımı uygulamaları toplam enerji tüketimine olan katkısı en düşük düzeyde olmakla birlikte küresel maliyet açısından verimsiz olarak değerlendirilmektedir.

Yapı kabuğunda alınan önlemler ile değerlendirilen senaryoların optimum maliyetli 20 kombinasyonu ve mevcut durum üzerinde aydınlatma sistemi, iklimlendirme sistemi ve yenilenebilir enerji eldesi için alınan önlemler uygulanmıştır. İç aydınlatma sisteminde kompakt floresan lambalardan LED ampullere geçilmesi değerlendirilen tüm senaryolar için toplam enerji tüketimlerinde ortalama %1,961'lik, küresel maliyetlerde ise ortalama %1,617'lik bir azalış sağlanmaktadır. Duvar yalıtım seviyelerinin küresel maliyet açısından verimlilik sıralaması aynı kalmıştır.



Şekil 5.5- Yapı kabuğunda alınan önlemlere aydınlatma sisteminde belirlenen önlemin eklenmesi durumunda birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler.

İklimlendirme sistemleri üzerinde alınan önlemlerin uygulandığı senaryolarda 1. öneri olan 3 borulu VRV sisteminin kullanılması (M1) durumunda toplam enerji tüketiminde ortalama %9,337, küresel maliyetlerde %1,327 ek azalma sağlanmaktadır. Yapı kabuğunda alınan önlemlerin uygulanmadığı senaryolarda ise küresel maliyete olan katkı ortalama %3,222 olarak hesaplanmıştır. Duvar yalıtımı kalınlıkları kendi içinde karşılaştırıldığında 5 cm kalınlık (D3) 3 borulu VRV sisteminin kullanıldığı senaryolarda küresel maliyet açısından daha verimli olmaktadır. Küresel maliyet açısından verimlilik sıralaması D3-D4-D2-D1 olarak değişmektedir.



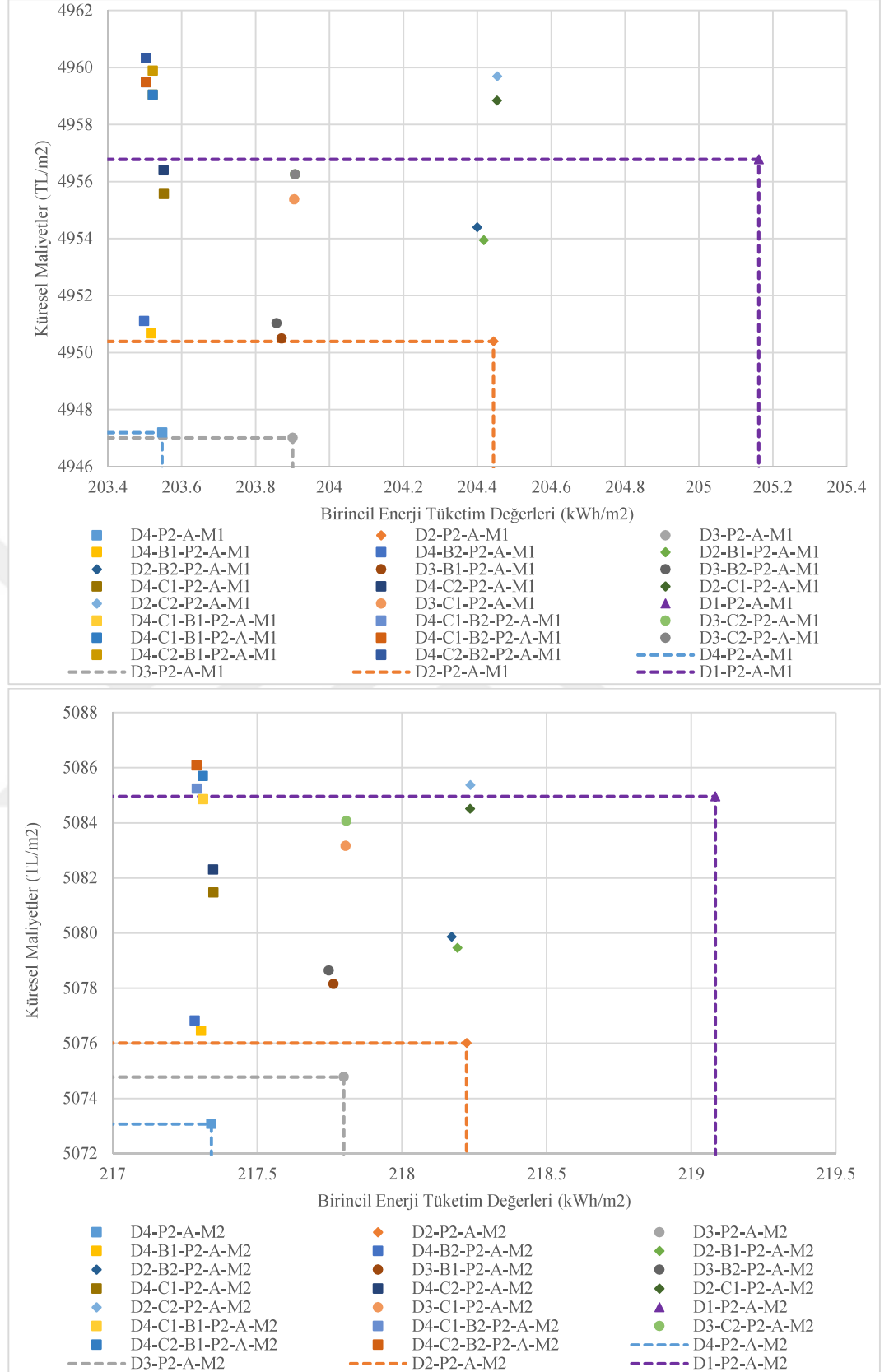
Şekil 5.6- Yapı kabuğunda alınan önlemlere 3 borulu VRV sisteminin (M1) eklenmesi durumunda birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler.

2. iklimlendirme sistemi önerisi olan hava kaynaklı ısı pompası sisteminin kullanıldığı (M2) senaryolarda toplam enerji tüketiminde %3,793 ek azalma sağlanmasına karşılık, küresel maliyetleri %1,179 oranında artmaktadır. Yapı kabuğunda alınan önlemlerin uygulanmadığı senaryolarda hava kaynaklı ısı pompası sisteminin küresel maliyetlere olan etkisinde %0,460'lık artış görülmüştür. Küresel maliyet artışına karşın hava kaynaklı ısı pompasının optimum maliyetli 20 yapı kabuğu senaryosu ile uygulandığı durumlarda mevcut duruma göre küresel maliyet açısından verimli kalmaktadır.

