



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**BİNALARIN YAŞAM DÖNGÜSÜ VE ENERJİ TÜKETİMİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Murat AS

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Turhan BİLİR**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Aralık, 2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Murat AS tarafından, **Prof. Dr. Turhan BİLİR** danışmanlığında hazırlanan "**BİNALARIN YAŞAM DÖNGÜSÜ VE ENERJİ TÜKETİMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **17/11/2022** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

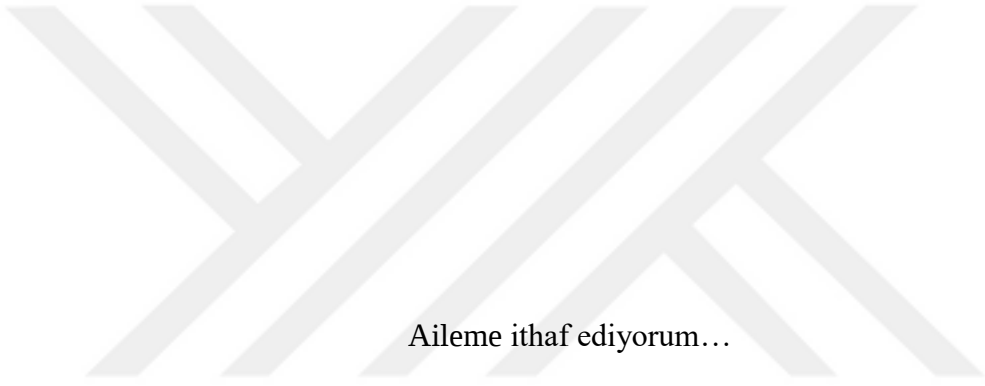
	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Turhan BİLİR	☒
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Kabul
	Malzeme Anabilim Dalı	☐
		Ret
ÜYE	Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE	☒
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Kabul
	Malzeme Anabilim Dalı	☐
		Ret
ÜYE	Prof. Dr. Fevziye AKÖZ	☒
	Yıldız Teknik Üniversitesi	Kabul
	Yapı Malzemesi Anabilim Dalı	☐
		Ret
ÜYE	Prof. Dr. Ümit IŞIKDAĞ	☒
	Mimar Sinan Güzel Sanatlar	Kabul
	Üniversitesi	☐
	Bilgisayar Ortamında Sanat Ve	Ret
	Tasarım Anabilim Dalı	
ÜYE	Doç. Dr. Ersin NAMLI	☒
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Kabul
	Endüstri Mühendisliği Anabilim	☐
	Dalı	Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Murat AS

(İmza)



Aileme ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

BİNALARIN YAŞAM DÖNGÜSÜ VE ENERJİ TÜKETİMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını yöneten, başlangıçtan sonuna kadar tez konusuyla ilgili araştırmalarımın geliştirilmesi için beni yönlendiren değerli Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Turhan BİLİR'e tez çalışmalarım dâhili ve haricinde gerçekleştirmiş olduğumuz tüm çalışmalardaki rehberliği, teşvik edici ve anlayışlı tavrı ile üzerimdeki bütün emekleri için sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez izleme Komitesi'ndeki saygıdeğer Hocalarım Sayın Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE ve Prof. Dr. Fevziye AKÖZ'e görüş, öneri ve tavsiyeleri ile mevcut çalışmaya yapmış oldukları değerli katkıları için en derin teşekkürlerimi sunarım, ayrıca tez savunma sınavı jürisinde bulunan değerli Hocalarım Sayın Prof. Dr. Ümit IŞIKDAĞ, Sayın Doç. Dr. Ersin NAMLI ve Sayın Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ'a teşekkürlerimi sunarım. Son olarak, doktora tez sürecinde beni destekleyen, bana hep ilham ve güç veren aileme gösterdikleri sabırları için sonsuz minnettarım.

Aralık 2022

Murat AS

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN.....	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
ABSTRACT.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI	3
1.2. TEZİN GENEL YAPISI.....	4
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	6
3. YÖNTEM.....	23
3.1. REVİT MODEL İLE İLGİLİ BİLGİLER	26
3.2. GREEN BUILDING STUDIO İLE İLGİLİ BİLGİLER.....	31
3.3. YAPAY ZEKA MODELLERİ.....	38
3.3.1. Gauss Süreç Regresyon	38
3.3.2. Destek Vektör Regresyon.....	38
3.3.3. Karar Ağacı Regresyon	39
3.3.4. Doğrusal Regresyon	39
3.3.5. Aşamalı Regresyon.....	40
3.3.6. Derin Öğrenme	40
4. BULGULAR.....	40
4.1. BÖLGELERE GÖRE ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	41
4.1.1. Aksaray İli için Alternatiflerin Değerlendirilmesi.....	43
4.2. YAPAY ZEKA MODELLERİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	56
4.3. ELDE EDİLEN 110 SEÇENEĞİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	66

5. TARTIŞMA.....	70
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR.....	80
EKLER.....	86
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI.....	170
ETİK KURUL İZİN YAZISI.....	171
KURUM İZNİ YAZILARI.....	172
ÖZGEÇMİŞ.....	173



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: Enerji verimliliğinin araştırılması yönteminin şematik gösterimi.....	25
Şekil 3.2: Özel hastane binası güney cephe bina girişi (Autodesk Revit, 2022).....	26
Şekil 3.3: Yapı bileşenlerinden çatı, tavan ve dış duvar detayının gösterimi (Autodesk Revit, 2022).....	27
Şekil 3.4: Aksaray ili 2006 yılı meteoroloji verilerine göre kuru termometre sıcaklığı frekans dağılımı (Green Building Studio, 2022).....	34
Şekil 3.5: Aksaray ili 2006 yılı meteoroloji verilerine göre rüzgâr hızı frekans dağılımı (Green Building Studio, 2022).....	34
Şekil 3.6: Aksaray ili 2006 yılı meteoroloji verilerine göre bağıl nem frekans dağılımı (Green Building Studio, 2022).....	34
Şekil 3.7: Aksaray ili 2006 yılı meteoroloji verilerine göre çiğlenme frekans dağılımı (Green Building Studio, 2022).....	35
Şekil 3.8: Aksaray ili 2006 yılındaki meteoroloji verilerine göre gökyüzünün kapalılığı frekans dağılımı ve ısıtım frekans dağılımları (Green Building Studio, 2022).....	36
Şekil 4.1: Bölgelere göre yıllık enerji tüketimleri (Green Building Studio, 2022).....	41
Şekil 4.2: Bölgelere göre yıllık maliyetler (Green Building Studio, 2022).....	42
Şekil 4.3: Bölgelere göre yıllık CO ₂ salınımları (Green Building Studio, 2022).....	42
Şekil 4.4: Bölgelere göre yaşam döngüsü maliyetleri (Green Building Studio, 2022).....	43
Şekil 4.5: Aksaray ili için alternatiflere göre yıllık enerji tüketimleri (Green Building Studio, 2022).....	44
Şekil 4.6: Aksaray ili için alternatiflere göre yıllık maliyetler (Green Building Studio, 2022).....	44
Şekil 4.7: Aksaray ili için alternatiflere göre yıllık enerji tüketimleri (Green Building Studio, 2022).....	45
Şekil 4.8: Aksaray ili için alternatiflere göre yaşam döngüsü maliyetleri (Green Building Studio, 2022).....	45

Şekil 4.9: Aksaray ili için güney cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık enerji tüketimleri (Green Building Studio, 2022).....	46
Şekil 4.10: Aksaray ili için güney cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık maliyetleri (Green Building Studio, 2022).....	47
Şekil 4.11: Aksaray ili için güney cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık CO ₂ salınımları (Green Building Studio, 2022).....	47
Şekil 4.12: Aksaray ili için güney cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yaşam döngüsü maliyetleri (Green Building Studio, 2022).....	48
Şekil 4.13: Aksaray ili için bina dönme açılarına göre yıllık enerji tüketimleri (Green Building Studio, 2022).....	51
Şekil 4.14: Aksaray ili için bina dönme açılarına göre yıllık maliyetleri (Green Building Studio, 2022).....	52
Şekil 4.15: Aksaray ili için bina dönme açılarına göre yıllık CO ₂ salınımları (Green Building Studio, 2022).....	52
Şekil 4.16: Aksaray ili için bina dönme açılarına göre yaşam döngüsü maliyetleri (Green Building Studio, 2022).....	53
Şekil 4.17: Aksaray ili için ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerine göre yıllık enerji tüketimleri (Green Building Studio, 2022).....	53
Şekil 4.18: Aksaray ili için ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerine göre yıllık maliyetler (Green Building Studio, 2022).....	54
Şekil 4.19: Aksaray ili için ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerine göre yıllık CO ₂ salınımları (Green Building Studio, 2022).....	54
Şekil 4.20: Aksaray ili için ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerine göre yaşam döngüsü maliyetleri (Green Building Studio, 2022).....	55
Şekil 4.21: Enerji modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi (MATLAB, R2020b).....	57
Şekil 4.22: Enerji modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu (MATLAB, R2020b).....	57
Şekil 4.23: Enerji modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farklarının gösterimi (MATLAB, R2020b).....	58
Şekil 4.24: Enerji modeli test veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi (MATLAB, R2020b).....	58
Şekil 4.25: Enerji modeli test veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi (MATLAB, R2020b).....	59

Şekil 4.26: Enerji modeli için regresyonlara göre gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması a) eğitim veri seti b) test veri seti (MATLAB, R2020b).....	60
Şekil 4.27: Maliyet modeli için regresyonlara göre gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması a) eğitim veri seti b) test veri seti (MATLAB, R2020b).....	61
Şekil 4.28: CO ₂ salınımı modeli için regresyonlara göre gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması a) eğitim veri seti b) test veri seti (MATLAB, R2020b).....	62
Şekil 4.29: Yaşam döngüsü maliyet modeli için regresyonlara göre gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması a) eğitim veri seti b) test veri seti (MATLAB, R2020b).....	63
Şekil 4.30: Enerji modeli için test veri setinde gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması (MATLAB, R2020b).....	64
Şekil 4.31: Maliyet modeli için test veri setinde gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması (MATLAB, R2020b).....	64
Şekil 4.32: CO ₂ salınımı modeli için test veri setinde gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması (MATLAB, R2020b).....	65
Şekil 4.33: Yaşam döngüsü maliyet modeli için test veri setinde gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması (MATLAB, R2020b).....	65
Şekil 4.34: Isıl geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayıları değerlerine göre seçeneklerin aldığı maksimum ve minimum değerlerin a) enerji tüketimleri b) toplam maliyetleri c) CO ₂ salınımları d) yaşam döngüsü maliyetleri gösterimi (Green Building Studio,2022).....	67

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Yönlere göre duvar ve pencere alanları (Autodesk Revit, 2022).....	26
Tablo 3.2: Modelde kullanılan malzemelerin fiziksel özellikteki değerleri (MEP Constructions for Buildings and Spaces).....	28
Tablo 3.3: Revit mimari modelde enerji analizi için kullanılan parametreler (Autodesk Revit, 2022).....	30
Tablo 3.4: Aksaray ili 2006 yılındaki meteoroloji verilerine göre ısıtma ve soğutma gün sayıları (Green Building Studio,2022).....	31
Tablo 3.5: Dış duvarın tabaka kalınlıkları ve ısıl iletkenlik hesap değerleri (MEP Constructions for Buildings and Spaces).....	32
Tablo 3.6: Aksaray ili 2006 yılındaki meteoroloji verilerine göre yıllık tasarım şartları (Green Building Studio,2022).....	33
Tablo 3.7: Cam tipleri (Green Building Studio,2022).....	37
Tablo 3.8: Yapı bileşenleri ısıl geçirgenlik katsayıları U ve güneş ısı kazanım katsayıları SHGC'e göre seçenekler ve sonuçları (Green Building Studio,2022).....	37
Tablo 4.1: Enerji modelinde gauss süreç regresyonda test veri seti için yüzde hata (MATLAB, R2020b).....	59
Tablo 4.2: Enerji regresyon modelleri performans sonuçları (MATLAB, R2020b).....	60
Tablo 4.3: Maliyet regresyon modelleri performans sonuçları (MATLAB, R2020b).....	61
Tablo 4.4: Karbondioksit salınımı regresyon modelleri performans sonuçları (MATLAB, R2020b).....	62
Tablo 4.5: Yaşam döngüsü maliyeti regresyon modelleri performans sonuçları (MATLAB, R2020b).....	63
Tablo 4.6: Yapı bileşenlerinin TS 825'e göre ısıl geçirgenlik katsayıları.....	66
Tablo 4.7: TS 825'e göre hesaplanan bina yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik katsayıları için regresyon modellerinin performans sonuçları (MATLAB, R2020b).....	66

.

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

U	: Isıl Geçirgenlik Katsayısı
R	: Isıl Direnç Katsayısı
d	: Kalınlık
DD	: Derece Gün Sayıları
ϵ_i	: Tahmin için Hata Terimi
Y	: Gerçek Değer
Y_i	: Tahmin Değeri
m(x)	: Ortalama Fonksiyonu
K(x,x')	: Kovaryans Fonksiyonu
T_o	: Günlük Ortalama Dış Hava Sıcaklığı
T_h	: Isıtma Denge Sıcaklığı
T_c	: Soğutma Denge Sıcaklığı
q	: Isı Akış Yoğunluğu

Kısaltmalar

Açıklama

ANN	: Artificial Neural Network
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BREAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CCHP	: Combined Cooling Heating and Power
CDD	: Cooling Degree Days
COP	: Coefficient of Performance
DCV	: Demand Controlled Ventilation
DHW	: Domestic Hot Water
ELM	: Extreme Learning Machine
ELT	: Electricity Load Tracking Mode
EPS	: Expanded Polystyrene
ERM	: Energy Retrofit Measures

GBS	: Green Building Studio
GP	: Genetic Programming
HDD	: Heating Degree Days
HVAC	: Heating, Ventilation and Air Conditioning
LCA	: Life Cycle Assessment
LCC	: Life Cycle Costing
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
MAE	: Mean Absolute Error
MPTLT	: Maximum Power Thermal Load Tracking Mode
MSE	: Mean Square Error
NZEB	: Nearly Zero Energy Buildings
PCM	: Phase Change Materials
PUR	: Polyurethane
PV	: Photovoltaic
RMSE	: Root Mean Square Error
RW	: Rock Wool
SHGC	: Solar Heat Gain Coefficient
TRNSYS	: Transient System Simulation
TLT	: Thermal Load Tracking Mode
WWR	: Window Wall Ratio
XPS	: Extruded Polystyrene

ÖZET

[DOKTORA TEZİ]

[BİNALARIN YAŞAM DÖNGÜSÜ VE ENERJİ TÜKETİMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ]

[Murat AS]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

[Danışman : Prof. Dr. Turhan BİLİR]

Dünya genelinde nüfus artışı, enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla fosil yakıt kullanımını da artırmıştır. Sera gazları salınımları doğal seviyesini aşmış, iklim değişikliklerine, aşırı sıcaklık artışlarına, sellere ve tarım arazilerinin yok olması sonucu gıda krizlerine neden olmaktadır. İnsanların sağlıklı ve güvenli ortamlarda yaşamasının sağlanması için binalarda uygun malzemelerin kullanılması ve uygun detayların seçilmesi ile enerji ihtiyacının azaltılması ve fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması ile sera gazının etkisinin azaltılması önemlidir. Hastaneler, 7/24 çalışmalarından dolayı en çok enerji tüketilen ortamlardan biridir. Hastalar için uygun konfor şartları olan sıcaklık, nem ve hava akımı sağlanması kritik öneme sahiptir. Uygun olmayan sıcaklarda ısıtma veya soğutma gerektiğinden aşırı yükleme sistemde elektrik kesintilerine neden olmakta bunun sonucu olarak hastalar için uygun konfor şartları bozulabilmektedir.