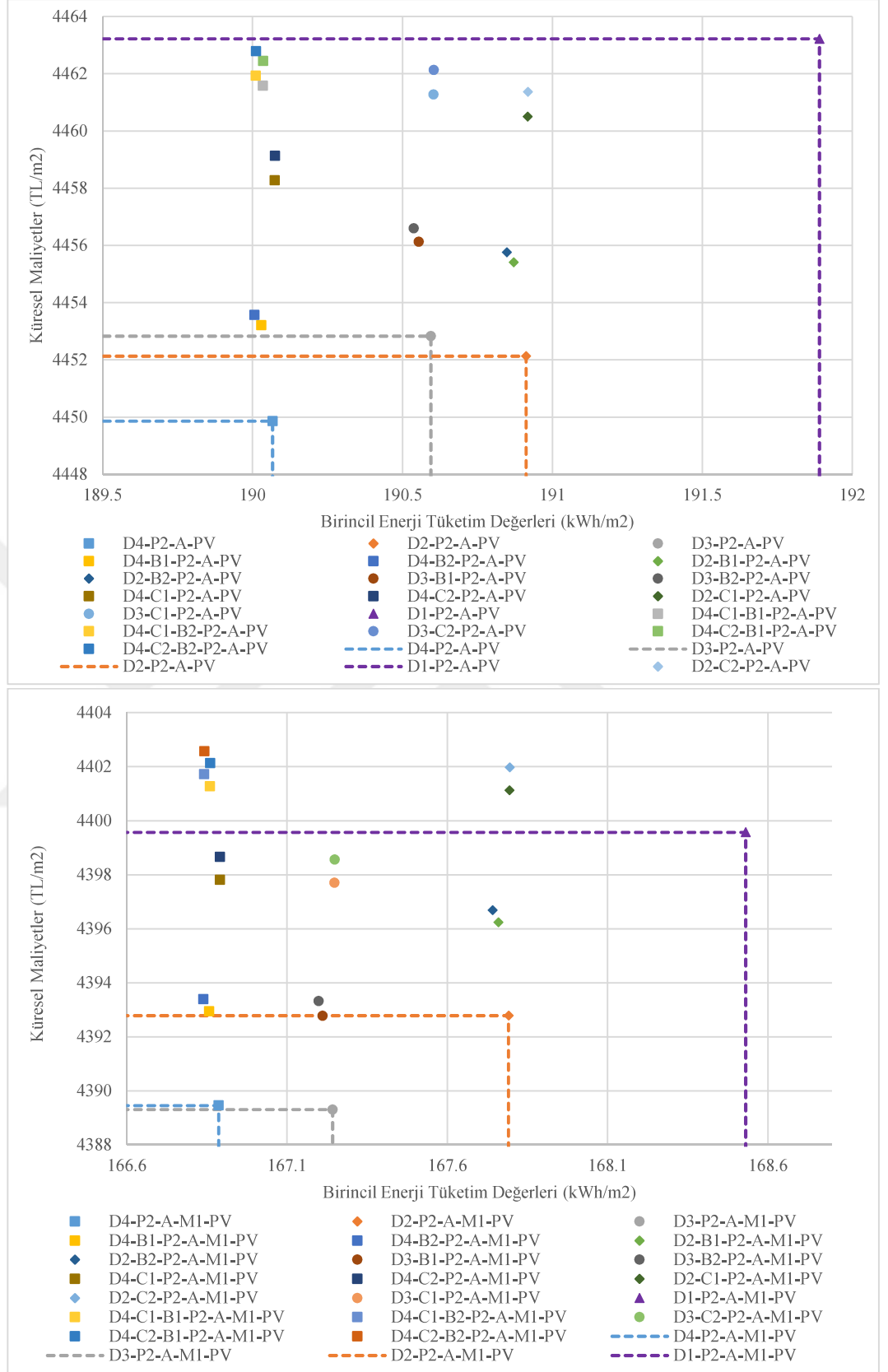




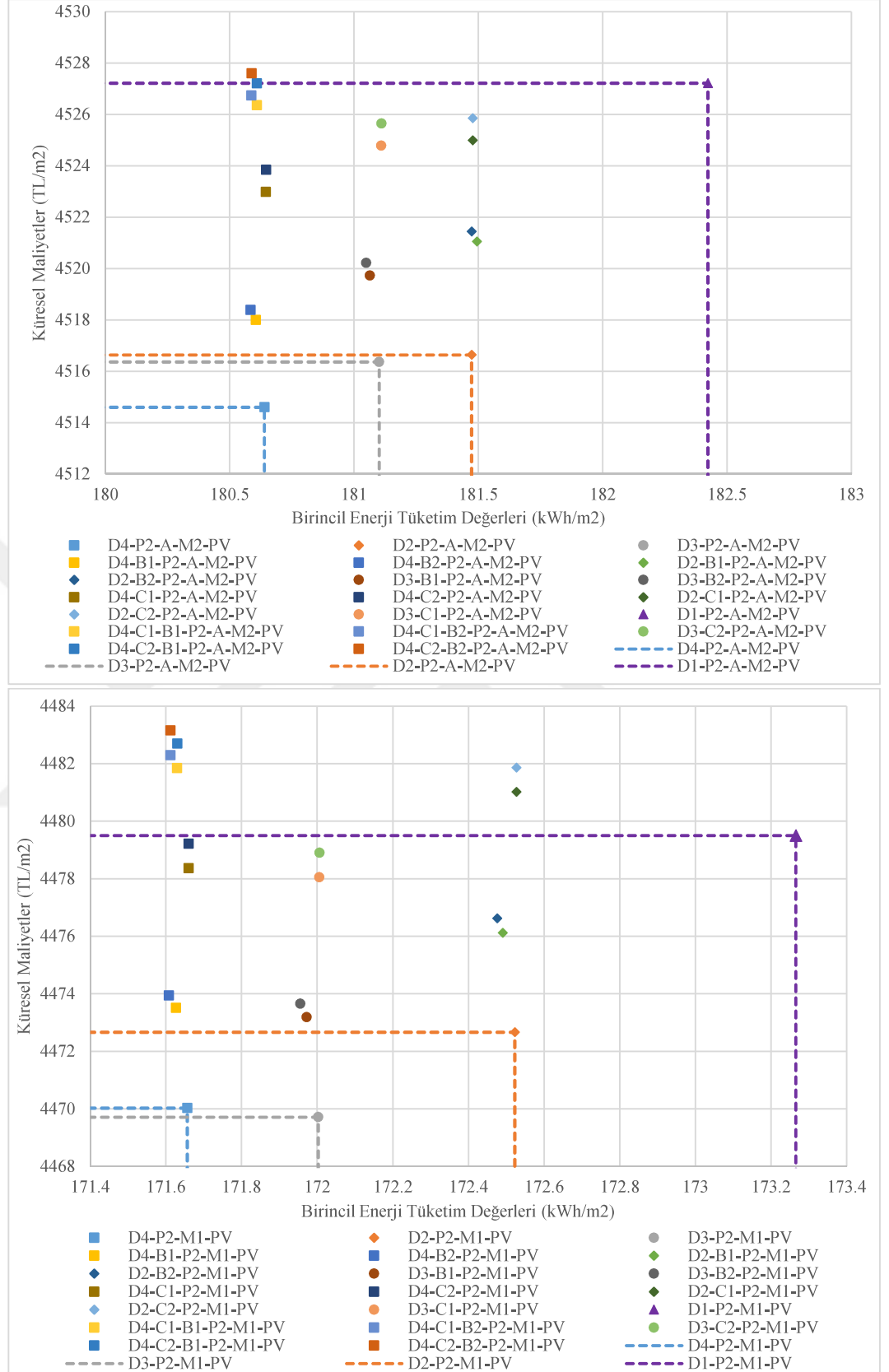




Şekil 5.9- Yapı kabuğunda alınan önlemlere aydınlatma sistemi ve iklimlendirme sistemi için belirlenen önlemlerin eklendiği senaryolara ait birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler a) A+M1 kombinasyonları b) A+M2 kombinasyonları.

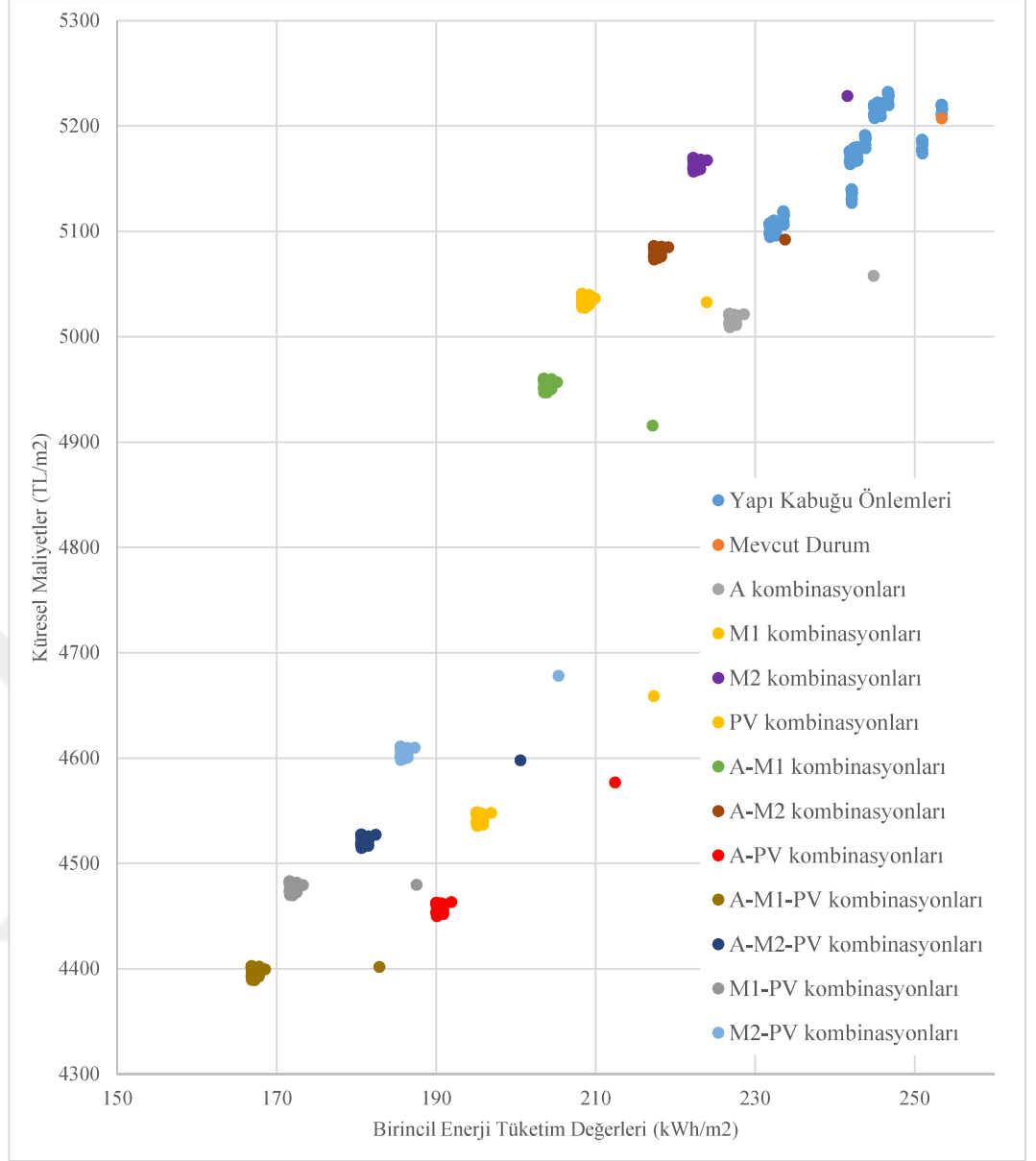


Şekil 5.10- Yapı kabuğunda alınan önlemlere aydınlatma sistemi, iklimlendirme sistemi ve yenilenebilir enerji eldesi için belirlenen önlemlerin eklendiği senaryolara ait birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler a) A+PV kombinasyonları b) A+M1+PV kombinasyonları.



Şekil 5.11- Yapı kabuğunda alınan önlemlere aydınlatma sistemi, iklimlendirme sistemi ve yenilenebilir enerji eldesi için belirlenen önlemlerin eklendiği senaryolara ait birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler a) A+M2+PV kombinasyonları b) M1+PV kombinasyonları.

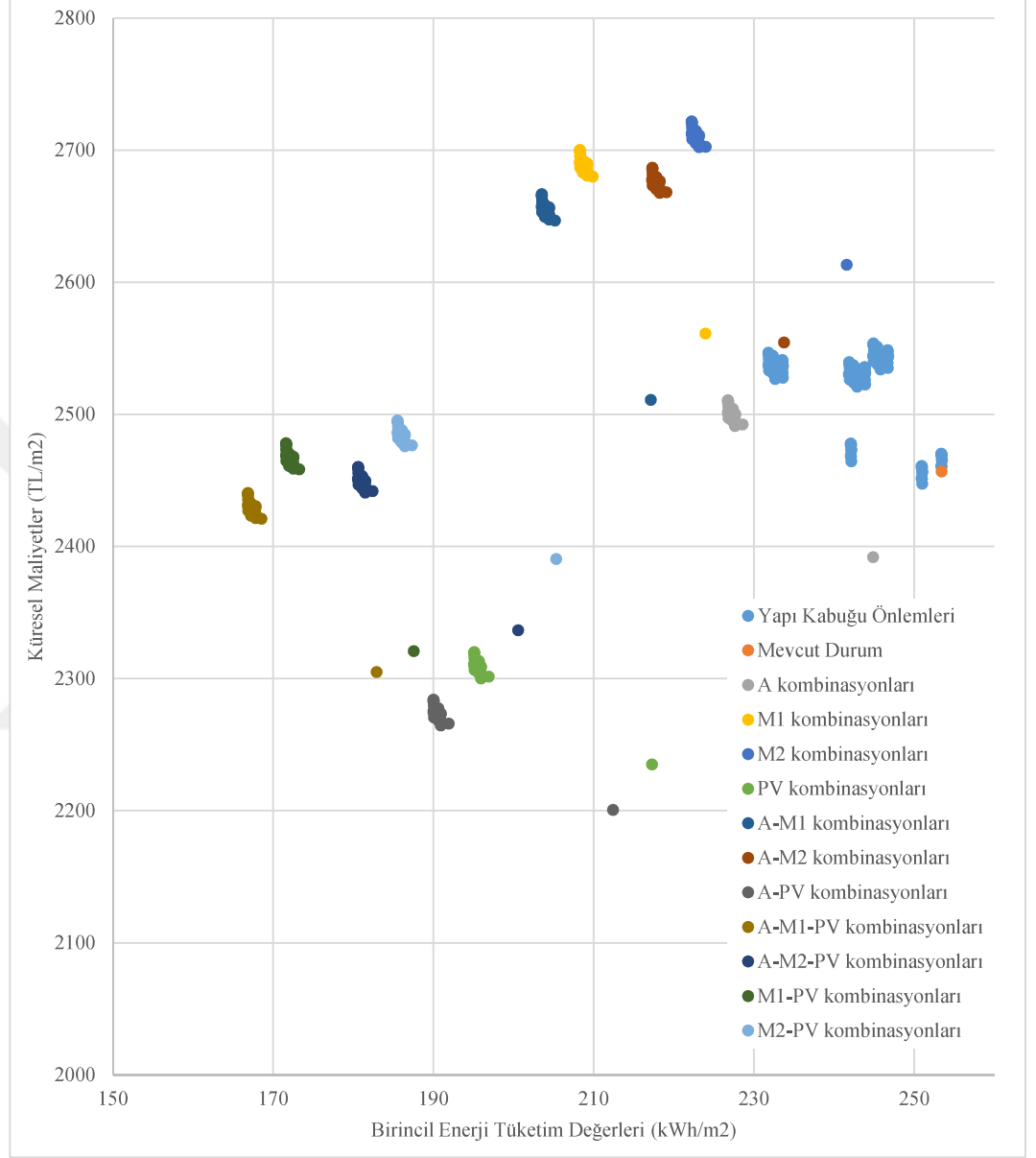




Şekil 5.13- Mevcut durum ve 365 senaryoya ait birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetleri.

Hesaplama periyodu 20 yıla düşürüldüğünde optimum maliyetli enerji seviyesine mevcut duruma aydınlatma sistemi için belirlenen öneri ve PV panel sistemi uygulaması ile oluşturulan senaryo (MD-A-PV) ile ulaşılmaktadır. Yapı kabuğunda belirlenen önlemler değerlendirildiğinde en etkili önlem düşük güneş ısı kazanç katsayılı camların kullanılması (P1) olarak belirlenmektedir. Duvar yalıtımı uygulamaları karşılaştırıldığında ise 3 borulu VRV sisteminin uygulandığı senaryolarda maliyet etkinliği sıralaması D1-D2-D3-D4, geri kalan tüm senaryolarda ise D2-D1-D3-D4 şeklinde olmaktadır. Pencerelede alınan önlemlerden ikincil pencere uygulaması (P2) düşük güneş ısı kazanç katsayılı camların kullanılmasına (P1) göre daha yüksek küresel maliyete sahip olmasına karşın duvar yalıtımı önlemlerine göre daha maliyet etkin olmaktadır. Mekanik sistemlerin geliştirilmesi ise küresel maliyetler açısından verimsiz önlemler olarak

değerlendirilmektedir. Mekanik sistemlerin karşılaştırılmasında ise 3 borulu VRV sistemi (M1) hava kaynaklı ısı pompasına (M2) göre daha maliyet etkin olmaktadır. PV panel uygulamasının maliyet etkinliği açısından en yüksek olumlu etkiye sahip önlem olduğu görülmektedir.