Bu çalışmada amaçlanan; özel bir hastane için pencere/duvar oranlarının, bina dönme açılarının, duvar, çatı, kapı ve pencere çeşitlerinin, işletme zamanları, aydınlatma ve yük yoğunluklarının, hava değişimlerinin etkileri ile birlikte kullanılan yapı malzemelerinin enerji tüketimini, elektrik, yakıt maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti, en önemli sera gazlarından olan CO₂ salınımını ve 30 yıllık sürede oluşan yaşam döngüsü maliyetini azaltacak enerji verimli çözümler üretmektir. Bu bağlamda ilk aşamada özel bir hastanenin üç boyutlu revit modeli uygulanmıştır. Türkiye'nin farklı bölgelerinden seçilen 7 il için Green Building Studio'da (GBS) enerji analizleri yapılmış ve iller birbirleriyle karşılaştırılmıştır. İkinci aşamada en çok enerji tüketiminin olduğu Aksaray ili için alternatiflerin oluşturulduğu detaylı

analiz yapılmıştır. Üçüncü aşamada ise revit kütüphanesindeki malzemeler kullanılarak Aksaray ili için oluşturulan 110 farklı seçenek ile makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak enerji tüketimi, CO₂ salınımı, toplam maliyet ve yaşam döngüsü maliyet tahminleri yapılmıştır. Yapı malzemeleri ile binlerce kombinasyon oluşturulabilmekte ancak gerçekte sadece birkaçı denenerek bina yapım aşamasına geçilmektedir. Makine öğrenmesi ile sisteme girilen ısıl geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayıları ile enerji tüketimi, CO₂ salınımı, toplam ve yaşam döngüsü maliyetleri kısa sürede bulunmuştur. Tüm seçenekler incelendiğinde farklı ısıl geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayıları ile yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak referans model binaya göre yılda % 57,5 enerji tasarrufu sağlamış, toplam maliyet ve yaşam döngüsü maliyetinde % 16,24 ve CO₂ salınımında % 26,3 oranında azalma gerçekleşmiştir. |

Aralık 2022 , |191| sayfa.

Anahtar kelimeler: |Enerji verimliliği, Hastane, Revit, GBS, Makine öğrenmesi |



ABSTRACT

Ph.D. THESIS

**LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BUILDINGS AND IMPROVEMENT OF ENERGY
CONSUMPTIONS**

Murat AS

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Civil Engineering Program

Supervisor : Prof. Dr. Turhan BİLİR

The use of fossil fuels has increased dramatically around the globe in order to meet the high energy demand for an increasing world population. As a result, greenhouse gas emissions have exceeded their natural level and have contributed to climate change. Indeed, we witness extreme temperature increases, floods, and food crises as a result of the loss of agricultural lands. Meeting the energy demand with clean, renewable energy sources and using proper building materials instead of fossil-fuel based products is important in terms of reducing the effect of greenhouse gases and living in a healthy and safe environment.

Hospitals are one of the places that consume a lot of energy due to their continues 24/7 operations. It is critical to provide appropriate comfort conditions, e.g., temperature, humidity, airflow, etc. for patients. Power cuts may occur as a result of extreme temperatures, and the comfort conditions for patients can deteriorate with profound consequences.

In my dissertation, I want to illustrate how machine learning can be used to optimize energy consumption for such critical edifices. I will use a private hospital in Aksaray as a case study, to showcase the use of supervised machine learning to reduce the energy consumption of buildings, taking into account the effects of window/wall ratios, building rotation angles, wall, roof, door and window types, operating times, lighting and load densities, air changes, electricity and fuel costs. My goal is to produce energy efficient solutions to reduce the overall CO₂ emissions of buildings, which is one of the most important greenhouse gases. At the same time I want to reduce the buildings life-cycle costs for the next 30 years by developing the most optimized material solutions.

In the first stage, I created a three-dimensional Revit building information model (BIM) of the hospital, and simulated its energy consumption with the Green Building Studio (GBS) software. I simulated 7 different climate regions of Turkey and compared them to each other. In the second stage, I made a detailed analysis for Aksaray, a city in Central Anatolia, which has high energy consumption, and offered alternative approaches. In the third stage, I used machine learning to create 110 different scenarios to develop high-performing solutions in terms of energy consumption, CO₂ emissions, and life-cycle costs, utilizing materials within the Revit library. Trained with heat transmittance and solar heat coefficients, the machine learning algorithm was able to learn and predict energy consumption, CO₂ emissions, and total life-cycle costs for the hospital. With this approach, thousands of different combinations can be quickly created and the best performing solutions can be taken for further development and implementation. When all options are examined, using renewable energy sources with different thermal transmittance and solar heat gain coefficients provided 57.5% energy savings per year compared to the reference model building, 16.24% reduction in total life cycle cost and 26.3% reduction in CO₂ emission. |

December 2022, |191| pages.

Keywords: | Energy efficiency, Hospital, Revit, GBS, Machine Learning |

1. GİRİŞ

Küresel ısınma iklim değışikliklerine neden olmuş, aşırı sıcaklar birçok insanın hayatını olumsuz şekilde etkilemiştir. Tarım arazilerinin yok olması gıda krizlerine yol açmış ve nüfus artışı ile birlikte hem gıda hem de enerji ihtiyacı çok yüksek seviyelere ulaşmıştır. Küresel ısınmada en önemli etkenlerden biri dünya genelinde kullanılan fosil yakıtların neden olduğu sera gazlarının salınımlarının artmasıdır.

Enerji tüketimi açısından incelendiğinde; ağırlıklı olarak, küresel enerji tüketiminin yaklaşık %32'sinin binaların oluşturduğu tüketimden kaynaklanmaktadır (Roaf ve diğ., 2015). Ayrıca yapı sektörü, tüm sera gazlarının %40'ını salarak küresel ısınmayı önemli derecede artırmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı, radikal değışiklikler olmadan enerji ile ilgili karbondioksit (CO₂) salınımlarının 2050 yılına kadar iki katına çıkacağını belirtmektedir (Berardi, 2015). Bu artışları önlemek için dünya çapında çeşitli politikalar uygulanmaktadır. Örneğin, 2007 yılında Amerika Birleşik Devletleri, 2050 yılına kadar ticari, yaklaşık sıfır enerjili binalara (NZEB) ulaşmak için Enerji Bağımsızlığı ve Güvenliği Yasasını çıkarmıştır. Ayrıca, binaların enerji kullanımını azaltmak için Avrupa ülkeleri 2010 yılında, yeni binaların 2020 yılına kadar NZEB olmasını gerektiren bir politika yürütmüştür (Grözinger ve diğ., 2014). Dünyada birçok ülke binalarda enerji tüketimlerini azaltmak için yasal düzenlemeler hazırlamışlardır. Avrupa parlamentosu tarafından 2002 yılında yürürlüğe konulan binaların enerji performansı direktifi (EPBD) mevcut ve yeni binaları kapsayan bir yasadır. Türkiye bina enerji verimliliğinde EPBD kapsamında 2007 yılında enerji verimliliği kanunu çıkarmış, 2011 yılında binaların enerji kimlik belgesi alımı zorunlu olmuş ve 2023 yılı hedefleri doğrultusunda kamu binalarında yıllık enerji tüketimini %20 oranında azaltmayı, toplam enerji tüketiminde en az %20 yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmayı ve elektrik üretiminin en az %30 unu yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamayı yol haritası olarak belirlemiştir.

Hastane binaları; her türlü hava koşulunda yüksek maliyetli operasyonları, gelişmiş tıbbi ekipmanları, katı temizlik prosedürleri ve çevresel parametreleri nedeniyle enerji yoğun binalardır. Amerika Birleşik Devletleri'nde hastaneler, ofis binalarının iki katı olan metrekare başına enerji tüketimi ile enerji yoğun ticari binalardır. Brezilya'da hastane binalarının enerji tüketimi, toplam enerji tüketiminin %10,6'sını oluşturur. Hastane binaları, enerji tasarrufu için

önemlidir. Hastane binalarının enerji tüketim yapısı da kamu binalarınınkinden daha karmaşıktır. Hastane binalarında ısıtma-soğutma (klima), aydınlatma, asansörler ve havalandırma ekipmanlarında elektrik, buhar, sıcak su, dezenfeksiyon, yıkama, mutfak vb. gaz veya akaryakıt kullanılır. Hastane binalarındaki enerji tüketimi, birim enerji yükünü büyük ölçüde değiştiği ve çok fazla israfa neden olduğu için hem kesintili hem de sürekli özellikler sunar. İstatistiklere göre, son beş yılda Çin'deki hastane binalarının ortalama enerji harcaması %53,4 oranında artarak hastanelerin toplam işletme maliyetlerinin %10 undan fazlasını oluşturmuştur. Hastane binalarında yazın ve kışın soğuk olan bölgelerde, binaların yazın soğutulması ve neminin alınması, kışın ise ısınmasının sağlanması gerekmektedir (Shen ve diğ., 2019).

Hastaneler insan yoğunluğunun fazla olduğu, 24 saat çalışılan, uygun ortam hava koşullarının (sıcaklık, nem, hava değişimi) sağlanması gereken ve enerji tüketimlerinin fazla olduğu yerlerdir. Günümüzde fosil yakıtların azalması ve fiyatının artması, güncel enerji krizleri, örneğin Avrupa birliği ülkeleri %15 enerji tasarrufuna gitmiştir, enerji tüketiminin düşük olduğu binalara yönelimi artırmıştır.

Enerji ve sera gazları konusu geçmişten günümüze etkisini ve önemini hiç kaybetmemiş ve gelecekte de ilk sıralarda yer almaya devam edecektir. Günümüzde yaşanan Rusya-Ukrayna savaşı avrupa ülkelerinde enerji krizine neden olmuş ve sonucunda bazı tedbirler almak zorunda kalmışlardır. Almanya hastane binaları dışında kamu binalarının en fazla 19°C dereceye kadar ısıtılmasına, yüzme havuzlarının ısıtılmasının kapatılmasına ve ısı kaçağını önlemek için mağaza kapılarının kapalı tutulmasına karar vermiştir. Fransada klimaların en düşük 26°C derecede kaloriferlerin ise en yüksek 19°C derecede çalıştırılması, mağaza ışıklarının gece sabaha kadar kapatılması kararı alınmıştır. İtalyada evlerin sıcaklıklarının kışın 2°C derece düşürülmesi, sokak aydınlatmalarının % 40 azaltılması, kamu binalarının erken kapatılması ve güneş enerjisi yatırımlarına sübvansiyon kararı verilmiştir. Bu tedbirler kısa vadeli çözümler üretmektedir. Bu açıdan uzun vadeli çözümler üretmek önemlidir. Bunlar kendi enerjisini yada daha fazlasını sağlayan binalar tasarlamak yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmayı artırmak olabilir.

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Türkiye’de kullanılan TS 825 yönetmeliği yıllık ısıtma enerji ihtiyacının hesaplanmasında kullanılmakta, Türkiye’yi dört iklim bölgesine ayırmakta ve soğutma yüklerini dikkate almadan ısıtma ihtiyacını bulmaktadır. Binanın CO₂ salınımı, elektrik ve yakıttan oluşan toplam maliyet ile 30 yıllık dönemde oluşacak yaşam döngüsü maliyetinin hesabı yapılamamaktadır.

Bir proje hazırlanırken ısıl geçirgenlik katsayısı farklı bina yapı elemanları zemin döşemesi, duvar, çatı, pencere, kapı vb. ile sınırlı olan sürede, birkaç kombinasyon yapılarak uygulama aşamasına geçilmektedir. Bu durumda sayısız kombinasyon içerisinde sadece birkaçı denenmiş olmakta ve gerçekte daha çok enerji tasarrufu sağlama imkânı kaybolmaktadır.

Bu çalışmada dünya genelinde kullanılan amerikan ASHRAE standardına göre Revit mimari programında mevcut bir hastane binası için ısıtma-soğutma yüklerinin hesaplandığı bir referans bina oluşturulmuş ve bu referans binaya göre yapı bileşenlerinde farklı yalıtım malzemelerinin kullanılmasının ve parametrelerin örneğin, binanın dönme açısı, aydınlatma etkinliği, pencere/duvar oranı vb. enerji verimliliğine, CO₂ salınımına, elektrik ve yakıt tüketimi ile binanın kullanımı boyunca oluşacak yaşam döngüsü maliyetine etkisi araştırılmıştır. Referans binaya göre enerji verimli bir hastane modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yapının tasarım aşamasından itibaren olan birincil enerji tüketiminin hesabı yapılmamış olup, mevcut durumda bulunan binanın parametreleri, ısıl geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayıları değiştirilerek binanın kullanıldığı süreç içerisinde oluşan enerji tüketimi, CO₂ salınımı, yaşam döngüsü ve toplam maliyetin etkisi incelenmiştir. Ayrıca, yapay zeka algoritmaları ile mevcut binada farklı cephelerde bulunan yapı bileşenlerinin yalıtım malzemelerinin değiştirilmesiyle oluşan seçeneklerin dünya genelindeki standartlara ve TS 825’e göre hesaplanan ısıl geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayısı ile yıllık enerji tüketimini, CO₂ salınımını, toplam ve yaşam döngüsü maliyetini tahmin eden modelin oluşturulması sağlanmıştır. Böylece mevcut binada farklı yalıtım malzemelerinin etkisi görülmekle birlikte tasarım aşamasında olan çalışmalar için de farklı cephelerde kullanılacak olan yalıtım malzemelerinin enerji, maliyet ve CO₂ salınımı üzerindeki etkisi hızlı bir şekilde tahmin edilecektir.