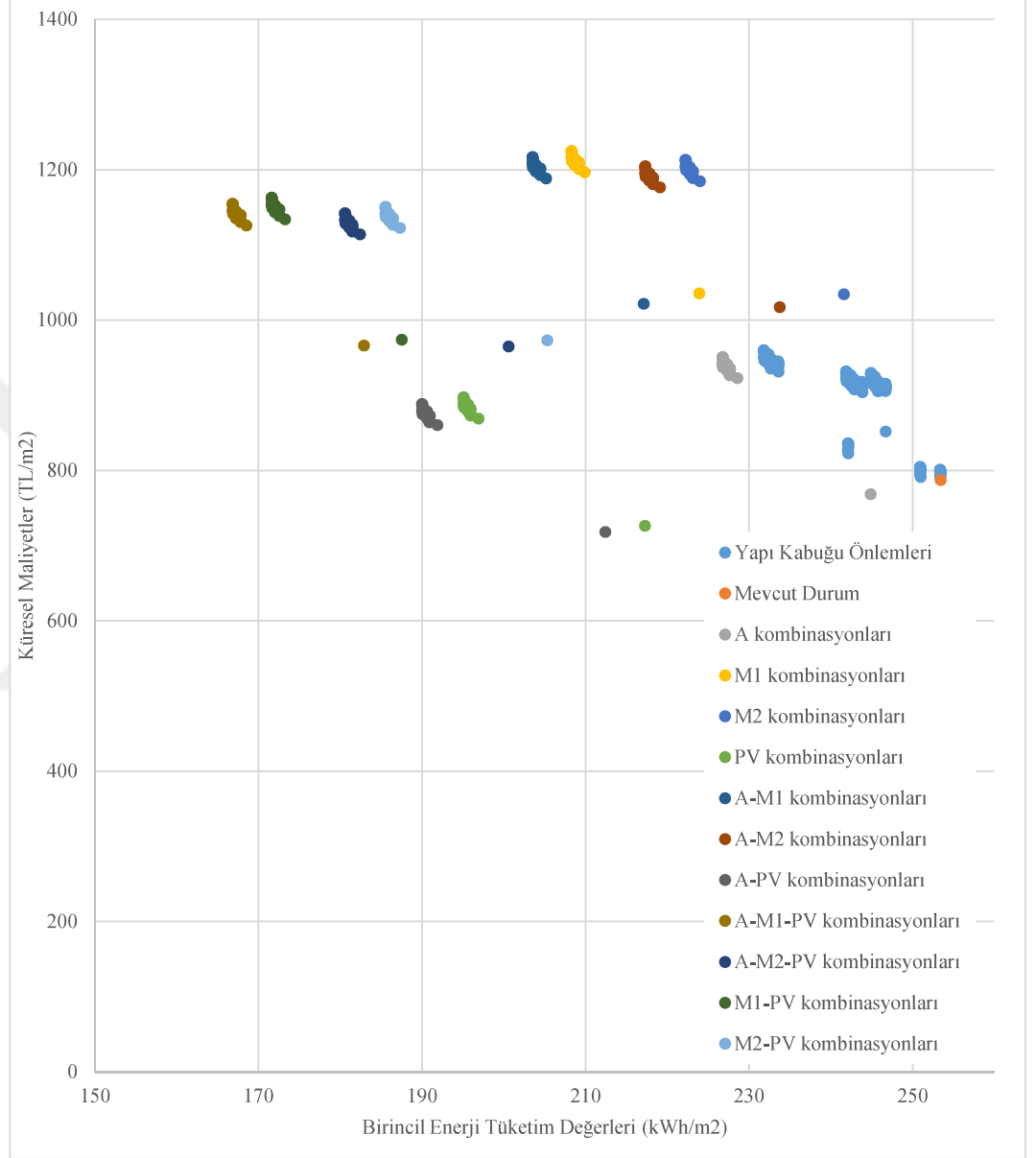


Şekil 5.14- 20 yıllık hesaplama periyodu için birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler.

Hesaplama periyodunun 10 yıl olarak belirlenmesi durumunda mevcut duruma aydınlatma sistemi için belirlenen önlem ve PV panel uygulamasının tekil ve birlikte uygulandığı 3 senaryo maliyet etkin olarak bulunmuştur. Hesaplama periyodunun kısalması enerji etkin önlemlerin sağladığı enerji maliyeti kazançlarının toplamını küçültmektedir. İlk yatırım maliyeti yüksek olan senaryolar yüksek küresel maliyet değerlerine sahip olmaktadır. Bu yüzden kısa vadede daha ince kalınlıktaki yalıtım seviyeleri daha maliyet etkin olarak değerlendirilmektedir.



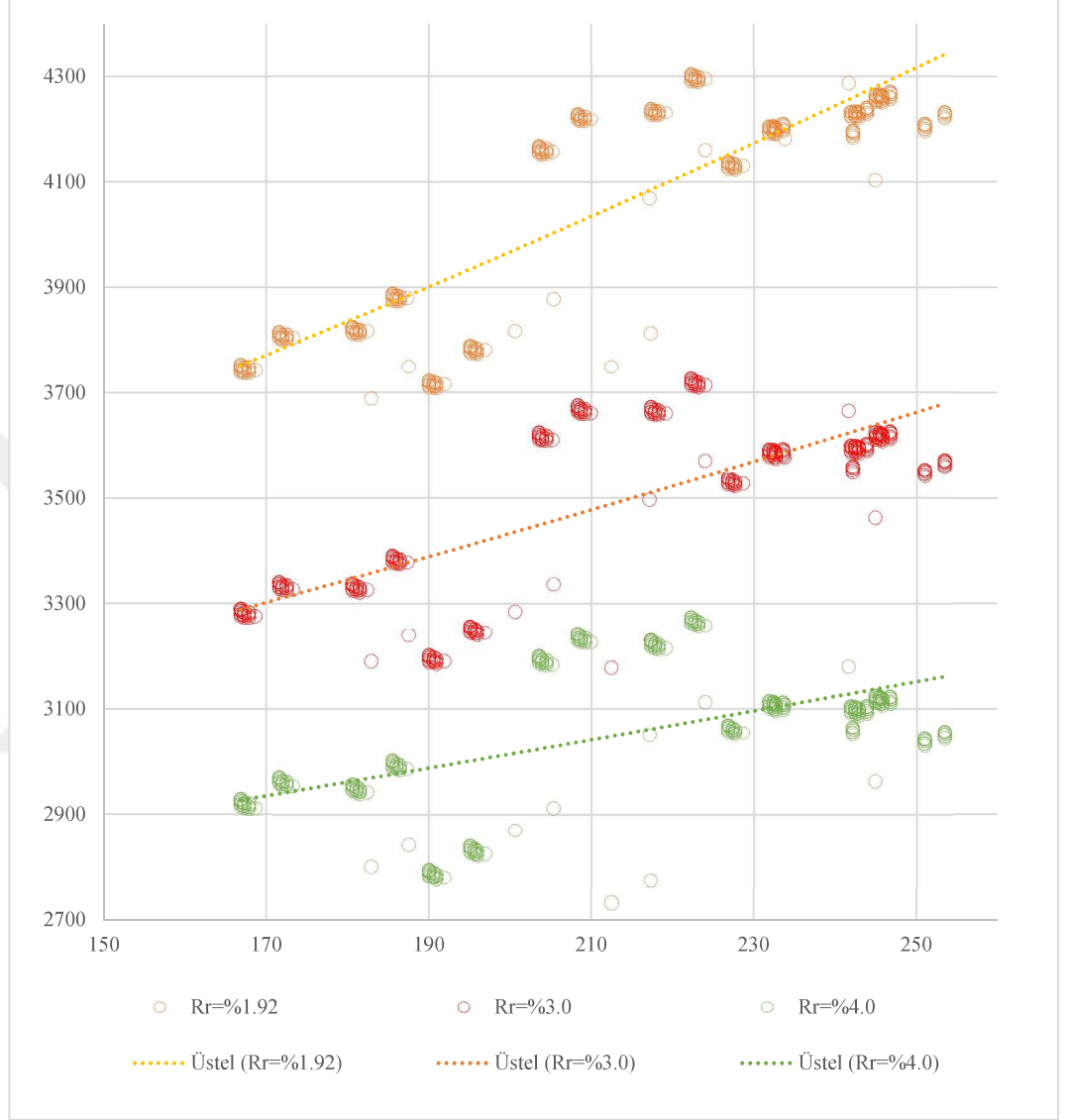
Yine aynı şekilde ikincil pencere uygulamasına (P2) göre daha düşük yatırım maliyetine sahip düşük güneş ısı kazançlı camların uygulanması (P1) daha maliyet etkin olmaktadır. Hava kaynaklı ısı pompası (M2) daha düşük ilk yatırım maliyeti ile 3 borulu VRV sistemine (M1) göre daha düşük küresel maliyet sonuçları vermektedir.



Şekil 5.15- 10 yıllık hesaplama periyodu için birincil enerji tüketimleri ve küresel maliyetler.