Projede ilk aşamada 24/7 işletilen tıbbi ekipmanları, aydınlatma, ısıtma-soğutma (klima) vb. nedeniyle enerji tüketiminin fazla olduğu hastane binası seçilmiş ve Revit mimari çizim programında modellenmiştir. Model Green Building Studio (GBS)’da binanın konumu, duvar,

çatı ve pencere çeşitleri, pencere/duvar oranları, aydınlatma ve güç yoğunlukları, işletme zamanı, hava değişimi gibi farklı seçenekler dikkate alınmış ve enerji analizleri yapılmıştır. İkinci aşamada ise makine öğrenmesi algoritmaları ile çatı, dış duvar, iç duvar, tavan, zemin kaplama, döşeme, kapı ve pencere ısı geçirgenlik katsayıları farklı 110 tane seçenek oluşturulmuştur. Böylece ısı geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayıları kullanılarak makine öğrenmesinde metrekare başına düşen yıllık enerji tüketimi, toplam maliyeti, CO₂ salınım miktarları ve 30 yıllık yaşam döngüsü maliyeti bulunmuştur.

Mimari çizim programlarından Revit'te modelin üç boyutlu uygulanması sonrasında çatı, duvar, cam çeşidi, ısıtma havalandırma ve soğutma sistemi, işletme zamanı, metrekare başına düşen aydınlatma ve güç yük yoğunluğu, hava sızması, kişi başına düşen alan, sıcak ve soğuk ayar noktası, nemlendirme ve kurutma ayar noktası, kişi başına düşen gizli ve hissedilir ısı gibi parametrelerin sisteme girilmesi sağlanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda Türkiye'nin yedi farklı bölgesinden seçilen Aksaray, Mersin, Samsun, Malatya, Mardin, Aydın ve İstanbul illeri için tüketilen enerji miktarları, CO₂ salınımları, elektrik ve yakıttan oluşan toplam maliyetleri ile yaşam döngüsü maliyetleri hesaplanmıştır. Aralarında enerji kullanım yoğunluğu en çok olan Aksaray ili için ayrıca çatılar, duvarlar, bina dönme açıları, ısıtma-soğutma ve havalandırma sistemleri, aydınlatma etkinliği, hava sızması, fiş yükleri, bina yönlerine bağlı pencere/duvar oranları, cam çeşitleri, işletme zamanlarına bağlı detaylı analizler yapılmıştır. Bu alternatifler arasında maksimum ve minimum enerji tüketimine, toplam maliyetine, karbondioksit salınımına ve yaşam döngüsü maliyetine yol açan seçenekler tespit edilerek en uygun olan çözümler araştırılmıştır. İşlemlerde kolaylık sağlamak ve işi hızlandırmak için makine öğrenmesi algoritmaları geliştirilmiştir. Revit kütüphanesinde kullanılan malzemeler ile 110 farklı seçenek oluşturulmuş, bu veriler %70 oranında eğitim veri seti ve %30 oranında test veri setine ayrılmıştır. Modelde çatı, duvar, pencere, kapı, zemin kaplaması, tavan, döşeme için seçilen farklı ısı geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayılarına göre enerji kullanım yoğunluğu, toplam maliyet, karbondioksit salınımı ve yaşam döngüsü maliyeti bulunmuştur. Bu verilerin %70'nin eğitilmesi ve %30'nun test edilmesi sonucunda elde edilen kök ortalama kare hatası RMSE değeri en düşük değer alan algoritma en iyisi seçilmiştir.

1.2. TEZİN GENEL YAPISI

Bu tez çalışması, esas olarak Giriş, Kavramsal Çerçeve, Yöntem, Bulgular, Tartışma, Sonuç ve Öneriler olmak üzere 6 Bölümden oluşmaktadır. Tezin 1. Bölümünü Giriş, Çalışmanın Amacı

ve Kapsamı ile Tezin Genel Yapısı oluşturmaktadır. Tezin 2. Bölümünün Kavramsal Çerçeve Kısımlarında, binalarda enerji tasarruflu çözümler, uygulanan yöntemler ve hastanelerde enerji ile ilgili yapılan çalışmalar hakkında geniş literatür araştırmasına yer verilmiştir. Tezin 3. Bölümünün Yöntem kısmında, Revit model oluşturma aşaması hakkında bilgi verilmiştir. Green Building Studio da yapılan enerji analizleri ve makine öğrenmesine dayalı optimizasyon yöntemleri araştırılmıştır. Tezin 4. Bölümünde, Green Building Studio'dan elde edilen sonuçların Aksaray ili ve Türkiye'nin farklı bölgelerinden seçilen iller için enerji analizleri yapılmıştır ve bulgular şekil ve tablolar halinde sunulmuştur. Ayrıca, makine öğrenmesi algoritmaları analizleri yapılmış ve yapılan analiz sonuçlarından elde edilen bulgular şekil ve tablolar halinde sunulmuştur. Tezin 5. Bölümünde, Enerji ve CO₂ salınımları hakkında geçmişte yapılan çalışmalara atıf yapılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Tezin 6. Bölümünde, yapılan analizler üzerindeki sonuçlardan yola çıkarak, hastane binalarında potansiyel enerji tasarrufları üzerinde durulmuştur. Sonuçlar değerlendirilerek ileriye yönelik araştırmalar hakkında öneriler ortaya konulmuştur.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Isı, sıcaklıkları farklı iki madde arasında alınıp verilen enerjidir. Bu sıcaklık akışı sıcaklığı yüksek olan maddeden düşük olana aktarım şeklinde gerçekleşir ve sıcaklık farkı olmazsa ısı aktarımında gerçekleşmez. Binalarda ısı kayıpları TS 825 yönetmeliğine göre iletim, taşınım ve havalandırma yoluyla gerçekleşen kayıplardır. Isı kazançları ise insanlardan kaynaklanan metabolik ısı kazançları, aydınlatma, sıcak su sistemi, yemek pişirme, elektrikli cihazlar vb. elde edilen kazançlar ile güneş enerjisinden elde edilen enerjidir. Bir maddenin gaz halinden sıvı hale geçmesine yoğunlaşma denir. Yoğunlaşma sonucu yapı elemanı yüzeyinde siyah lekeler, küf vb. organizma oluşumu ile insan sağlığına zarar verir, ayrıca yapı elemanlarının çürümesine ve ısı kayıplarının artmasına neden olur. Yapı malzemelerinin kalınlıkları ve içerisinde oluşan sıcaklık dağılımı, malzemelerin diziliş sırası, ısı geçişi ve su buharı difüzyonuna gösterdikleri direnç, yapının bulunduğu iklim koşulları ile kullanım amacında yoğunlaşmaya etki eden önemli faktörlerdir.

Bu bölümde enerji verimliliği konusunda yapılan genel ve hastane binalarındaki çalışmalar ile kullanılan farklı algoritmalarından bahsedilmiştir.

Garcia-Sanz-Calcedo ve diğ. (2018) çalışmalarında, sağlık binalarındaki enerji tüketiminin ekonomik ve çevresel etkilerini tahmin etmek ve çeşitli enerji tasarrufu seçeneklerini önermek amacıyla İspanya'da 1980-2005 yılları arasında inşa edilen 12 hastane ve 70 sağlık merkezinde deneysel bir enerji tüketimi araştırması gerçekleştirmiş. Çalışmada elektrik enerjisi, ısıtma-soğutma ve havalandırma sistemleri, sıcak su, aydınlatma sistemleri, yenilenebilir enerjiler, bakım stratejisi, ısı yalıtımı ve optimum bina boyutuna odaklanılmış. Elde edilen verilere göre sağlık binalarının uygun bir enerji yönetimi yoluyla yataksız 5.000 m²'den küçük binalar için yılda 8,60 kWh/m²'lik bir tasarruf sağladığı, yataklı 5.000 m²'den büyük sağlık binalarında ise 6,88 kWh/m²'ye varan tasarruf sağladığı ortaya konulmuş.

Bodart ve De Herde (2002) ofis binalarında aydınlatma enerjisi tasarruflarının küresel enerji tüketimi üzerindeki etkisini değerlendirmişler. Bu değerlendirme, günışığı ve termal yönleri birleştiren bütünleşmiş bir yaklaşımdan gelmektedir. Burada sunulan çalışma simülasyon sonuçlarına dayanmaktadır. Dört ana yön ve üç iç duvar yansıtma katsayısı kombinasyonu için çeşitli cephe seçenekleri modellenmiş. Bu simülasyonlar, bir günışığı simülasyon aracı

(ADELINE) ve bir dinamik termal simülasyon TRNSYS yazılımı birleştirilerek gerçekleştirilmiş. Gün ışığının yapay aydınlatma tüketimini %50'den %80'e kadar azaltılabileceği bulunmuş.

Gassar ve Yun (2017) çalışmalarında; ısı yalıtım malzemesi PCM uygulanmasıyla binaların termal performansının iyileştirilmesine yönelik olarak, gelecekteki iklim koşulları altında bina enerji tüketimini azaltmak için bir strateji geliştirmişler. Bu çalışmada metodoloji iki aşamada uygulanmış: birincisi, faz sıcaklıkları farklı üç tip ısı yalıtım malzemesi PCM'nin bina kabuğuna ayrı ayrı dahil edilmesi ve mevcut 2017 yılına ait hava durumu dosyasının kullanılması yoluyla binalarda enerji tasarrufu potansiyelleri araştırılmış. İkinci olarak 2020, 2050 ve 2080 yılları hava durumu tahmin verileriyle PCM'lerin enerji tasarrufu potansiyellerinin analiz edilerek gelecekteki iklim değişikliklerinin PCM'lerin performansına etkisi değerlendirilmiş. Sonuçlar, ısı yalıtım malzemesi PCM'nin bina kabuğuna dahil edilmesinin, gelecekteki iklim koşulları altında Seul, Tokyo ve Hong Kong'da hem ısıtma hem de soğutma mevsimlerinde binalarda enerji performansını artırmak için umut verici bir strateji olduğunu göstermiş. Bu bölgelerde 2020,2050 ve 2080 yıllarında BioPCM'ler kullanılarak elde edilen elektrik enerji tasarrufu Seul için sırasıyla %8,18, %7,81, %6,91, Tokyo için %8,78, %7,94, %6,60, Hong Kong için %4,37, %3,71, %2,49 bulunmuş. Ayrıca, BioPCM ve RUBITHERMPCM, test edilen bölgelerde ve yıllarda binalarda termal performansın iyileştirilmesi ve enerji tasarrufu için en verimli seçenekler olarak ortaya çıkmış.

Susorova ve diğ. (2013) çalışmalarında, bina ve pencere geometrisi parametrelerinden pencere-duvar oranı, pencere yönü ve genişlik-derinlik oranı optimize edilmesinin ofis binalarında bina enerji tüketimini azaltılabileceğini ve tüm iklim bölgelerinde enerji tasarrufu sağlayabileceğini göstermiştir. Toplam yıllık enerji tüketimini değerlendirmek için bir enerji analiz programı olan Design Builder da oluşturulan tipik bir ofis binasındaki bir oda modeli kullanılarak Amerika Birleşik Devletleri'ndeki altı iklim bölgesi için bir dizi enerji simülasyonu yapılmış. Pencere geometrisi ile toplamda %14'e varan en yüksek enerji tasarrufu sıcak iklimlerde elde edilirken, ılıman ve soğuk iklimlerde enerji tasarrufu daha düşük olarak değerlendirilmiş. Genel olarak, derinliği az olan sıg odalar, sıcak ve ılıman iklimlerde tüm yönler ve pencere boyutları için en iyi enerji performansı verirken, derinliği fazla olan derin odalar soğuk iklimlerde en iyi performansı göstermiştir. Sıcak ve ılıman iklimlerde, en iyi enerji performansı orta büyüklükte pencereli sıg odalarda ve büyük pencereli derin odalarda gerçekleşmiş. Soğuk iklimlerde, en iyi performans, küçük pencereli sıg odalarda ve orta büyüklükte pencereli derin odalarda ortaya

çıkılmış. Güneye bakan odalar genellikle tüm iklimlerde en iyi enerji performansını sağlar. Sıcak ve ılıman iklimlerde, en düşük enerji tüketimi büyük pencereli kuzeye bakan odalarda ve güneye bakan küçük pencereli odalarda tespit edilmiştir. Soğuk iklimlerde, en düşük enerji tüketimi büyük pencereli güneye bakan odalarda gerçekleşmiştir. Bu çalışma sonuçları, yeni ofis binaları tasarlanırken veya eski binaların güçlendirilmesi sırasında tasarım parametrelerinin dikkatle ele alınması gerektiğini belirtmiştir. Gölgeleme, enerji verimli cam, oda geometrisi ve duyarlı bina sistemleri gibi diğer pencere öğeleriyle birlikte bina ve pencere geometrisi parametrelerinin doğru kullanımı, bina enerji kullanımını gözle görülür şekilde en aza indirerek bina performansını iyileştireceği görülmüştür.

Li ve diğ. (2019) çoklu vaka çalışmaları için örnek olarak; konut, hastane, ticari binalar ve okulları incelemişler. Yaşam döngüsü maliyet analizi (LCA) ilkeleri, çoklu durum analizi ve nicel çalışmalar, SimaPro da bir CO₂ salınım değerlendirme modeli oluşturmak için bir araya getirilerek, Çin'deki temsili bir betonarme yapı örneğinin yaşam döngüsü boyunca CO₂ salınımını değerlendirmek amacıyla birleştirilmiş. Sonuçlar; çeliğin analiz edilen binaların inşaat aşamasında küresel ısınmaya %40-%53 oranlarında olumsuz etki ettiğini tespit etmişler. Toplam çevresel salınımların %40-%80'inin özellikle çelik malzeme üretimi aşamasında ortaya çıktığı belirlenmiştir. Karbondioksit salınım miktarı genellikle kullanım ve bakım aşamasında inşaat aşamasına göre %30 daha fazladır ve hastane binaları için bu oran %300'e kadar ulaştığı görülmüş. Buna karşılık, yıkım aşamasındaki CO₂ salınımları nispeten küçüktür ve binanın yaşam döngüsünün yalnızca %3-%12'sini oluşturur. Bina tipi açısından, hastane binalarının yaşam döngüsü CO₂ salınımları diğer betonarme bina türlerinden çok daha fazladır ve 3390 kg CO₂ eşdeğeri/(m²) bulunmuştur.