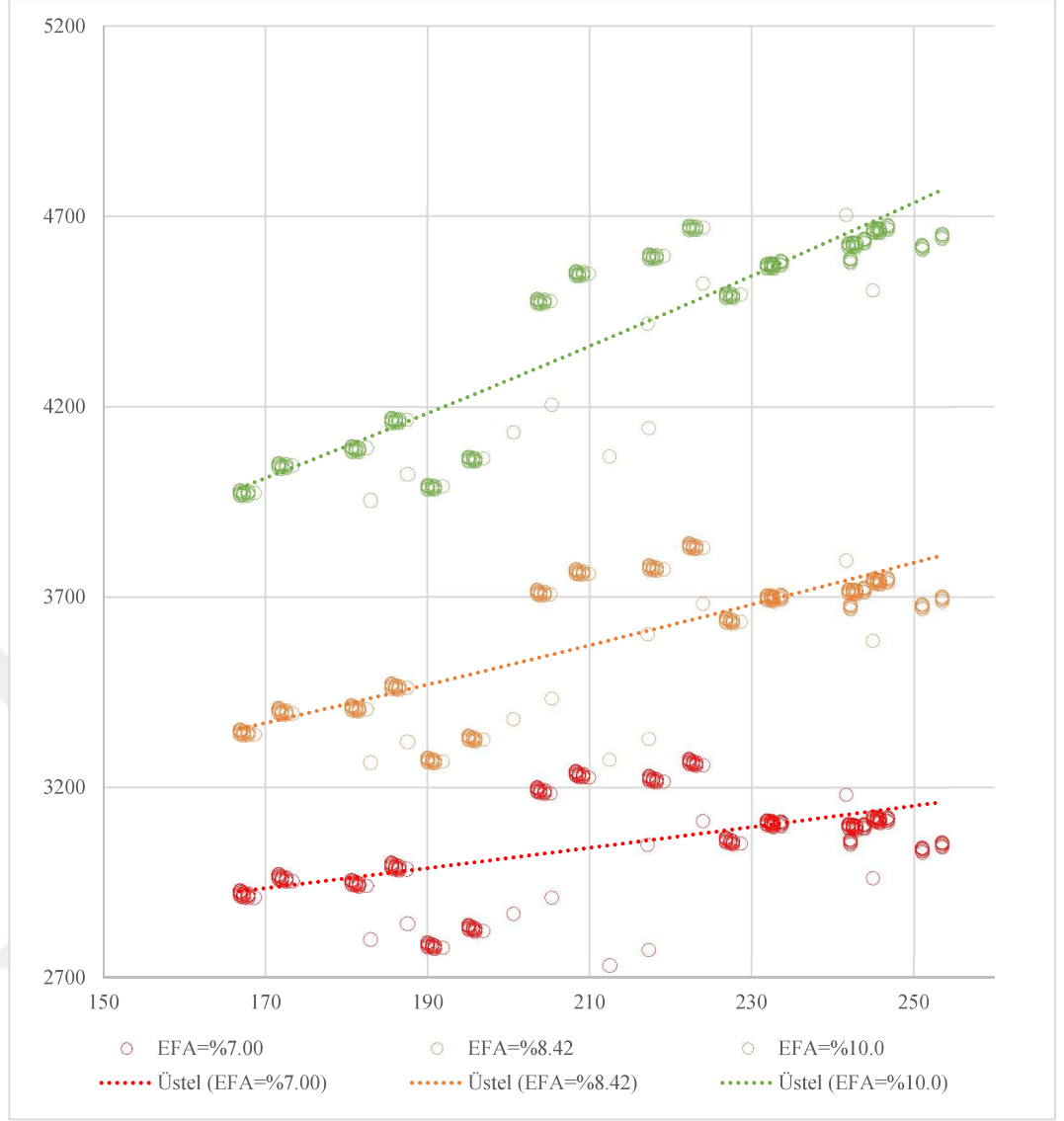
Reel iskonto oranı enflasyon oranı ve faiz oranlarına göre bölüm 3’de verilen denklem 3.3’e göre hesaplanmaktadır. Piyasa faiz oranı ile enflasyon oranı arasındaki fark arttıkça reel iskonto oranı da artmaktadır. Reel iskonto oranı arttıkça belirlenen senaryoların küresel maliyetleri mevcut duruma göre daha maliyetli olmaktadır. Yüksek iskonto oranı yıllık maliyetlerin daha düşük olmasını sağlamaktadır. Daha düşük yıllık maliyetlerin gerçekleşmesi enerji etkin

önlemlerin sağladığı tasarruf değerlerinin daha düşük kalmasına neden olmaktadır. Enerji etkin önlemlerin enerji tüketim değerlerinden sağladığı kazançlar azalırken ilk yatırım maliyetleri aynı kaldığı için senaryoların sağladığı küresel maliyet kazançları da azalmaktadır.



Şekil 5.16- Enerji fiyat artışı oranı %7,0 olması durumunda iskonto oranının duyarlılık analizi.

Enerji fiyat artışı oranları değerlendirildiği durumda ise enerji fiyat artışı oranı arttıkça yıllık maliyetler artmakta ve küresel maliyetler daha yüksek değerler almaktadır. Enerji kazançlarının küresel maliyetlere olan etkisi daha da arttığı için yüksek enerji etkinliğine sahip önlemler maliyet etkinliği açısından daha iyi sonuçlar vermektedir.

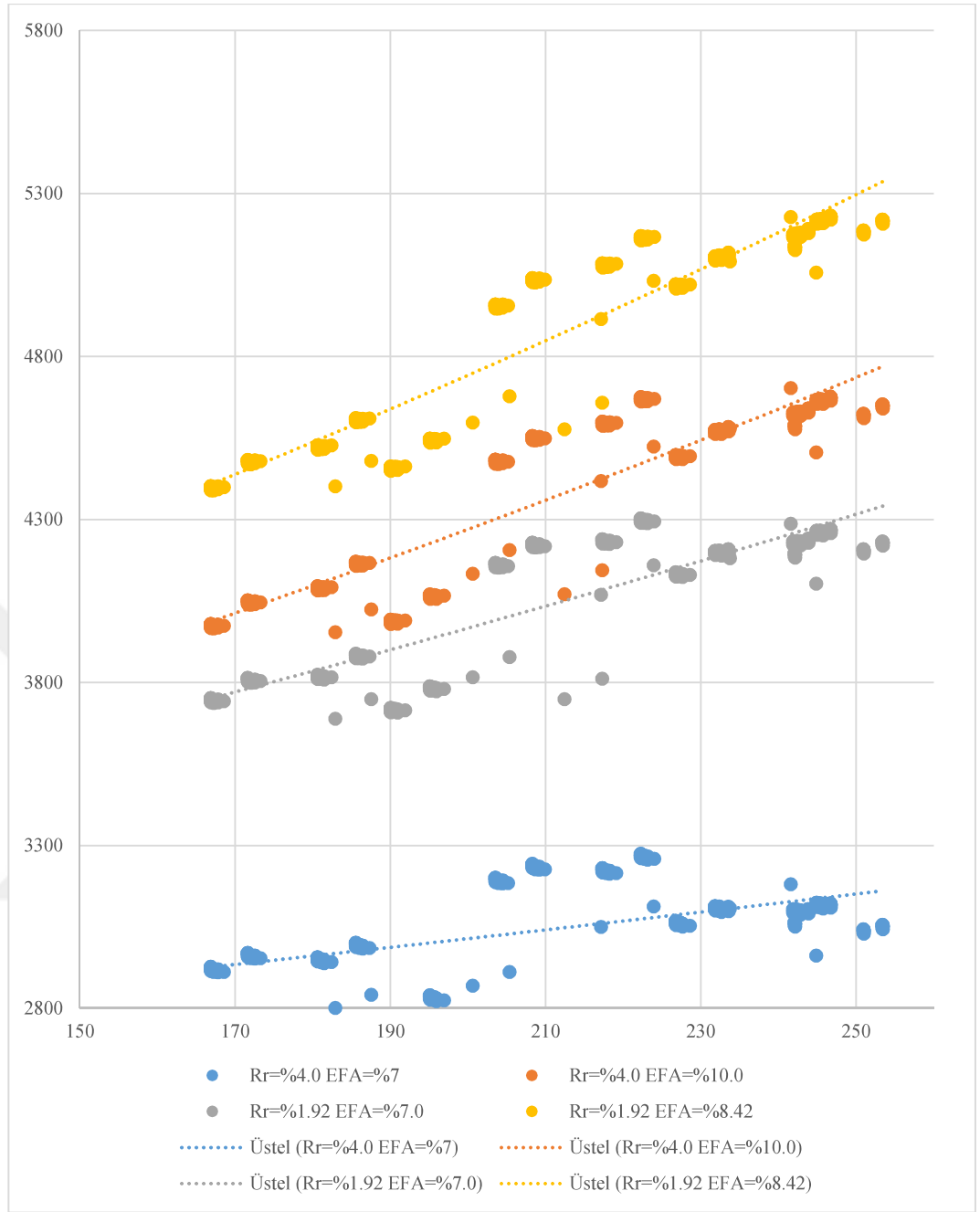


Şekil 5.17- İskonto oranı %4,0 olması durumunda enerji fiyat artışı oranının duyarlılık analizi.

Enerji fiyatı artış oranı %7,0 ve iskonto oranı %1,97 olduğu durumda optimum maliyetli enerji seviyesini MD-A-M1-PV (Mevcut duruma göre küresel maliyet %12,57 azalmaktadır.) senaryosu oluşturmaktadır. İstatistiksel verilere göre belirlenen ekonomik parametreler ile optimum maliyet seviyesini oluşturan D3-P2-A-M1-PV senaryosu değişen enerji fiyat artışı oranı ile küresel maliyet açısından kazanç oranı %11,42 olarak belirlenmektedir. PV panel ve LED ampullerin (A) kullanılması maliyet etkinliği açısından en verimli önlemler olmaya devam etmektedir. Duvar yalıtımı açısından 5 cm kalınlık (D3) 3 borulu VRV sisteminin (M1) kullanıldığı senaryolarda maliyet etkin iken diğer durumlarda 4 cm kalınlık (D2) daha iyi sonuçlar vermektedir. 3 borulu VRV sisteminin (M1) kullanıldığı senaryolar mevcut duruma göre küresel maliyet açısından daha düşük değerler gösterirken hava kaynaklı ısı pompasının (M2) kullanıldığı senaryolar en yüksek küresel maliyet değerlerine sahip olmaktadır. Sadece yapı kabuğunda alınan önlemlerden oluşan senaryolar mevcut duruma göre maliyet etkin olamamaktadır.

Duyarlılık analizleri içerisinde en düşük yıllık maliyetlerin ortaya çıkmasını sağlayan fiyat artış oranı %7,0 ve iskonto oranı %4,0 olduğu durumda optimum maliyetli enerji seviyesini MD-A-PV (Mevcut duruma göre küresel maliyet %10,22 azalmaktadır.) senaryosu oluşturmaktadır. PV panel uygulamasının olduğu tüm senaryolar mevcut duruma göre küresel maliyetler açısından daha verimli kalmaktadır. Mevcut duruma göre maliyet etkin diğer önlemler ise LED ampullerin (A) ve düşük güneş ısı kazançlı pencerelerin (P1) kullanılması olarak belirlenmektedir. D3-P2-A-M1-PV senaryosu küresel maliyet açısından mevcut duruma göre %4,32 daha düşük değere sahip olmaktadır.