Farhanieh ve Sattari (2006) çalışmalarında, İran'daki binalara uygun bir yalıtım kullanımının enerji tasarrufu üzerindeki etkilerini incelemişler. Bu amaçla, binalarda enerji tüketiminin simülasyonu için bütünleştirici bir modelleme kullanılmış. Dış duvarlarda yalıtım kullanıldığında binaların metrekare başına enerji tüketiminin %35,2'ye kadar azaltılabileceği gösterilmiştir.

Delgarm ve diğ. (2016) çalışmalarında, simülasyon tabanlı optimizasyonu uygulamak için MATLAB ortamında çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu (MOPSO) kodu programlamış ve EnergyPlus programı ile birleştirmiş. Sunulan optimizasyon probleminde tasarım parametreleri; oda yönelimi, gölgeleme çıkıntısı özellikleri, pencere boyutu, cam ve duvar özellikleri olarak belirlenmiş. Ayrıca, tamamen doğrusal olmayan ve bağlantılı olan yıllık

soğutma, ısıtma ve aydınlatma elektrik tüketimini içeren üç amaç fonksiyonu dikkate alınmış. Önerilen yöntem, İran'ın sıcak-nemli, sıcak-kuru, ılıman ve soğuk olmak üzere dört iklim bölgesi dikkate alınarak tek odalı bir modele uygulanmış. Optimizasyon bölümünde, maliyet fonksiyon etkileşimlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla hem tek hem de çok amaçlı optimizasyon analizleri çalışılmış. İklim bölgesine bağlı olarak temel modele göre yıllık soğutma tüketiminin %19,8–%33,3 oranında azaldığı bulunmuş. Buna karşılık, yıllık ısıtma ve aydınlatma elektrik tüketimi sırasıyla %1,7–%4,8 ve %0,5–%2,6 artmış. İran'ın dört iklim bölgesi için yıllık toplam bina elektrik tüketiminde %1,6–%11,3 oranında bir azalma gözlenmiş. Ayrıca sonuçlara göre iklim; binanın yıllık soğutma ve ısıtma enerjisi tüketimi üzerinde önemli bir etki gösterirken, yıllık aydınlatma elektrik talebi üzerindeki etkisi ihmal edilebilir düzeyde bulunmuş. Bu nedenle, binanın enerji performansının belirlenmesinde iklim koşullarının yanı sıra binanın mimari tasarım parametrelerinin önemli ve kritik olduğu, erken evrelerde uygun mimari tasarım parametrelerinin seçilmesiyle bina enerji tüketiminin yüksek oranda azaltılabileceği öngörülmüş.

Gonzalez, Garcia-Sanz-Calcedo ve Salgado (2018) çalışmalarında, İspanyol hastaneleri arasından 2005-2014 döneminde 20 hastanede toplam 80 Eko-Yönetim ve Denetim Planı (EMAS) analiz ederek enerji tüketimi ile iklim koşulları, gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH), yerleşik yüzey alanı, yatak ve personel sayısı arasındaki korelasyonları araştırmışlar. Sonuç olarak, bir İspanyol hastanesinde standart çalışma koşulları için ortalama yıllık enerji tüketimi 0,27 MWh/m², 9,99 MWh/işçi ve 34,61 MWh/yatak olarak bulunmuş. Spesifik yönetim tipi, mevcut yatak sayısı, GSYİH'da veya belirli iklim koşullarının aksine, coğrafi konumun bu değerlerde doğrudan etki gösterdiği görülmüş.

Hatamipour, Mahiyar ve Taheri (2007) çalışmalarında, İran'ın sıcak ve nemli bölgelerinde yaz aylarındaki soğutma yükü güç tüketimini tahmin etmişlerdir. Güneyde sıcak ve nemli bir bölgede tipik binada 3 konut binası, 2 endüstriyel tesis binası, 38 mağazalı bir ticaret merkezi, 3 kamu sektörü ve bir şehir hastanesi olmak üzere toplam 47 adet binada soğutma sistemleri için gerçek elektrik enerjisi tüketimi yılın en yoğun yük döneminde olan Temmuz-Ağustos aylarında kaydedilmiş. Kayıtlar, bu bölgedeki soğutma sistemlerinin toplam güç tüketimini tahmin etmek için kullanılmış. Simülasyon sonuçlarına göre: 1. Dış gölgeleme perdesi, dış perde ve pencere kenarlarına ekilen gölgeleme ağaçlarının kullanılması, sıcak ve nemli bölgeler için çok etkili. 2. Çift camlı pencereler, açık renkli duvar ve çatılar, duvar ve çatılarda izolasyon uygulanması ile soğutma yükünde %40'a varan azalma sağlanabilmekte. 3. Pencerelerin

boyutları gün ışığı için gerekli seviyeye indirilmeli. Pencereleler, en az genişlikte olmalı, çatıya yakın duvarın üst kısmına yerleştirilmeli. 4. Binalar rüzgâr yönüne göre inşa edilmeli. 5. Binadaki konfor sıcaklığı her oda için ayarlanabilir olmalı ve mümkün olan maksimum değere göre ayarlanmalı tespitleri yapılmış.

Lazzarin, Castellotti ve Busato (2005) Vicenza Hastanesinin yeşil çatısında sıcaklık, nem, yağış, radyasyon vb. sensörleri olan bir veri kayıt sistemi oluşturmuş, hem yeşil çatıya hem de altındaki odalara ilişkin parametreleri araştırmışlar. Amaç, yaz aylarında buharlaşma-terleme rolünü vurgulayarak pasif soğutmayı değerlendirmek. Çalışmada ayrıca, geliştirilmiş yalıtım özellikleri kış döneminde test edilmiş. Yeşil çatılı bir binanın termal ve enerji performanslarını hesaplamak için bina simülasyon yazılımında (TRNSYS) tahmine dayalı bir sayısal model geliştirilmiş. Buharlaşma gizli akışının rolü çok önemlidir; yaz aylarında, toprak neredeyse kuru koşullardayken yeşil çatı, yalıtımlı geleneksel bir çatı kaplamasına göre alt odaya giren termal kazancın yaklaşık %60 oranında azaltılmasını sağladığı görülmüş. Bunun nedeni, daha yüksek güneş yansımaları ve yeşilliklerin yaptığı emilimdir, ve buharlaşma çok sınırlı olmaktadır. Toprak ıslak durumda olduğunda, sadece giren akış iptal edilmemekte, aynı zamanda hafif bir giden akış üretilmektedir, böylece yeşil çatı, buharlaşmanın soğutma etkisi sayesinde pasif bir soğutucu olarak çalışmaktadır. Kış aylarında yeşil çatıda, güneş ışığını emen yalıtımlı çatı kaplamasına göre %40 daha yüksek termal akış ısı kaybı olduğu bulunmuş.

Radwan ve diğ. (2016) Mısır'ın İskenderiye kentindeki bir hastaneyi; 24 saat 7 gün kullanılabilirliği, tıbbi ekipmanı, temiz hava ve hastalık kontrolü gereksinimleri nedeniyle büyük bir enerji tüketim binası olarak kabul edildiği için vaka çalışması olarak seçmişler. Bu çalışmada, binalarda enerji tüketimini azaltan ve HVAC sistem boyutlarını azaltan verimli bir enerji tasarrufu tekniği geliştirilmiş. Enerji tasarruflu modelde CO₂ bazlı talep kontrollü havalandırma (DCV) sistemi, kişi sayısına ve faaliyetlerine bağlı olarak bir binadaki dış hava miktarını kontrol etmektedir. Bir binadaki CO₂'nin ana kaynağı insanlardır, örneğin bir odadaki kişi sayısı iki katına çıkarsa, CO₂ seviyesi otomatik olarak iki katına çıkmaktadır. CO₂ sensörü atmosferdeki CO₂ değeri ile binadaki CO₂ değeri arasındaki farkı ölçmektedir ardından değişikliği kalibre ederek ve önceden ayarlanmış fark seviyelerine göre odanın temiz havaya ihtiyacı olup olmadığına karar vermektedir. Simülasyon, DCV sistemi uygulandığında, temel duruma göre potansiyel yıllık %41 elektrik tasarrufu sağlamış. Duvarlarda yalıtım ve cam kalitesi enerji tüketimini yaklaşık %8 oranında azaltmış.

Vanhoudt ve diğ. (2011) çalışmalarında; Belçika hastanesinde üç yıllık bir süre boyunca havalandırma havasının ısıtılması ve soğutulması için bir ısı pompası ile birlikte bir akifer termal enerji depolama sistemini izlemişler. Kurulum, Belçika'daki ilk ve en büyük toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinden biridir. Yeraltı suyu akışları ve sıcaklıklarının yanı sıra ısı pompalarının enerji akışları ve binanın enerji ihtiyacı izlenmiş. Bina elde edilen enerji dengesi, ısı pompası sisteminin birincil enerji tüketiminin, ortak gaz yakıtlı kazanlara ve su soğutma makinelerine dayalı bir referans kurulumla karşılaştırıldığında %71 daha düşük olduğunu göstermiş. Bu, tüm ölçüm süresi boyunca 1280 tonluk bir CO₂ azalışına karşılık geldiği bulunmuş. Isıtma için genel mevsimsel performans faktörü 5,9 iken, akifer termal enerji depolama sistemi ATES 26,1 verimlilik faktörü ile soğutma sağlamış. Ayrıca sübvansiyonlar hariç 8,4 yıllık basit bir geri ödeme süresiyle sonuçlanmış.

Yau ve Ng (2011) çalışmalarında sıcak ve nemli bölgelerde mantar gelişimi problemini ele almışlar, çünkü bu özel problem, ameliyatların başarı oranını etkileyebileceğinden ameliyathane için çok önemlidir. Geçmişte birçok mantar enfeksiyonu vakası meydana gelmiş ve genel olarak klima sisteminin mantar büyüme probleminin çözümünde çok önemli bir rol oynadığı kabul edilmektedir. Hava kalitesinin yanı sıra iklimlendirme sisteminin enerji tüketim düzeyi de çok önemlidir. Bu çalışmada, araştırma konusu olarak Malezya Putrajaya Hastanesindeki ameliyathane seçilmiş, bu çalışmanın amaçlarına ulaşmak için klima sistemi, enerji geri kazanım çarkı, kurutucu nem alıcı ve ısı borulu ısı eşanjörü ile yeniden tasarlanmış. Bu çalışmada analiz için simülasyon programı (TRNSYS) adlı bir bilgisayar programından yararlanılmış. Simülasyonların sonucunda, ısı borulu ısı eşanjörünün iklimlendirme sistemi tarafından tüketilen enerjinin çoğunu azaltabileceği bulunmuş. Enerji tüketimini %57,85 oranında azaltmayı başarmış. Ayrıca, cihazın geri ödeme süresi sadece 0,95 yıl, bu da incelenen tüm sistemler arasında en kısa geri ödeme süresi olarak bulunmuş. Bu nedenle, ısı borulu ısı eşanjörü uygulamak, enerji tasarrufu sağlamak ve sıcak ve nemli bölgelerde mantar büyüme problemini çözmek için iyi bir seçim olarak tespit edilmiş.

Abanda ve Byers (2016) iyi yönlendirilmiş bir ev binasının enerji tüketimi üzerindeki etkisini ve bu süreci kolaylaştırmak için bina bilgi modelleme BİM'in nasıl kullanılabileceğini değerlendirmişler. İlk olarak, önde gelen BİM araçlarından biri olan Revit programı kullanılarak gerçek hayattaki bir bina modellenmiş. İkinci olarak, veriler yeşil bina için önde gelen enerji simülasyon yazılımlarından biri olan Green Building Studio ya aktarılmış. Üçüncüsü, Yeşil Bina Stüdyosu'nda farklı bina yönelimleri benimsenmiş ve bunların tüm bina

enerjisi üzerindeki etkileri araştırılmış. Farklı yönelimlere karşılık gelen enerji tüketiminin analizine dayanarak, iyi yönlendirilmiş bir binanın yaşam döngüsü boyunca önemli miktarda enerji tasarrufu sağlayabileceği ortaya çıkmış. Bina 30 yıllık sürede en iyi performansını bulunduğu konumdan saat yönünde $+180^\circ$ ve en kötü performansını $+45^\circ$ döndürülmesinde göstermiş, binanın uygun konumlandırılmasıyla bu 30 yıllık dönem içerisinde toplamda 17.056 kWh elektrik ve 27.988 MJ gaz tasarrufu ile 878 £ enerji maliyetinde tasarruf elde edilebileceği görülmüş. Ayrıca, bu çalışmadan elde edilen bulgular ile Green Building Studio da hesaplanan değerlerin tutarlı olduğu, gerçek bir fatura ile doğrulanmış.

Çomaklı ve Yüksel (2003) çalışmalarında, Erzurum, Kars ve Erzincan gibi Türkiye'nin en soğuk illeri için optimum yalıtım kalınlığını araştırmışlar, şehirlere göre yalıtım tabakası kalınlığı sırası ile 0,104878 m, 0,10737 m ve 0,085107 m bulmuşlardır. Optimizasyon, yaşam döngüsü maliyet analizine dayandırılmış. Duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı uygulandığında önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanmış. Tasarruf Erzurum için 12,113 \$/m², Kars için 12,720 \$/m² ve Erzincan için 7,992 \$/m², geri ödeme süreleri sırasıyla 1,45, 1,44 ve 1,57 yıl olarak bulunmuş.

Bolattürk (2006) çalışmasında, Türkiye'nin dört iklim bölgesinden 16 şehir seçmiş ve optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini hesaplamış. Farklı iklim bölgelerindeki binaların yıllık ısıtma ihtiyaçları, ısıtma derece-gün kavramı ile elde edilmiş, optimizasyon, yaşam döngüsü maliyet analizine dayandırılmış. Çalışmada yakıt olarak; kömür, doğalgaz, akaryakıt, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve elektrik, yalıtım malzemesi olarak polistiren seçilmiş. Sonuçlar; şehre ve yakıt türüne bağlı olarak optimum yalıtım kalınlıklarının 2 ile 17 cm arasında, enerji tasarrufunun %22 ile %79 arasında ve geri ödeme sürelerinin 1,3 ile 4,5 yıl arasında değiştiğini göstermiş.