Enerji fiyat artışı %10,0 ve iskonto oranı %4,0 olması durumunda tekrarlanan hesaplamalarda MD-A-M1-PV optimum maliyetli enerji seviyesini oluşturmaktadır. Mevcut duruma göre %14,79 küresel maliyet değeri azalmaktadır. Değerlendirilen 365 senaryonun 298'i mevcut duruma göre küresel maliyetler açısından daha düşük sonuçlar vermiştir. Ekonomik parametrelerin bu şekilde gerçekleşmesi durumunda D3-P2-A-M1-PV senaryosu mevcut duruma göre %14,53 daha maliyet etkin olmaktadır.



Şekil 5.18- Farklı enerji fiyat artış oranları ve iskonto oranları için duyarlılık analizi.

## 6.SONUÇLAR

Binalarda enerji etkinliğinin artırılması adına atılan ilk adımlar ile birlikte enerji tüketimlerinin sınırlandırılması, bina enerji performansının hesaplanması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı teşvik edilmiştir. 2010 yılında revize edilen AB direktifi yaklaşık sıfır enerjili bina ve optimum maliyetli enerji seviyesi kavramlarını ortaya çıkarmıştır. 2012 yılında optimum maliyetli enerji seviyesinin metodolojisi oluşturulmuş ve üye ülkelerden bu metodolojinin uygulanarak çalışmaların raporlanması beklenmiştir. Türkiye’de bu hesaplama metodolojisine ait yayınlanmış yasal bir mevzuat olmamak ile birlikte bu konuda akademik çalışmaların yapıldığı görülmektedir.

Tarihi binalar kültürel miras olarak sonraki kuşaklara aktarılması gereken yaşam ömrü standart binalardan daha uzun olan yapılardır. Tarihi geçmişli olan ülkelerin bina stokunun büyük bir kısmını da oluşturmaktadır. Bu nedenle tarihi binalarda enerji verimliliğinin sağlanması önemli olmakla birlikte yapılacak çalışmalarda tarihi dokuya ve geleneksel yapıya zarar verilmemesinin gereği de kaçınılmazdır.

Bu çalışmada İzmir İli Konak İlçesinde bulunan İzmir Tarih Proje Merkezi binasında belirlenen enerji etkin iyileştirme önerilerinin enerji tüketimlerine ve küresel maliyetlere olan etkileri incelenmiştir. Bina enerji simülasyonu programında modellenen bina, bir yıllık enerji tüketim miktarı ve ölçülen iç ve dış sıcaklık değerlerine göre kalibre edilmiştir. Mevcut durumun enerji tüketimleri ve belirlenen finansal veriler ile küresel maliyeti hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda yapı kabuğunda belirlenen iyileştirme önerilerinden enerji etkinliği açısından en verimli uygulama ikincil pencerenin uygulanması ile elde edilmiştir. İkincil pencere önerisini, düşük güneş ısı kazancı katsayısına sahip camların kullanıldığı ve duvarların yalıtıldığı önlemler takip etmektedir. Bodrum tavan döşemesi yalıtımının enerji tüketimlerine olumlu katkısı olmasına karşılık duvar yalıtımı kadar etkin olamamaktadır. Bina zemin katının büyük bir kısmı doğal arazi üzerine oturduğu için bu durumun olduğu düşünülmektedir. Binanın mevcut durumunda çatı döşemesinde yalıtım şiltesi bulunduğu için ek olarak yalıtım önlemi alınmasının enerji etkinliği açısından çok fazla katkı sağlamadığı görülmüştür. Bu nedenle bodrum tavan döşemesi ve çatı ek yalıtımları küresel maliyet hesaplamaları açısından verimsiz iyileştirme önlemleri olarak belirlenmiştir. Duvarlarda 6 cm kalınlığında yalıtım uygulaması ile enerji etkinliği ve küresel maliyet açısından birçok senaryoda en verimli sonuç elde edilirken VRV sisteminin kullanıldığı durumlarda 5 cm duvar yalıtımı küresel maliyet açısından en düşük sonuçları vermektedir.

Aydınlatma sisteminde yapılan iyileştirme ile enerji tüketimi azaltılmaktadır. Ayrıca LED ile iç ısı kazançları engellenerek soğutma enerjisi yüksek olan binanın soğutma ihtiyacında da düşüş sağlamaktadır. Düşük ilk yatırım maliyetine sahip aydınlatma sisteminin iyileştirilmesi küresel maliyet açısından verimli bir önlem olarak görülmektedir.

Mekanik sistemlerde yapılan iyileştirmeler enerji etkinliği açısından yüksek fayda sağlayan önlemler olarak gözlenmektedir. İlk yatırım maliyeti ve bakım maliyeti yüksek olan VRV sistemi özellikle yüksek EER değerine sahip olması nedeniyle küresel maliyet açısından olumlu sonuç vermektedir. Daha düşük bir ilk yatırım maliyeti ve bakım maliyetine sahip olmasına karşın hava kaynaklı ısı pompası daha düşük EER ve COP değerlerine sahip olduğu için enerji verimli bir önlem olmasına karşın küresel maliyet açısından verimsiz olarak değerlendirilmektedir.

Güneş enerjisinden fayda sağlanan PV panel uygulaması yüksek enerji tüketim değerlerine sahip ekipmanlar bulunduran bina için hem enerji hem de maliyet açısından en verimli sonuçları vermektedir.

Değerlendirilen enerji etkin iyileştirmeler arasında en olumlu katkıyı veren PV panel uygulamasının %14,444 oranında enerji tüketim değerlerinde, %10,69 oranında küresel maliyetlerde düşüş sağladığı görülmüştür. 10 cm kalınlığında ek çatı yalıtım şiltesi uygulaması enerji tüketim değerlerini %0,004 oranında artırarak enerji etkinliği açısından en olumsuz iyileştirme önerisi olmuştur. Hava kaynaklı ısı pompası iyileştirmesi enerji tüketimlerini %3,841 azaltmasına karşılık küresel maliyetleri %1,159 artırarak maliyet etkinliği açısından en olumsuz sonucu vermiştir.

Oluşturulan senaryolar içerisinde D3-P2-A-M1-PV kombinasyonu optimum maliyetli enerji seviyesi olarak belirlenmiştir. 167,24 kWh/m<sup>2</sup> toplam enerji tüketimine sahip senaryo mevcut duruma göre %34,0 daha az enerji tüketmektedir. 30 yıllık periyotta istatistiksel verilere göre belirlenen ekonomik parametreler ile yapılan hesaplamalar sonucunda küresel maliyeti 4389,31 TL/m<sup>2</sup> olan senaryo mevcut duruma %15,71 daha tasarruflu olmuştur. Maliyet etkinliği açısından en olumsuz senaryo 5232,36 TL/m<sup>2</sup> küresel maliyet ile D1-C2-B2 kombinasyonu olduğu görülmüştür. %2.67 oranında enerji tüketimi kazancı elde edilmesine karşılık %0.48 oranında daha yüksek küresel maliyet değeri ile sonuçlanmıştır.

Duyarlılık analizlerinde, hesaplama periyodunda yapılan değişiklikler ile periyot kısaldıkça ilk yatırım maliyetinin ve enerji fiyat artışının küresel maliyete etkileri gözlenmiştir. Hesaplama periyodunun kısılması tüm senaryoların küresel maliyetlerini düşürmektedir. Aynı zamanda alınan önlemlerin faydalarının küresel maliyete olan etkisini de azaltmaktadır. Küresel maliyet açısından faydaları

azalmasına karşın aydınlatma sisteminde yapılan iyileştirme ve PV panel uygulaması enerji ve maliyet etkin uygulamalar olarak kalmaktadır.

İskonto oranlarında yapılan duyarlılık analizlerinde ise iskonto oranının artması hesaplama periyodunun azalması sonuçlarına benzer etkiler göstermektedir. Artan iskonto oranlarının tüm senaryoların küresel maliyetlerini ve enerji kazançlarının küresel maliyete olan etkilerini azalttığı gözlenmektedir. Bu durum senaryoların küresel maliyet açısından aralarındaki farkı azalmakta ve ilk yatırım maliyeti yüksek olan önlemlerin maliyet etkinliğini düşürmektedir.

Son olarak enerji fiyatı artış oranı duyarlılık analizlerinde değerlendirilmiştir. Enerji fiyatı artış oranı yükseldikçe alınan önlemlerin enerji kazançlarının yıllık maliyetlere olan etkisi de artmaktadır. Ayrıca küresel maliyetler artmakta ve enerji etkinliği yüksek olan senaryolar maliyet etkinliği açısından daha olumlu sonuçlar göstermektedir.

İskonto oranı ve enerji fiyatı artış oranı ile yapılan duyarlılık analizlerinde ekonomik parametreler enerji kazançlarının küresel maliyete olan etkisini en düşük tuttuğu durumlarda dahi fotovoltaik panel uygulamasının bulunduğu senaryolarda optimum maliyetli enerji seviyesi belirlenebilmektedir. İstatistiksel verilere göre belirlenen ekonomik parametreler ile yapılan hesaplamalar sonucunda maliyet etkinliği açısından en verimli senaryo olan D3-P2-A-M1-PV kombinasyonu ekonomik parametrelerde yapılan duyarlılık analizlerinde maliyet etkinliğini korumuştur.

Yapılan çalışma tarihi binalarda kültürel değerlere ve geleneksel yapıya zarar vermeden gerçekleştirilebilecek olan enerji etkin iyileştirme çalışmalarında enerji kazançları ve maliyet parametrelerinin etkisini göstermektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, enerji etkin iyileştirme çalışmalarında en uygun maliyet kazançlarına ulaşabilmek için belirlenecek olan önlemlerin sadece enerji verimliliği açısından değerlendirilmemesine dikkat çekmektedir.

Belirlenen enerji etkin iyileştirme önlemlerinden sağlanacak faydaların yapının bulunduğu iklim ve çevresel koşullara bağlı olarak değişkenlik göstereceği açıktır.

Optimum maliyetli enerji seviyesinin belirlenmesi hesaplarında, yatırım maliyetleri ve ekonomik parametrelerin etkisi önemlidir, dolayısıyla değişen yatırım maliyetleri ve ekonomik parametrelerin istatistiklerinin kayıt altında tutulması gelecek çalışmalarda alınacak kararlarda etkili olması düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ashrafian T.**, 2016, A New Approach to Define Economically Applicable Energy Efficient Retrofit Solutions for Residential Buildings in Turkey, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 208ss.
- BPIE**, 2013, Implementing the Cost-Optimal Methodology in EU Countries Lesson Learned from Three Case Studies, *The Building Performance Institute Europe Publications*, 84pp.
- Carpino C., Bruno R. and Arcuri N.**, 2018, Social housing refurbishment in Mediterranean climate: Cost-optimal analysis towards the n-ZEB target, *Energy & Buildings*, 174:642-656pp.
- Corgnati S.P., Fabrizio E., Filippi M. and Monetti V.**, 2013, Reference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application, *Applied Energy*, 102:983-993pp.
- De Wilde P.**, 2014, The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation, *Automation in Construction*, 41:40-49pp.
- DesignBuilder**, 2014, “ANSI/ASHRAE standart 140-2011 building thermal envelope and fabric load tests”, [http://files.designbuilder.cl/200000036-348f735887/DesignBuilder\\_v4.2\\_ASHRAE140\\_2.pdf](http://files.designbuilder.cl/200000036-348f735887/DesignBuilder_v4.2_ASHRAE140_2.pdf) (Erişim tarihi: 26 Ocak 2019)
- Efficiency Valuation Organization**, 2012, “International Performance Measurement and Verification Protocol”, [http://www.eepformance.org/uploads/8/6/5/0/8650231/ipmvp\\_volume\\_i\\_2012.pdf](http://www.eepformance.org/uploads/8/6/5/0/8650231/ipmvp_volume_i_2012.pdf) (Erişim tarihi: 10 Haziran 2019)
- EN 15459-1**, 2017, Energy performance of buildings – Economic evaluation procedure for energy systems in buildings.
- Enerji Verimliliği Kanunu**, 2007, TC Resmi Gazete, 2 Mayıs 2007, Sayı:26510, Ankara.
- Federal Energy Management Program**, 2015, “M&V Guidelines: Measurement and Verification for Performance-Based Contracts Version 4.0”, [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/01/f28/mv\\_guide\\_4\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/01/f28/mv_guide_4_0.pdf)(Erişim tarihi: 10 Haziran 2019)
- Ferdos N.M.**, 2015, An Approach for Cost Optimum Energy Efficient Retrofit of Primary School Buildings in Turkey, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 147ss.
- Francesco Asdrubali and Umberto Desideri**, 2018, Handbook of Energy Efficiency in Buildings: A Life Cycle Approach
- Ganiç N.**, 2012, Calculation of Cost Optimal Levels of Minimum Energy Performance Requirements for Office Building Retrofits, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 99ss.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gücyeter B.**, 2010, A Method on Energy-Efficient Retrofitting for Existing Building Envelopes, Doktora Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 246ss.
- Gücyeter B.**, 2018, Calibration of a building energy performance simulation model via monitoring data, 2018 Building Performance Analysis Conference and SimBuild co-organized by ASHRAE and IBPSA-USA, Chicago, 8pp.
- Galatioto A., Ricciu R., Salem T. and Kinab E.**, 2019, Energy and economic analysis on retrofit actions for Italian public historic buildings, *Energy*,176:58-66 pp.
- Historic England**, 2017, Energy Efficiency and Historic Buildings Application of Part L of the Building Regulations to Historic and Traditionally Constructed Buildings, <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/energy-efficiency-historic-buildings-ptl/heag014-energy-efficiency-partll/> (Erişim tarihi: 30 Mart 2019)
- İzmir Büyükşehir Belediyesi**, 2019a, İzmir'in Coğrafyası, <https://www.izmir.bel.tr/tr/Izmir%60inCoğrafyasi/220/255> (Erişim tarihi: 12 Temmuz 2019)
- İzmir Büyükşehir Belediyesi**, 2019b, "Harem-Selamlık" yeniden doğuyor, <https://www.izmir.bel.tr/tr/Haberler/harem-selamlık-yeniden-doguyor/9432/156> (Erişim tarihi: 12 Temmuz 2019)
- İzmir Tarih**, 2019, İzmir Tarih Proje Merkezi, <http://www.izmirtarih.com.tr/izmir-tarih-proje-merkezi/> (Erişim tarihi: 28 Haziran 2019)
- Judkoff R. and Neymark J.**, 1998, The BESTEST method for evaluating and diagnosing building energy software, *The 1998 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, 5.175-5.192pp, Amerika Birleşik Devletleri.
- Kaplan S.**, 2018, Enerji Kimlik Belgesi Uygulamasının Bina Enerji Performansını Etkileyen Tasarım Parametreleri ve Yeşil Bina Sertifika Sistemleri Bağlamında Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, 143ss.
- Karagözler S.**, 2018, Tarihi Yapıların Enerji Performansının Maliyet Etkin İyileştirilmesi Üzerine Bir Çalışma : İzmir Tekel Başmüdürlük Binası, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 191ss.
- Karásek J., Pojar J., Kaločai L. and Heralová R.S.**, 2018, Cost optimum calculation of energy efficiency measures in the Czech Republic, *Energy Policy*, 123:155-166pp.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Keleş C.Ö.**, 2008, Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılmasına Yönelik Bir İnceleme, Yüksek Lisan Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 165ss.
- Köse İ.**, 2018, İklim Değişikliği Müzakereleri: Türkiye’nin Paris Anlaşması’nı İmza Süreci, *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, Cilt:9 Sayı:1:55-81ss.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü**, 2019, İllerimize Ait Genel İstatistik Verileri, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=IZMIR> (Erişim tarihi: 12 Temmuz 2019)
- Milic V., Ekelöw K., Andersson M. and Moshfegh B.**, 2019, Evaluation of energy renovation strategies for 12 historic building types using LCC optimization, *Energy & Buildings*, 197:156-170 pp.
- Mitsubishi Heavy Industries**, 2012, HyperMulti KX-KXR VRF Inverter multi-system Air-Conditioners, 10pp.
- Onset Computer Corporation**, 2019, Onset Hobo UX100-003 Data Logger, <https://www.onsetcomp.com/datasheet/UX100-003> (Erişim tarihi: 20 Temmuz 2019)
- Öztürk M.**, 2014, Yeşil Binalarda Enerji Verimliliğinin İncelenmesi ve Bina Enerji Modellemeleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, 97ss.
- Schaefer A. and Ghisi E.**, 2016, Method for obtaining reference buildings, *Energy and Buildings*, 128:660-672pp.
- Sağlam N.G.**, 2017, A New Approach to Identify Achievable Nearly-Zero Energy Building Targets for Existing Building Retrofits, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 220ss.
- Şahin C.D.**, 2013, Energy efficient retrofitting of historical buildings: A case study on the building of Basmane Semt Merkezi-İzmir, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 97ss.
- Şahin C.D., Gökçen G. ve Arsan Z.D.**, 2013, Bina enerji performansı simülasyonlarının geçerliliği: Bestest (Building Energy Simulation Test) prosedürü, 11.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 11ss.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı**, 2017a, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, TC Resmi Gazete, 28 Nisan 2017, Sayı:30051, Ankara.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı**, 2017b, Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ, TC Resmi Gazete, 1 Kasım 2017, Sayı:30227, Ankara.
- T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu**, 2019, Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları, <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari> (Erişim Tarihi: 10 Temmuz 2019)