Sisman ve diğ. (2007) çalışmalarında, Türkiye'nin farklı derece-gün (DD) bölgeleri olan İzmir (DD: 1.450), Bursa (DD: 2.203), Eskişehir (DD: 3.215) ve Erzurum (DD: 4.856) için optimum yalıtım tabakası kalınlıklarını araştırmışlar. Türk Standardına (TS 825) göre dört farklı derece-gün (DD) bölgesi vardır ve bu bölgelerdeki binalar için gerekli ısı yükleri büyük farklılıklar göstermektedir. Duvarlar için optimum yalıtım tabakası kalınlığı İzmir için 0,033 m, Bursa için 0,047 m, Eskişehir için 0,061 m ve Erzurum için 0,080 m ve metrekare başına yıllık enerji tasarrufu İzmir için 1,28 \$/m², Bursa için 2,21 \$/m², Eskişehir için 3,50 \$/m², Erzurum için 5,67 \$/m² olarak bulunmuş. Geri ödeme süreleri İzmir için 2,82 yıl, Bursa için 2,28 yıl, Eskişehir için 1,89 yıl ve Erzurum için 1,54 yıl olarak tespit edilmiş. Çatılarda optimum yalıtım

tabakası kalınlıkları İzmir için 0,020 m, Bursa için 0,033 m, Eskişehir için 0,047 m, Erzurum için 0,065 m ve metrekare başına yıllık enerji tasarrufu İzmir için 0,92 \$/m², Bursa için 1,76 \$/m², Eskişehir için 2,94 \$/m², Erzurum için 4,92 \$/m² hesaplanmış. Geri ödeme süreleri İzmir için 4,95 yıl, Bursa için 3,66 yıl, Eskişehir için 3,10 yıl ve Erzurum için 2,58 yıl bulunmuş.

Özkan ve Onan (2011) pencere ve dış duvar alanlarının değiştirilmesinin binanın ısıtma enerjisi ihtiyacına ve ideal yalıtım tabakası kalınlığına etkisini P1-P2 yöntemi kullanarak incelemişler. Çalışma, çeşitli ısı yalıtım malzemeleri, cam alanları ve yakıt türleri için Türkiye'nin dört derece-gün bölgesi için gerçekleştirilmiş. Bu çalışmanın devamında farklı yalıtım tabakası kalınlıkları ve yakıtın, yakıt tüketimine ve dolayısıyla CO₂ ve SO₂ gibi kirleticilerin salınımlarına etkileri değerlendirilmiş. Örneğin, cam alanının dış duvar alanına oranının 0,2 olduğu ısı yalıtım malzemesi ekstrüde polistren köpük XPS ve yakıtı doğalgaz kullanılan ortamda dört bölge için sırası ile 1.Bölge için 13,996 \$/m², 2.Bölge için 31,680 \$/m², 3.Bölge için 46,613 \$/m² ve 4.Bölge için 63,071 \$/m² enerji tasarrufu sağlanmış ve yatırımın geri ödeme süreleri sırası ile 1.Bölge için 2,023 yıl, 2.Bölge için 1,836 yıl, 3.Bölge için 1,498 yıl ve 4.Bölge için 1,346 yıl olarak bulunmuş. İdeal yalıtım malzemesinin XPS ve yakıtın doğal gaz olduğu durumlarda CO₂ salınımlarının %50,91 oranında azaldığını, ideal yalıtım malzemesi XPS ve yakıtın yağ olduğu durumlarda CO₂ ve SO₂ salınımlarının %54,67 oranında düştüğünü gözlemlemişler.

Liu ve diğ. (2019b) yaklaşık sıfır enerji binasını (NZEB) sağlayan unsurları enerji verimli önlemler ve yenilenebilir enerji teknolojileri olarak ikiye ayırmışlar. Enerji verimli önlemlerden ilkinin termal yalıtımın sağlanması olduğu, iyi bir yalıtımın sağlanması durumunda enerji tüketimini %22'ye varan oranda azaltabileceği, özellikle çok soğuk bölgelerde duvar ve çatılar için ısı geçirgenlik katsayısı 0,10-0,20 W/m².K, soğuk bölgeler için 0,10-0,25 W/m².K, sıcak yaz ve soğuk kış bölgeleri için 0,20-0,35 W/m².K, sıcak yaz ve ılık kış bölgeleri için ise 0,25-0,40 W/m².K arasında olması gerektiği bulunmuş. İkincisi yüksek performanslı pencere sistemleri: dış pencerelerin neden olduğu enerji kaybı bina enerji kaybının %57-63'ünü oluşturduğu; bu enerji kaybında ısı transferi ve radyasyon %23-27 sini ve sızma olayı %34-36 sını gerçekleştirdiği belirlenmiş. Üçüncüsü ısı geçirgenlik katsayısı: Alman pasif evler dikkate alındığında duvar, çatı ve zeminlerin ısı geçirgenlik katsayılarının 0,15 W/m².K, pencerelerde 0,80 W/m².K olduğu tespit edilmiş. Dördüncü olarak güneş ısı kazancı katsayısı (SHGC): Şiddetli soğuk ve soğuk bölgelerde SHGC değeri mümkün olduğunca yüksek ayarlanması gerektiği, sıcak yaz ve soğuk kış, sıcak yaz ve ılık kış bölgelerinde güneş radyasyonu ısı

kazanımlarının azaltılmasının uygun olacağı bulunmuş. Dış pencereler, yaz aylarında güneş radyasyonu ısı kazanımlarını azaltabilecek ayarlanabilir gölgeleme olanakları ile donatılması gerektiği, SHGC değerinin kışın ihtiyaçlarına ve yazın gölgeleme etkilerine göre seçilmesinin uygun olacağı saptanmış. Diğer önlemler ise pencere/duvar oranları, hava sızdırmazlık ve taze hava ısı geri kazanım sistemleri olduğu belirlenmiş. Yenilenebilir enerji teknolojileri olarak solar termal sistem, solar fotovoltaik sistem, toprak ve hava kaynaklı ısı pompası sistemi ve rüzgâr gücünün enerji tüketimini önemli ölçüde azaltarak yaklaşık sıfır enerji bina konseptini sağlamada etkili oldukları bulunmuş.

Marszal ve Heiselberg (2011) Danimarka’da BOLIG+ ilk çok katlı net sıfır enerji binasını incelemişler. Bina toplam alanı 7.000 m^2 ve kuzey-güney cephe olup, birinci kısım 6 katlı ve ikinci kısım 10 katlıdır. Bina ortalama $61,4 \text{ m}^2$ alana sahip 114 modülden oluşmaktadır. Modüler yapı sistemi, yalıtım kalınlığının optimizasyonuna, soğuk köprülerin en aza indirilmesine ve bina akustiğinin iyileştirilmesine olanak sağlamaktadır. Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemi, ortam havası ve güneş enerjisine bağlı bir ısı pompası (110 kW) içermektedir. Hem alan ısıtma hem de kullanım sıcak suyu için ısı üretmektedir. Isı pompasını çalıştırmak için gereken elektrik, fotovoltaik/solar termal kurulumuyla birlikte fotovoltaik paneller tarafından üretilmektedir. Fotovoltaik/solar termal kurulumu tarafından üretilen ısı, sıcak su kullanımının %60’ını kapsamakta ve ısı pompası için ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Alan ısıtma sistemi yerden ısıtmaya dayalıdır. Havalandırma sistemi, kışın merkezi olmayan mekanik havalandırma, yazın ise doğal havalandırma kullanılmaktadır. Yıllık sıcak su ihtiyacı $14,4 \text{ kWh/m}^2$, ortam ısıtma tüketimi $13,7 \text{ kWh/m}^2$, bina işletimi için gerekli elektrik $7,6 \text{ kWh/m}^2$ ve evde kullanım için 15 kWh/m^2 bulunmuş. Buna karşın fotovoltaik panellerin ürettiği elektrik $22,6 \text{ kWh/m}^2$, solar termal enerji $8,3 \text{ kWh/m}^2$ ve ısıtma pompası termal çıktısı 20 kWh/m^2 olduğu hesaplanmış. Enerji açısından en verimli çözümün, fotovoltaik panel kurulumunun fotovoltaik/solar termal ve bir solar ısı pompası ile birleştirildiği çözüm olduğu ortaya çıkmış.

Schnieders ve diğ. (2015) farklı iklim bölgelerinde oluşturulan pasif evleri incelemişler. Pasif evler son derece düşük ısıtma ve soğutma yükünde konforlu iç ortam koşulları sağlayan yapılardır. Pik günlük ortalama ısıtma ve soğutma yükleri tipik olarak 10 W/m^2 ’nin altındadır ve yıllık faydalı enerji talepleri $15 \text{ kWh/(m}^2\text{/yıl)}$ altındadır. İlk “Pasif Ev” 1991 yılında Almanya’nın Darmstadt-Kranichstein kentinde inşa edildi. Bu çalışmada dünyanın farklı iklim bölgelerinde Yekaterinburg, Tokyo, Şanghay, Las Vegas, Abu Dabi ve Singapur tarafından

temsil edilen pasif evlerin gerçekleşmesinin mümkün olduğu Dynbil higrotermal, pasif ev Enstitüsünde geliştirilen dinamik bina simülasyon programıyla gösterilmiş. Pasif ev modeli toplamda 120 m² yaşam alanı olan, zemin katında oturma ve mutfak, birinci katında ise iki yatak odası ve banyosu olan teraslı iki katlı bir yapıdır. Kuzey cephesinde pencere alanı 8,5 m², güney cephesinde ise toplam 11 m² gelmektedir. Duvarlar 11,5 cm tuğla ve EPS yalıtım, çatı beton kiremit altında EPS yalıtım, bodrum duvarları ve döşemesi yalıtımsız betondan yapılmıştır. Binadaki mekanik havalandırma oranı 122,5 m³/h alınmıştır. Yekaterinburg, soğuk bir iklimdir. Ortam sıcaklıkları -30 °C'ye kadar düşer duvar için ısı geçirgenlik katsayısı 0,06 W/m².K, çatı için 0,04 W/m².K ve bodrum tavanda 0,08 W/m².K belirlenmiştir. Tokyo ve Şanghay, subtropikal sıcak bir iklimdir. Kışlar ılımandır, don sadece ara sıra meydana gelir. Yazlar sıcak ve nemlidir. Duvar, çatı ve bodrum tavan için ısı geçirgenlik katsayıları sırasıyla; Duvar için 0,20 W/m².K, çatı için 0,16 W/m².K, bodrum tavan için 0,29 W/m².K alınmıştır. Las Vegas, tipik bir gün boyunca büyük sıcaklık farklarına sahip sıcak ve kuru bir iklimdir. Isı geçirgenlik katsayıları duvar için 0,13 W/m².K, çatı için 0,20 W/m².K ve bodrum tavan için 1,66 W/m².K alınmıştır. Abu Dabi, sıcak ve nemli bir iklimdir. En yüksek yaz sıcaklıkları 45°C ye ulaşır, güneş radyasyon seviyeleri çok yüksektir, nem oranları 20 g/kg'a kadar çıkmaktadır. Isı geçirgenlik katsayıları duvar için 0,13 W/m².K, çatı için 0,16 W/m².K ve bodrum tavan için 0,21 W/m².K olarak belirlenmiştir ve son olarak Singapur, tropikal bir iklimdir. Ortam koşulları, 28 °C civarındaki sıcaklıklar, küçük günlük dalgalanmalar ve 18 ila 20 g/kg arasındaki nem oranları ile yıl boyunca oldukça sabittir. Isı geçirgenlik katsayıları duvar için 0,20 W/m².K, çatı için 0,28 W/m².K ve bodrum tavan için 0,36 W/m².K olarak kabul edilmiştir. Ortam ısıtma sıcaklığı 20°C ve soğutma sıcaklığı 26°C temel alınmıştır. Yıllık ısıtma enerji ihtiyaçları Yekaterinburg için 22,4 kWh/m², Tokyo için 13 kWh/m², Şanghay için 9,9 kWh/m², Las Vegas için 13,2 kWh/m², Abu Dabi için 0 kWh/m² ve Singapur için 0 kWh/m² bulunmuş ve günlük ortalama ısıtma yükleri Yekaterinburg için 10,3 W/m², Tokyo için 9,7 W/m², Şanghay için 10,1 W/m², Las Vegas için 9,3 W/m², Abu Dabi ve Singapur için 0 W/m² olduğu saptanmıştır. Yıllık soğutma enerji tüketimleri Yekaterinburg için 0 kWh/m², Tokyo için 1,2 kWh/m², Şanghay için 7,7 kWh/m², Las Vegas için 12 kWh/m², Abu Dabi için 38,7 kWh/m² ve Singapur için 38,7 kWh/m² belirlenmiştir ve günlük ortalama soğutma yüklerinin ise Yekaterinburg için 0,9 W/m², Tokyo için 3,4 W/m², Şanghay için 7,2 W/m², Las Vegas için 10,3 W/m², Abu Dabi için 10 W/m², Singapur için 6,4 W/m² olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, en yüksek ısıtma veya soğutma yükü değerleri 10 W/m² sinin altında bulunmuş.

Naji ve diğ. (2016) İstanbul bölgesinde bulunan 130 metrekare konut binası için malzemeleri farklı 5 grup duvar tipi oluşturmuş. Bu duvar tiplerinin farklı ısı iletim katsayılarında 0,03 W/m.K , 0,04 W/m.K, 0,05 W/m.K, 0,08 W/m.K ve farklı yalıtım kalınlıklarında 4, 6 , 8 , 10 , 12 , 14 , 16 , 18 , 20 cm enerji tüketimini incelemişler. Sonrasında enerji simülasyon programı EnergyPlus ile 180 simülasyon oluşturulmuş ve toplam ısıtma ve soğutma için gerekli enerji tüketimleri hesaplanmış. Simülasyon verileri üç farklı algoritma kullanılarak aşırı öğrenme makinesi ELM, tek katmanlı ileri beslemeli sinir ağı mimarisi için bir öğrenme algoritması aracıdır, Yapay sinir ağı ANN ve Genetik algoritma GP karşılaştırılmış. Verilerin %70'i eğitim, %30'u test için kullanılmış. Sonuçlara göre kök ortalama kare hata RMSE değeri eğitim veri setinde ELM, ANN ve GP için sırasıyla 40,85, 301,24 ve 287,47 bulunmuş, test veri setinde 74,021, 331,56 ve 314,34 değerleri elde edilmiş. İnceleme sonucunda en iyi algoritmanın ELM olduğu görülmüş. Enerji tüketimlerinin ısı iletkenlik katsayısı azaldığında ve yalıtım kalınlığı arttığı zaman düştüğü tespit edilmiş.

Ascione ve diğ. (2016) çalışmalarında, güney İtalya'da 1991 ve 2005 yılları arasında inşa edilen hastaneleri temsilen bir hastaneyi referans binası olarak seçmişler. İlk optimizasyon aşamasında genetik algoritma ile alan ısıtma ve soğutma için termal enerji talebini azaltmaya yönelik enerji güçlendirme önlemlerinin ERM'lerin tespit edilmesi amaçlanmış. İkinci optimizasyon aşamasında, bu ERM'ler, enerji sistemlerinin verimliliğini arttırmaya ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaya yönelik başka ERM'lerle birleştirilmiş. Ortaya çıkan güçlendirme paketleriyle ilgili yatırım maliyeti, birincil enerji tüketimi ve global maliyet araştırılmış. En uygun maliyetli çözümler olarak: 1. Isı geri kazanım sistemleri, güneş gölgelendirme sistemleri ve serin çatı. 2. Bölgesel sıcak su üretimi için enerji tasarruflu doğalgaz kazanı. 3. 600 kW'a eşit elektrik gücüne sahip kombine soğutma, ısıtma ve güç sistemi 4. Sıcak su üretimi için çatı yüzeyinin %30'unu kaplayan güneş kolektörleri. 5. Çatı yüzeyinin %30'unu kaplayan mono-kristal fotovoltaik paneller bulunmuş. Bu çözümlerle, birincil enerji tüketiminden yılda yaklaşık %12,2 oranında 67,9 kWh/m² lik tasarruf sağlandığı, global maliyetin yaklaşık %24,5 oranında 2.932 k€ düştüğü ve CO₂-eşdeğeri salınımlarında 1.260 ton'a eşit bir azalma olduğu belirlenmiş.

Calise ve diğ. (2017) bir hastaneye hizmet veren tek bir enerji kaynağından yararlanılması ile ısıtma, soğutma ve elektrik enerjilerinin eş zamanlı üretilmesi işleminin gerçekleştiği trijenerasyon (CCHP) tesisinin ekonomik, enerjik ve çevresel analizini yapmışlar. Isıtma, soğutma ve güç tesisi TRNSYS ortamında dinamik olarak modellenmiş. CCHP sistem

performanslarını maksimize etmek ve ekonomik fizibilitesini geliştirmek için üç farklı çalışma stratejisini analiz etmişler: Motor tarafından sağlanan termal gücün her zaman termal talebe eşit veya daha az olduğu Termal Yük İzleme modu (TLT), bir TLT modu olan Maksimum Güç Termal Yük İzleme modu (MPTLT), her zaman maksimum güçte çalışan motor ve elektrik yükü izleme modu (ELT). Dinamik simülasyonlardan, trijenerasyon tesisinin her üç işletme stratejisinde de hastaneye enerjik, ekonomik ve çevresel faydalar sağlayabileceği sonucuna varmışlar. Enerji açısından en iyi çözümün, elektrik üretiminin yılda 1.203 MWh, termal üretimin 1.794 MWh ve absorpsiyonlu soğutma sistemi üretiminin 184 MWh olduğu ELT stratejisi bulunmuş. Ancak, yılda 490 MWh kaybolan ısı nedeniyle, bu strateji termal verimliliğın en kötü değerlerine %38,9'a eşit olduğu ve sonuç olarak bütünsel verimliliğın %75,6'ya eşit olduğu ve diğeri iki çalışma stratejisinden çok daha düşük olduğu tespit edilmiş. TLT stratejisi için verimliliğın %89,9'a ve MPTLT stratejisi için %90,3'e eşit olduğu belirlenmiş. Çevre açısından bakıldığında, TLT, MPTLT ve ELT stratejileri için birincil enerji tasarruf değerleri sırasıyla: %23, %24 ve %14 oranlarında tespit edilmiş. Son olarak, geri ödeme süreleri dikkate alındığında ELT stratejisinin en iyi ekonomik strateji olduğu bulunmuş. TLT, MPTLT ve ELT stratejileri için geri ödeme süreleri sırasıyla 4,4, 4,2 ve 4 yıl hesaplanmış.

Dutta ve diğ. (2017) bina yöneliminin enerji tüketimi üzerindeki etkisini detaylandırmak için onaylanmış bir Fortran 77 derleyici program kullanmışlar. Farklı yönlerde bulunan pencerelerden içeri giren ısı miktarları karşılaştırılmış ve kuzey yarımkürenin tropikal ikliminde güneşe bakan pencerelerden ısı kazancının en fazla olduğu, bunu doğu, batı ve kuzeye bakan pencerelerin izlediğini tespit etmişler. Tropik iklimde bir hastane binasının soğutma yükündeki azalmayı göstermek için, deneysel olarak tasarlanmış, programlanabilir mantık denetleyici tabanlı, güneş yolu ile bağlantılı hareketli bir dış pencere gölgeleme cihazı, bir TRNSYS bina modeli aracılığıyla oluşturulmuş. Simülasyon çalışması sonucu, tropik iklimde bir bina için hareketli dış cam gölgeleme ile maksimum enerji tasarrufunun haziran ayında %14,9 ve yıllık ortalama enerji tasarrufunun %9,8 olduğu bulunmuş. Ekonomik bir analizle, önerilen dış gölgeleme cihazının mali açıdan uygun olduğu ve geri ödemenin 6 ay içinde geldiği tespit edilmiş.

Kalamees (2007) 2003–2005 yılları arasında Estonya'da 32 müstakil evin hava sızdırmazlığı ve hava kaçaklarına ilişkin bir saha ölçüm çalışması yapmıştır. Binaları kat sayılarına, bina teknolojisine ve havalandırma sistemlerine göre sınıflandırmış. Standart Blower Door basınçlandırma tekniğı kullanılarak her evin hava kaçak oranı belirlenmiş. Tipik hava kaçığı

yerleri ve dağılımlarını belirlemek için kızılötesi görüntü kamerası ve duman dedektörü kullanılmış. Tüm veri tabanında 50 Pa basınç farkında ortalama hava kaçağı oranı $4,2 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$, ortalama hava değişim hızı 4,9 l/sa bulunmuş. Hava sızdırmazlığında kat sayısı ile işçilik ve denetim kalitesinin önemli rol oynadığı tespit edilmiş. İncelenen evlerde tipik hava kaçağı yerleri olarak: Tavan/zemin dış duvar ile birleşim yeri, ayırıcı duvarların dış duvar ile birleştiği yer, hava bariyeri sistemlerinden elektrik ve sıhhi tesisat geçişleri, duvar geçişleri, baca ve havalandırma kanalları, elektrik priz ve anahtarlarından, pencere ve kapılardan oluşan sızıntılar tespit edilmiş.

Goia (2016) çalışmasında, belirli bir ofis binası için farklı iklim bölgelerinde bulunan şehirlerdeki binanın cephesine göre optimum pencere/duvar oranı (WWR) etrafında önerilen aralıklar bulmuş. Optimum WWR değerleri çok farklı iklimlerde bulunan binalar için $0.30 < \text{WWR} < 0.45$ aralığında belirlenmiş. WWR değerleri Oslo, Frankfurt, Roma ve Atina için sırasıyla güney cephesinde Oslo için 0,50-0,60, kuzey cephesinde Oslo için 0,37-0,43, batı cephesinde Oslo için 0,37-0,43, doğu cephesinde Oslo için 0,37-0,43; güney cephesinde Frankfurt için 0,37-0,45, kuzey cephesinde Frankfurt için 0,40-0,45, batı cephesinde Frankfurt için 0,37-0,43, doğu cephesinde Frankfurt için 0,37-0,43; güney cephesinde Roma için 0,25-0,35, kuzey cephesinde Roma için 0,35-0,40, batı cephesinde Roma için 0,30-0,35, doğu cephesinde Roma için 0,30-0,35; güney cephesinde Atina için 0,20-0,30, kuzey cephesinde Atina için 0,35-0,40, batı cephesinde Atina için 0,30-0,35, doğu cephesinde Atina için 0,30-0,35 olması önerilmiş. WWR'nin kuzey, doğu ve batı cephesinde yanlış seçimi ve sıcak bir iklimde, toplam enerji kullanımında güneye bakan bir cepheye göre daha yüksek bir artışa %25'e kadar neden olabildiği bulunmuş. Araştırma ayrıca, uygun bir WWR değeri seçiminin daha kritik olduğu iklimlerin sıcak hâkim iklimler olduğunu, çünkü optimal aralıktan uzak bir WWR değerinin enerji kullanımında soğutma için enerji kullanımındaki artıştan dolayı en yüksek artışa yol açtığı tespit edilmiş.

Thalfeldt ve diğ. (2013) Estonya'nın soğuk ikliminde enerji ve gün ışığı simülasyonları ile pencere özellikleri, dış duvar yalıtımı, pencere-duvar oranı (WWR), dış gölgeleme dahil olmak üzere maliyet optimal ve enerji açısından en verimli cephe çözümlerini belirlemeye çalışmışlar. Bu cephe parametreleri, düşük ve neredeyse sıfır enerjili binalarda en düşük yaşam döngüsü maliyetini sağlamak ve elde edilebilecek en iyi enerji performansı için optimize edilmiş. Şeffaf düşük salınlı camların, renkli güneş koruma camları ve yüksek görünür geçirgenliğe sahip şeffaf güneş koruma camları ile karşılaştırılmasında en iyi enerji performansı şeffaf düşük

salınlı camlarla, ikinci en iyi performansı ise belirlenen minimum pencere boyutunu takip eden şeffaf güneş koruma camlarıyla elde edilmiş. Ayrıca minimum boyutta şeffaf düşük salınlı cam ile soğutma yükünü makul seviyede tutmak mümkün olmuş. Bu nedenle, çalışmada bulunan tüm optimal durumlar, camlar arasındaki her boşlukta düşük salınlı bir kaplamanın bulunduğu şeffaf cam ile yapılmış. 4 ve 5 bölmeli şeffaf düşük salınlı cam, yüksek sayıda bölme ve kaplama nedeniyle doğal olarak iyi güneş koruması da sağlamış. En iyi enerji performansı, dörtlü ve beşli pencerelerde sırasıyla %37,5 ve %60 WWR'da elde edilmiş.

Aydinalp ve diğ. (2004) Kanada konut sektöründe alan ve su ısıtma enerji tüketimini modellemek için sinir ağı yöntemini kullanmışlar. Çalışmada kullanılan veritabanı 1993 yılındaki hava sıcaklığı verileri ile birlikte 376 sorudan oluşan anket araştırmasından elde edilmiş. Bu veriler de Kanada'nın tüm illerinden 8.767 hanenin alan ısıtma-soğutma, su ısıtma ekipmanları, ev aletleri ve sosyo-ekonomik özellikleri hakkında ayrıntılı bilgileri içermekteydi. Her iki model de çok yüksek bir tahmin performansı elde etmiş. Alan ısıtma için determinasyon katsayısı R^2 değeri 0,91 ve su ısıtma modeli için R^2 değeri 0,87 bulunmuş.

Neto ve diğ. (2008) çalışmalarında, Sao Paulo Üniversitesi yönetim binası enerji talebi için tahmin aracı olarak hem daha basit bir yapay sinir ağı (YSA) modelini hem de ayrıntılı bir bina HVAC tasarım ve simülasyon yazılımı EnergyPlus karşılaştırmışlar. Sonuçlar, EnergyPlus tüketim tahminlerinin test edilen veri tabanının %80'i için $\pm\%13$ 'lük bir hata aralığı sunduğunu göstermiş. YSA modelleri ile ilgili olarak, daha basit (sadece sıcaklık girdisi) ve daha karmaşık (sıcaklık/bağıl nem/güneş radyasyonu girdileri) kullanılmış, enerji tüketimi tahminleri ile gerçek değerler arasında çalışma günleri ve hafta sonları için farklı ağlar uygulandığında yaklaşık %10'luk bir ortalama hata göstermiş. Ayrıca, bina için nem ve radyasyonun enerji tüketimi üzerindeki etkilerinin dış sıcaklıktan daha az önemli olduğu bulunmuş.

Wong ve diğ. (2010) günışığı alan ofis binaları için bir yapay sinir ağı (YSA) modeli geliştirmişler. Girdi parametreleri olarak toplam dokuz değişken kullanmışlar. Dört değişken dış hava koşulları ile ilgili (günlük ortalama kuru termometre sıcaklığı, günlük ortalama yağ termometre sıcaklığı, günlük global güneş radyasyonu ve günlük ortalama açıklık indeksi), dört değişken bina kaplama tasarımları (güneş açıklığı, gün ışığı açıklığı, dış gölgeleme cihazları olan çıkıntı ve yan yüzgeç projeksiyonları) ve son değişken gün tipi olarak seçilmiş (hafta içi, cumartesi ve pazar). Çıktı katmanında soğutma, ısıtma, aydınlatma ve toplam elektrik kullanımı olmak üzere dört düğüm seçilmiş. YSA'ların günlük bina enerji kullanım veri tabanı

oluşturmak için EnergyPlus kullanılarak bina enerji simülasyonu yapılmış. YSA modeli soğutma, ısıtma, aydınlatma ve toplam elektrik kullanımı için Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı sırasıyla soğutma için 0,994, ısıtma için 0,940, aydınlatma için 0,993 ve toplam elektrik kullanımı için 0,996 değerleriyle mükemmel tahmin gücünü göstermiş. Hata analizi sonucu, aydınlatma için %0,2 eksik tahminden %3,6 fazla tahmine kadar en küçük hatalar görülmüş.

Dong ve diğ. (2005) tropikal bölgede bina enerji tüketimini tahmin etmek için yeni bir sinir ağı algoritması olan destek vektör makinelerini (DVM) kullanmışlar. Singapur'daki dört ticari bina, vaka çalışmaları olarak rastgele seçilmiş. Hava durumu verilerini içeren aylık ortalama dış ortam kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem ve global güneş radyasyonu üç girdi özelliği olarak alınmış. Modellerin geliştirilmesi ve test edilmesi için ortalama aylık faturalar toplanmış. Tüm tahmin sonuçlarının %3'ten küçük varyans katsayılarına ve %4 içinde kalan hata yüzdesine sahip olduğu bulunmuş.