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı**, 2017, Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023, TC Resmi Gazete, 02 Ocak2018 Sayı:30289, Ankara
- T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı**, 2019, Türkiye Geneli Korunması Gerekli Taşınmaz Kültür Varlığı İstatistiği, <https://kvmgm.ktb.gov.tr/TR-44798/turkiye-geneli-korunmasi-gerekli-tasinmaz-kultur-varlig-.html> (Erişim tarihi: 9 Ağustos 2019)
- The European Commision**, 2019, Climate strategies & targets, [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_en) (Erişim tarihi: 21 Temmuz 2019)
- The European Council**, 2010, “Directive 2010/31/EU of The European Parliament and Of The Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings”,<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0031#d1e753-13-1>(Erişim tarihi: 15 Mart 2019)
- The European Council**, 2012a, “Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements”,<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1560519656840&uri=CELEX:32012R0244>(Erişim tarihi: 10 Ocak 2019)
- The European Council**, 2012b, “Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements”,[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1560520028911&uri=CELEX:52012XC0419\(02\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1560520028911&uri=CELEX:52012XC0419(02))(Erişim tarihi: 10 Ocak 2019)
- The European Council**, 2012c, “Directive 2012/27/EU of The European Parliament and Of The Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC”,<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0027>(Erişim tarihi: 14 Haziran 2019)

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- The European Council**, 2018, “Directive (EU) 2018/844 of The European Parliament and Of The Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of the buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency”,[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?toc=OJ%3AL%3A2018%3A156%3ATOC&uri=uriserv%3AOJ.L\\_.2018.156.01.0075.01.ENG#d1e1364-75-1](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?toc=OJ%3AL%3A2018%3A156%3ATOC&uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.156.01.0075.01.ENG#d1e1364-75-1)(Erişim tarihi: 14 Haziran 2019)
- Tıkır A.**, 2009, İstanbul’da Mevcut Bir Konutun Dış Kabuğunun Enerji Etkin Yenilenmesi ve Ekonomik Etkinliğinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 129ss.
- Tommatech**, 2019, Photovoltaic Modules, <https://www.tommatech.de/english/modules/> (Erişim tarihi: 12 Temmuz 2019)
- Topal O.**, 2009, Binalarda Enerji Verimliliği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 92ss.
- Turgut G.H.**, 2010, Enerji Etkin Bina Tasarımı Kapsamında Büyük Ankara Otelinin Yenileme Süreci ve Trijenerasyon Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 184ss.
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası**, 2019, Faiz İstatistikleri, <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Faiz+Istatistikleri> (Erişim tarihi: 10 Temmuz 2019)
- Türkiye İstatistik Kurumu**, 2019, Konularına Göre İstatistikler, <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=kategorist> (Erişim tarihi: 10 Temmuz 2019)
- Yüksekkaya T., Kılınç B. ve Gümüş Ç.**, 2016, Binalarda Enerji Verimliliği AB ve Türk Mevzuatı, Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması İçin Teknik Yardım Projesi, Ankara, 66ss.

**TEŞEKKÜR**

Bu çalışma süresince görüşlerinden yararlandığım ve tezin biçimlenmesinde değerli katkılarını aldığım danışman hocam Prof. Dr. Türkan Göksal Özbalta'ya ve Doç. Dr. Yusuf Yıldız'a, gerekli verilerin sağlanmasında kolaylık gösteren İzmir Tarih Proje Merkezi Müdürü Dr. H. Gökhan Kutlu'ya ve Proje Birim Şefi Özden Çoşkun Öner'e, her daim yanımda olan aileme ve motivasyonumu korumamı sağlayan eşim Simge Kuralay Yılmaz'a teşekkürü bir borç bilirim.

08/ 10/ 2019

Osman Cem YILMAZ

**ÖZGEÇMİŞ****OSMAN CEM YILMAZ****KİŞİSEL BİLGİLER**

Doğum Tarihi: 19.02.1990

Doğum Yeri: İstanbul

Askerlik Durumu: Yapıldı (07/2018)

Sürücü Belgesi: A2 (24.01.2017), B (14.02.2011)

**İLETİŞİM BİLGİLERİ**Manisa Adres: Atatürk Mah. 357 Yunus Boşnak Apt. Sok. No:51/3  
Akhisar/Manisaİstanbul Adres: Acıbadem Mah. Yaprak Sok. Uluçam Apt. No:40/5  
Üsküdar/İstanbul

Ev Telefonu: (216) 326 42 30

Cep Telefonu : (533) 371 50 65

E-posta: [osman.cem.yilmaz@gmail.com](mailto:osman.cem.yilmaz@gmail.com)**HAKKIMDA**

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olduktan sonra rüzgâr enerji santrali altyapı taahhüt işlerinde çalıştım. Öncelikle inşaat işleri saha kontrolleri, raporlama ve kalite kontrol dokümanlarının hazırlanmasında sorumlu olup sonraki projelerde keşif, teklif, hak ediş, taşeron sözleşmelerinin hazırlanması, proje müellifleri ile projelerin hazırlanması, uygulama projeleri revizyon taleplerinin karşılanması, planlama aşamalarında da görev aldım.

Kırkağaç Res projesinde planlama, uygulama ve teslim aşamalarında inşaat işlerinden sorumlu şantiye şefi olarak çalıştım. Hasanoba Res projesinde Siemens Gamesa bünyesinde inşaat işleri saha müdürü olarak görev almaktayım.

Yapım çalışmalarında görev almak dışında çalıştığım firmanın kalite, çevre ve İSG yönetim sistemlerine ait el kitapları, prosedürler, kontrol formları, görev tanımlarının hazırlanmasında görev aldım.

**EGİTİM**

- 2015 - : Ege Üniversitesi, Yapı İşletmesi  
 2008 - 2013 : İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği  
 2004 - 2008 : İstanbul Köy Hizmetleri Anadolu Lisesi, Fen Bölümü

**İŞ DENEYİMİ**

- 11/2018- Katwind Enerji San. Tic. Ltd. Şti. (Siemens Gamesa External)  
 -İnşaat İşleri Saha Müdürü (Hasanoba RES)
- 01/2018 – 07/2018 Afyonkarahisar Asker Alma Bölge Başkanlığı  
 -Askerlik hizmeti
- 03/2017 – 01/2018 EMA Elektrik Makina Araştırma Tic. A.Ş.  
 -Kalite, Çevre ve İSG yönetim sistemleri dokümanlarının hazırlanması (Merkez Ofis)
- 11/2015 - 03/2017 EMA Elektrik Makina Araştırma Tic. A.Ş.  
 - İnşaat İşleri Şantiye Şefi (Kırkağaç RES)
- 08/2015 - 11/2015 EMA Elektrik Makina Araştırma Tic. A.Ş.  
 -Şantiye Şefi (Sares Rüzgâr Enerji Santrali Güç Arttırımı)
- 05/2015 - 08/2015 EMA Elektrik Makina Araştırma Tic. A.Ş.  
 -Teknik Ofis ve Kalite Yönetim Temsilcisi (Yahyalı RES)
- 03/2015 -05/2015 EMA Elektrik Makina Araştırma Tic. A.Ş.  
 -Şantiye Şefi (Adares Rüzgâr Enerji Santrali)
- 11/2014 - 03/2015 EMA Elektrik Makina Araştırma Tic. A.Ş.  
 -Saha Mühendisi ve Kalite Yönetim Temsilcisi (Kırkağaç RES)
- 08/2014 -11/2014 EMA Elektrik Makina Araştırma Tic. A.Ş.  
 -Proje Dizayn, Planlama ve Keşif (Kırkağaç RES ve Adares)
- 11/2013 - 07/2014 EMA Elektrik Makina Araştırma Tic. A.Ş.  
 -Saha Mühendisi ve Kalite Yönetim Temsilcisi (Gökres-2 RES)
- 08/2012 - 09/2012 Çağla Mühendislik A.Ş.  
 -Teknik Ofis Stajı (Cengiz Tarhan Çelik Çatı Projesi)



08/2011 - 09/2011 Ayyıldız İnşaat Sanayi ve Ticaret Ltd.Şti.

-Şantiye Stajı (Cavo Otomotiv Mekanik Tel ve Mekanizma Kilitleri Fabrika Binası)

### **SERTİFİKA**

07/2017 NZEB Basics Training of Trainers

11/2013 MS Project

11/2012 An Introduction to Operations Management (University of Pennsylvania'sOnline Class/ Coursera)

### **YABANCI DİL**

İngilizce : Okuma 8; Yazma 7; Konuşma 6

04/2013 ÖSYM-YDS Yabancı Dil Sınavı (68,75)

### **BİLGİSAYAR**

MS Excel, MS Word, MS Project, Primavera

AutoCAD, AutoCAD Civil 3D, NetCAD

Html, CSS, Javascript

### **İLGİ ALANLARI**

Bisiklet, Müzik, Web Tasarımı,