Li ve diğ. (2009) Çin'in Guangzhou şehrinde bir ofis binasının saatlik bina soğutma yükünü tahmin etmek için destek vektör makinesini (DVM) kullanmışlar. Dış ortam sıcaklığı, nem ve güneş radyasyonu girdi parametreleri olarak alınmış. Simülasyon sonuçları, DVM yönteminin geleneksel geri yayılım (BP) sinir ağı modelinden daha iyi doğruluk ve genelleme sağlayabileceğini ve soğutma yükü tahmini oluşturmak için etkili olduğunu göstermiş.

Ilbeigi ve diğ. (2020) çalışmalarında, İran'da bulunan binaların enerji tüketimini azaltmak için çok sayıda Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli oluşturmuş, girdi faktörlerinin enerji kullanımı üzerindeki etkisini değerlendirmek için kapsamlı bir duyarlılık analizi yapılmış, YSA kullanımıyla enerji tüketimi üzerinde en etkili faktörleri bulmaya çalışmışlar. Kullanıcı sayısı, çatı ve duvar ısıl geçirgenlik katsayısı, ekipman yük hızı, sızma hızı ve aydınlatma yoğunluğu olmak üzere altı kritik parametre YSA'nın girdisi olarak kabul edilmiş ve çıktı olarak enerji tüketimi seçilmiş. Sonuç olarak, incelenen yapının enerji tüketimi, Galapagos eklentisi aracılığıyla Genetik Algoritma yöntemi ile optimize edilmiş. Sonuçlar, Genetik Algoritma optimizasyon süreci ile vaka çalışmasında ortalama enerji tüketiminin %35 oranında azaldığını göstermiş. Binanın enerji tüketimi üzerinde en etkili faktörler olarak bina sakini sayısı ve ikinci seviyede duvar ısıl geçirgenlik katsayısı %26,59 ve %17,60 bulunmuş. Ekipman yük hızı ve sızma hızı sırasıyla %16,02 ve %15,91 ile benzer etki göstermiş. Enerji optimizasyonunun önerildiği şekilde gerçekleştirilmesiyle 241\$ aylık tasarruf edileceği bulunmuş.

Boyano ve diğ. (2013) brüt ısıtılmalı alanı 4.620 m^2 olan bir binanın EnergyPlus programıyla farklı iklim bölgelerinde Tallinn, Madrid ve London için enerji tüketimlerini araştırmışlar. Soğuk bölge Tallinn için ortalama nihai enerji tüketimi yılda $105,21 \text{ kWh/m}^2$ bulunmuş. Isıtma-soğutma ve havalandırma sistemi (HVAC) toplam nihai enerji tüketiminin %60'ını (%12'si soğutma ve %88'i ısıtma içindir), aydınlatma %33 ile ve diğer faktörler %6'sını oluşturmuş. Orta iklim bölgesi Londra için ortalama nihai enerji tüketimi yılda $70,02 \text{ kWh/m}^2$ olarak tespit edilmiş. HVAC toplam nihai enerji tüketimine katkısı %40 civarında (%36'sı soğutma ve %64'ü ısıtma içindir) gerçekleşmiş. Aydınlatma, diğer durumların aksine, toplamın %50'si ile enerji tüketimine en yüksek katkıyı sağlamış, diğer kullanımlar %10 bulunmuş. Sıcak iklim bölgesi Madrid için ortalama enerji tüketimi yılda $74,27 \text{ kWh/m}^2$ hesaplanmış. Ortalamada, aydınlatma, toplam enerji tüketimine %45 oranında katkıda bulunmuş. Toplam nihai enerji tüketimine HVAC katkısı %45 ve diğer enerji kullanımları %9 olarak tespit edilmiş. Bu bölgelerde cam oranının %30 ve aydınlatma kontrolünün %50 ve %100 olması durumlarında toplam enerji tüketimleri içerisindeki enerji tasarrufları, Tallinn için %8,99-%17,98, Madrid için %17,39-%34,76, Londra için %13,62-%27,24 oranlarında bulunmuş. Cam oranının %50 ve aydınlatma kontrolünün %50 ve %100 olması durumlarında toplam enerji tüketimleri içerisindeki enerji tasarrufları Tallinn için %10-%20, Madrid için %18,29-%36,57, Londra için %15,75-%31,50 oranlarında belirlenmiş.

Evin ve Ucar (2019) her biri Türkiye'nin farklı bir iklim bölgesini temsil eden dört farklı şehir Mersin, Çanakkale, Elâzığ ve Van için ekstrüde polistiren (XPS), genişletilmiş polistiren (EPS), poliüretan (PUR), taş yünü (RW) yalıtım malzemelerinin dış duvar, kolon, döşeme ve çatıya uygulanmasına yönelik 4 katlı bir konut için incelemişler. Sonuçlara göre, Isıtma derece-gün değerleri arttıkça gerekli yalıtım kalınlığı artmış. Optimum kalınlıkta taş yünü ile izole edilen dış duvar, diğer yalıtım malzemeleri arasında toplam enerji maliyeti en düşük hesaplanmış. Çatı ekstrüde polistiren ile yalıtılırsa, yalıtımsız çatıya göre enerji maliyeti %77 oranında azalmış. Taş yünü ile yalıtılırsa bu azalma %82'yi bulmuş. CO_2 salınımı için en düşük değerler Mersin'de taş yünü yalıtım malzemesi ile kaplanmış binada, en yüksek CO_2 salınımı ise Van'da poliüretan yalıtım malzemesi ile kaplanmış binada elde edilmiş. Her senaryonun çevresel etki değerlendirmeleri için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) yöntemi kullanılmış. Elde edilen sonuçlardan dış duvardaki taş yünü yalıtım malzemesinin diğer yalıtım malzemeleri arasında eko verimliliği en yüksek malzeme olduğu bulunmuş.

Gustafsson ve diğ. (2017) çalışmalarında, Avrupa ofis binaları için enerji yenileme paketlerinin ekonomik fizibilitesini ve çevresel etkisini araştırmışlar. Pencereler, bina yalıtımı, ısıtma-soğutma ve havalandırma sistemleri ve güneş fotovoltaiklerini (PV) içeren yenileme paketleri, farklı Avrupa iklimleri için dinamik simülasyon yoluyla değerlendirilmiş. İncelenen yenileme durumları için nihai enerji maliyetleri Akdeniz ikliminde %74'e kadar, karasal iklimde %77 ve kuzey ikliminde %70'e varan oranlarda referanslarına göre azalmış. 30 yıllık dönemde toplam maliyetler, üç iklimde sırasıyla Akdeniz iklimi için %9, karasal iklim için %19 ve kuzey iklimi için %11'e kadar azaltılmış. Çatıda veya cephede güneş PV panelleri kullanılması ile enerji maliyetleri, herhangi bir olasılığa bakılmaksızın sırasıyla yılda Akdeniz iklimi için 2,6 € /m², karasal iklim için 1,8 € /m² ve kuzey iklimi için 1,6 € /m² ye kadar düşmüş.



3. YÖNTEM

Özel hastane projesi ile amaçlanan; enerji verimli, daha az elektrik ve yakıt kullanımı ile düşük maliyetli ve CO₂ salınımını azaltarak minimum yaşam döngüsü maliyetini sağlayan bir modelin oluşturulmasıdır. Bu bağlamda yöntem on bir adımdan oluşmaktadır.

1. Binanın Revitte modeli ile üç boyutlu olarak uygulanması.

2. Revit modelde parametrelerin ısıtma-soğutma ve havalandırma sistemi, işletme zamanı, metrekare başına düşen aydınlatma ve güç yük yoğunluğu, hava değişimi, sıcak ve soğuk ayar noktası, nemlendirme ve kurutma ayar noktası, kişi başına düşen gizli ve hissedilir ısı ve metrekare alan ile çatı, duvarlar, tavan, zemin, döşeme, kapı ve pencerelerin ısı geçirgenlik katsayıları ve pencerelerin güneş ısı kazanım katsayısı bilgilerinin girilmesi (Autodesk Revit,2022).

3. Türkiye'nin farklı bölgelerinden olan Aksaray, Malatya, Mersin, Mardin, İstanbul, Samsun ve Aydın illeri için enerji, maliyet ve CO₂ salınımı analizleri yapılması, en fazla enerji tüketimi, toplam ve yaşam döngüsü maliyeti oluşan Aksaray ili için 233 alternatifin detaylı incelenmesi; çatılar, duvarlar, bina dönme açıları, ısıtma-soğutma ve havalandırma sistemleri, aydınlatma etkinliği, hava sızma oranları, fiş yükleri, bina yönlerine bağlı pencere/duvar oranları, cam çeşitleri ve işletme zamanlarına bağlı olarak ortaya çıkan metrekare başına düşen yıllık enerji tüketimleri, karbondioksit salınım miktarları, yakıt ve elektrik tüketimine bağlı toplam maliyetler ile otuz yıllık dönemde oluşabilecek yaşam döngüsü maliyetlerinin bulunması.

4. Alternatifler arasından maksimum ve minimum enerji tüketimi, toplam maliyet, karbondioksit salınımı ve yaşam döngüsü maliyetine yol açanları tespit ederek en uygun olan çözümlerin belirlenmesi.

5. Seçeneklerin oluşturulması aşamasında bina yapı bileşenleri çatı, duvar, tavan, zemin, döşeme, kapı ve pencere için Revit kütüphanesinde bulunan her bir bina yapı bileşeni için ısı geçirgenlik katsayısı ve pencere güneş ısı kazanım katsayısının seçilmesi işlemi gerçekleştirilir. Revit kütüphanesinde her bir yapı bileşeni için değerler binalar ve mekanlar için mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat anlamına gelen 'MEP Constructions for Buildings and Spaces'den

alınmaktadır. Her bir seçeneğin oluşturulmasında yapı bileşenlerinin ısı geçirgenlik katsayısı seçilir ve Green Building Studio (GBS) da enerji, maliyet ve CO₂ salınım analizi yapılır. Bu şekilde 110 kez GBS de analiz yapılarak veriler elde edilir.

6. Bu verilerden 77 tanesinin seçilen beş farklı algoritma ile eğitilmesi gerçekleştirilmiştir. Geriye kalan 33 veri test setini oluşturmuştur.

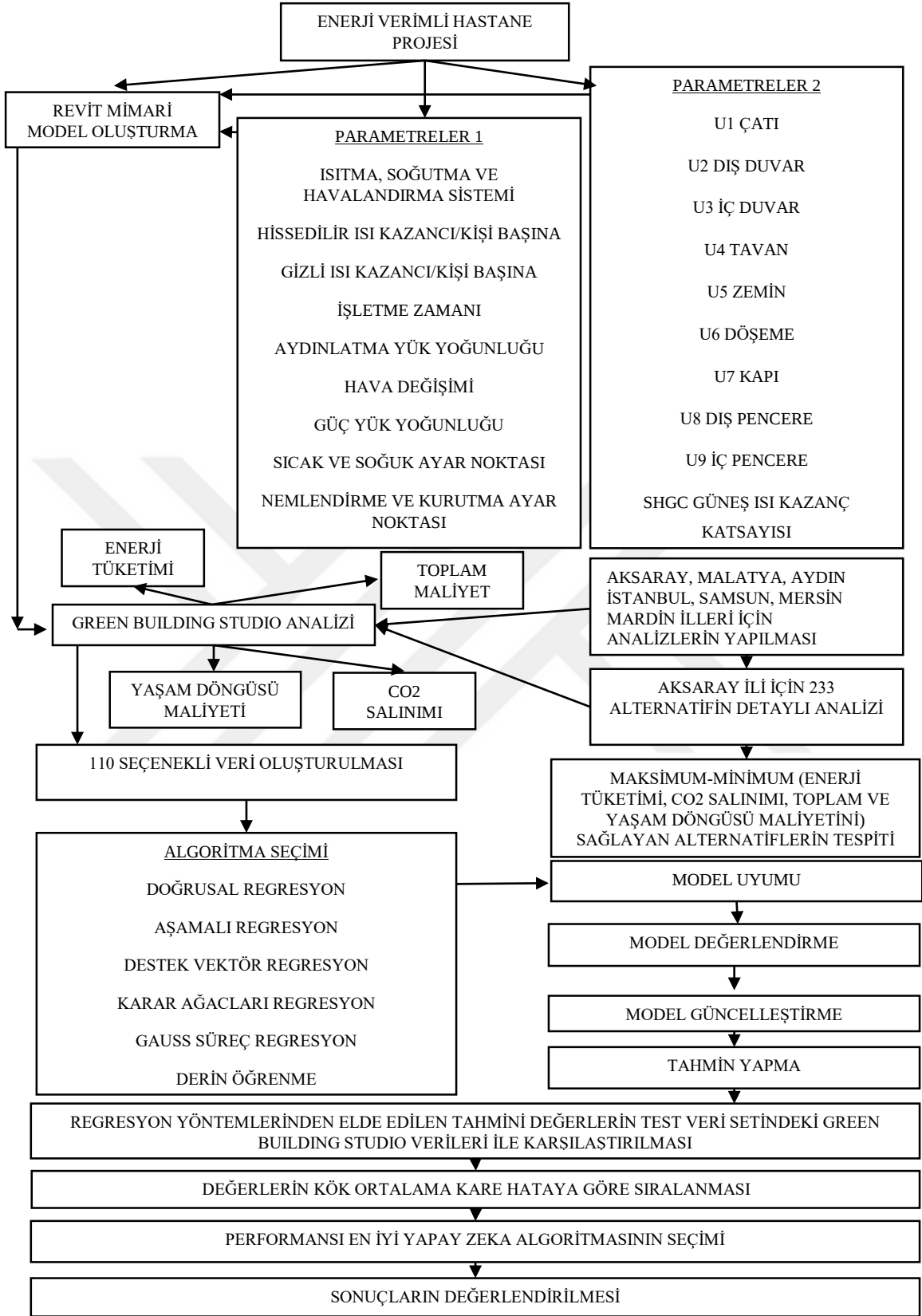
7. Eğitilen model tüm algoritmalarla 33 veri için tahminde bulunmuştur.

8. Test veri setindeki değerler ile yapay zeka algoritmalarının bulduğu değerler karşılaştırılmıştır.

9. Derin öğrenme modeli oluşturulmuştur.

10. Yapay Zeka algoritmalarının sıralanması, performans kriteri olan kök ortalama kare hata RMSE ye göre yapılmıştır.

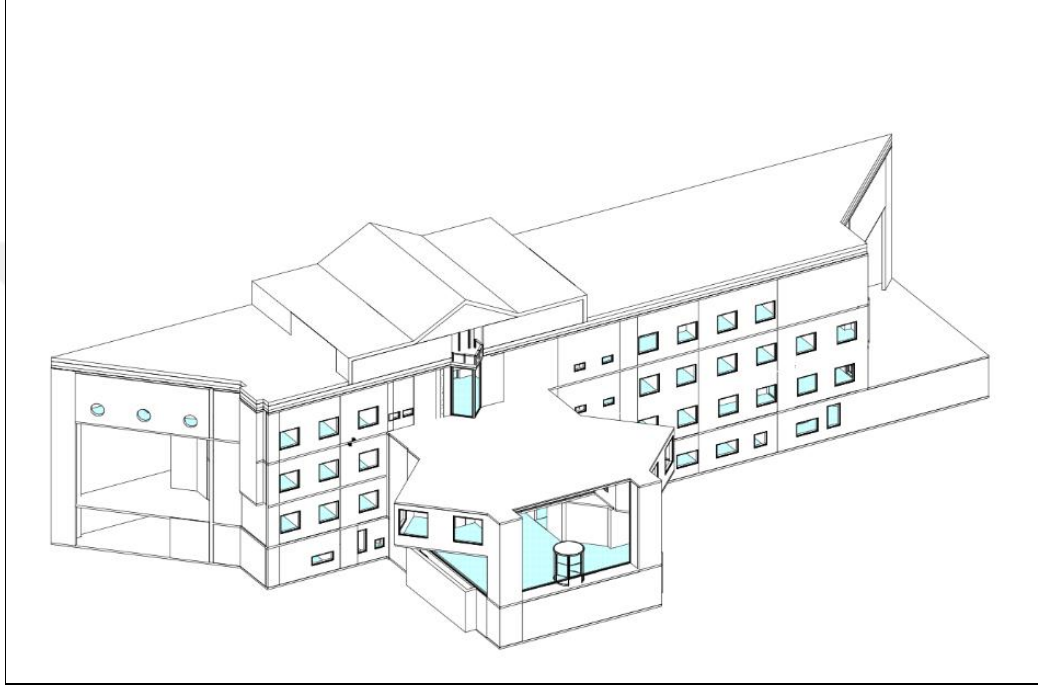
11. Sonuçların değerlendirilmesi.



Şekil 3.1: Enerji verimliliğinin araştırılması yönteminin şematik gösterimi.

3.1. REVİT MODEL İLE İLGİLİ BİLGİLER

Çalışma için seçilen özel hastane projesi Şekil 3.2’de verilen Bodrum, Zemin, iki Normal kat ve Çatı katı olmak üzere toplam 5 kattan oluşmaktadır. Odaların toplam alanı 4.092 metrekaredir. Ana giriş kapısı güney cephesindedir ve binanın uzun tarafı doğu-batı yönünde uzanmaktadır, arka tarafı ise kuzey cephesini oluşturmaktadır.



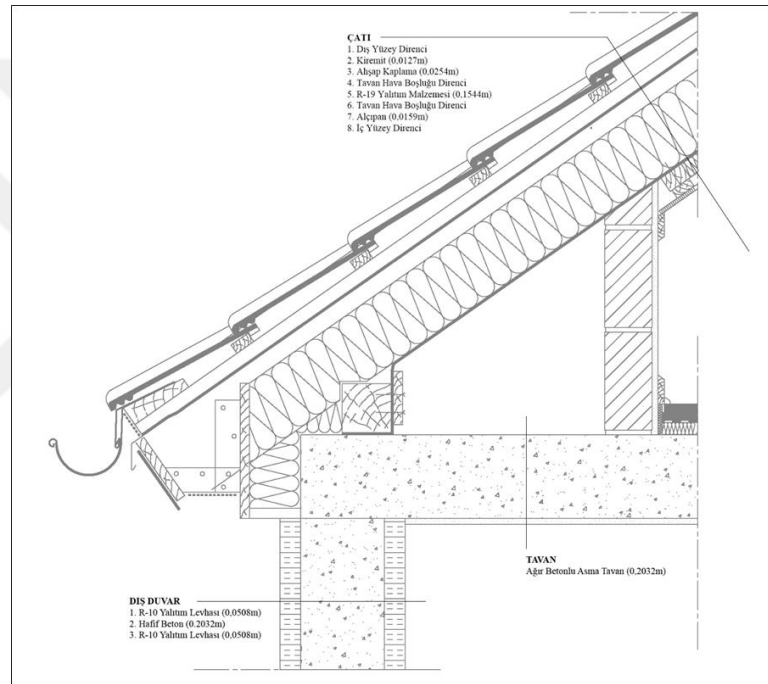
Şekil 3.2: Özel hastane binası güney cephe bina girişi (Autodesk Revit,2022).

Duvarların alanı Tablo 3.1’de kuzey cephesinde 636,24 m², doğu cephesinde 321,04 m², güneyde 705,74 m² ve batı cephesinde 334,82 m² olduğu görülmektedir. Pencere alanları ise kuzey, doğu, güney ve batı cephelerinde sırasıyla, 170,52 m², 42,23 m², 173,71 m² ve 22,58 m² gelmektedir. Pencere/duvar oranları kuzey cephesinde %26,8, doğu cephesinde %13,15, güneyde %24,61 ve batı cephesinde %6,74 olmaktadır. Aksaray bölgesinde hakim rüzgar yönü mayıs ayının başından ekim ayı ortasına kadar 5,5 ay kuzey yönünde, diğer zamanlarda 6,5 ay boyunca ise güney yönünde esmektedir.

Tablo 3.1: Yönlere göre duvar ve pencere alanları (Autodesk Revit,2022).

	KUZEY	DOĞU	GÜNEY	BATI
DUVAR ALANLARI (M2)	636,24	321,04	705,74	334,82
PENCERE ALANLARI (M2)	170,52	42,23	173,71	22,58
PENCERE/DUVAR ORANI (%)	26,80	13,15	24,61	6,74

Modelde Şekil 3.3’de detayı görülen tavan kısmı için U değeri $1,2327 \text{ W/m}^2.\text{K}$ olan 20 cm kalınlığında ağır betonla birlikte asma tavan tasarlanmıştır. Dış duvarlarda U değeri $0,49 \text{ W/m}^2.\text{K}$ olan iki tarafında 5 cm R10 yalıtım malzemesi olan 20 cm hafif beton bloktan oluşmaktadır. Zemin kaplaması ahşap kaplama, altında 5 cm sap ve 20 cm hafif beton blok ve U değeri $1,77 \text{ W/m}^2.\text{K}$ olmaktadır. İç duvarlarda U değeri $1,6896 \text{ W/m}^2.\text{K}$ olan iki tarafında 1,3 cm sıva olan 10,1 cm kalınlığında tuğla duvardan oluşturulmuştur. Kapılarda U değeri $2,9639 \text{ W/m}^2.\text{K}$ olan çift camlı Fransız kapısı kullanılmıştır. Çatıda ise U değeri $0,239 \text{ W/m}^2.\text{K}$ olan en dışta 1,27 cm kiremit katmanı ile 2,5 cm ahşap 15,5 cm R-19 yalıtım malzemesi ve 1,6 cm alçıpandan oluşmaktadır. Pencerelelerde ise U değeri $2,2687 \text{ W/m}^2.\text{K}$ olan çift cam kullanılmıştır.



Şekil 3.3: Yapı bileşenlerinden çatı, tavan ve dış duvar detayı gösterimi.

Aksaray ilinde olması tasarlanan modelin; çatı, dış ve iç duvarlar, tavan, zemin kaplaması, döşeme, kapılar, dış ve iç pencereler için kullanılan revit kütüphanesindeki değerleri Tablo 3.2 ‘de görülmektedir.

Tablo 3.2: Modelde kullanılan malzemelerin fiziksel özellikteki değerleri (MEP Constructions for Buildings and Spaces).

	TANIM	R DEĞERİ (m ² .K/W)	KALINLIK (m)	İLETKENLİK (W/mK)	YOĞUNLUK (kg/m ³)	ÖZ ISI (J/kgK)	U DEĞERİ (W/m ² .K)
ÇATI	1.DIŞ YÜZEY DİRENCİ	0,04					0,239
	2.ARDUAZ VEYA KİREMİT		0,0127	1,59	1.920	1.260	
	3.AHŞAP KAPLAMA		0,0254	0,15	608	1.630	
	4.TAVAN HAVA BOŞLUĞU DİRENCİ	0,18					
	5.R-19 YALITIM MALZEMESİ		0,1544	0,05	19	960	
	6.TAVAN HAVA BOŞLUĞU DİRENCİ	0,18					
	7.ALÇIPAN		0,0159	0,16	800	1.090	
	8.İÇ YÜZEY DİRENCİ	0,16	-	-	-	-	
DIŞ DUVAR	1.R-10 YALITIM LEVHASI	-	0,0508	0,03	43	1.210	0,49
	2.HAFİF BETON		0,2032	0,53	1.280	840	
	3.R10 YALITIM LEVHASI		0,0508	0,03	43	1.210	
İÇ DUVAR	1.HAFİF SIVA	-	0,013	0,16	600	1.000	1,6896
	2.TUĞLA	0,07747	0,10	0,101585	2.082,60	921,096	
	3.HAFİF SIVA	-	0,013	0,16	600	1.000	
TAVAN	AĞIR BETONLU ASMA TAVAN	-	0,2032	1,95	2.240	900	1,2337
ZEMİN	1.ABS VİNİL KARO	0,00881					1,77
	2.ŞAP		0,05	0,41	1.200	840	
	3.HAFİF BETON BLOK		0,1524	0,49	512	880	
DÖŞEME	1.HALI KAPLAMA		0,0127	0,06	288	1.380	0,4063
	2.BETONARME DÖŞEME		0,20	1,90	2.300	840	
KAPI	1.KONTRPLAK		0,0159	0,12	544	1.210	2,9639
	2.CAM		0,0064	0,99	2.528	880	
DIŞ PENCERE	ÇİFT CAM	GÜNEŞ ISI KAZANIM KATSAYISI: 0,76					2,2687
İÇ PENCERE	ÇİFT CAM	GÜNEŞ ISI KAZANIM KATSAYISI: 0,76					2,2687

Binaların enerji performansını hesap etmek için yararlanılan standartlardan biri Amerikan standardı olan ASHRAE 90.1'dir. Özellikle ticari binaların ve konutların mimari ve mekanik sistemleri için standart olması açısından önemlidir. Henüz Türkiye'de iklim bölgeleri dikkate alınarak ticari binalar ve konutları temsil eden referans binaların geliştirilmiş ulusal bir standardı olmaması nedeniyle uluslararası standartlardan yararlanılmaktadır. Standartta binanın

aydınlatma ve ekipman güçleri, ısıtma soğutma ve havalandırma (HVAC) sistemlerinin boyutlandırılması, bina kabuğuna ait termofiziksel özellikler, sıcak su ve sistem verimlilikleri üzerinde durulmaktadır. Amaçlanan bu standartla referans binalar oluşturmak ve referans binalardaki parametrelerden daha verimli parametreler kullanılarak enerji verimli binaların tasarlanmasıdır (Akguc, 2018)

ASHRAE standardında Tablo 3.3’de verilen 4B iklim bölgesinde bulunan Aksaray ili için enerji analizi öncesi modelde hastane için belirlenen kriterlerden ilki kişi başına 10 m² esas alınması, hissedilir ısı kazancı kişi başına 73,27 W ve gizli ısı kazancı 58,61 W, Aydınlatma yük yoğunluğu 12,92 W/m² ve güç yük yoğunluğu ise 17,22 W/m² alınmaktadır. Hava sızması saatte 0,694944 m³/h.m² belirlenmiştir. Aydınlatma ve güç kullanımı için sabah saat 06.00 ile gece 11.00 arasında olduğu kabul edilmiştir. Hava değişimi saatte iki defa olmaktadır. Odalarda sıcaklık ayar noktası 21,11°C, soğukluk ayar noktası 23,89°C alınmaktadır, boş odada ise 27,78 °C dir. Nem ayar noktası %0 ve kurutma ayar noktası %70 olarak verilmiştir. Bina 24/7 saat işletilmektedir, ısıtma- soğutma ve havalandırma sistemi olarak merkezi değişken hava debili, 5,96 cop performanslı soğutucu ve %84,5 verimli kazan kullanılmıştır. Elektrik tüketimi birim maliyeti 0,14 \$/kWh ve yakıt birim maliyeti 0,01 \$/MJ olarak alınmıştır.

Tablo 3.3: Revit mimari modelde enerji analizi için kullanılan parametreler (Autodesk Revit,2022).

PARAMETRELER	
ALAN / KİŞİ BAŞINA (M2)	10
HİSSEDİLİR ISI KAZANCI / KİŞİ BAŞINA (W)	73,27
GİZLİ ISI KAZANCI (W)	58,61
AYDINLATMA YÜK YOĞUNLUĞU (W/M2)	12,92
GÜÇ YÜK YOĞUNLUĞU (W/M2)	17,22
HAVA SIZMASI (M3/SAAT.M2)	0,694944
HAVA DEĞİŞİMİ / SAAT	2
ISITMA AYAR NOKTASI (DERECE)	21,11
SOĞUTMA AYAR NOKTASI (DERECE)	23,89
BOŞ (KULLANILMAYAN ODA) SOĞUTMA AYAR NOKTASI (DERECE)	27,78
NEMLENDİRME AYAR NOKTASI (%)	0
KURUTMA AYAR NOKTASI (%)	70
İŞLETME ZAMANI	24/7
ISITMA SİSTEMİ	MERKEZİ DEĞİŞKEN HAVA DEBİLİ 5,96 COP PERFORMANSLI SOĞUTUCU VE %84,5 VERİMLİ KAZAN

Revit model bu bilgiler doğrultusunda green building studio (GBS)'ya analiz için gönderilmiştir. Autodesk Green Building Studio, web tabanlı bir enerji analiz servsidir. Mimarların ve diğer tasarımcıların, tasarımın erken aşamalarında enerji verimliliğini optimize etmelerine, tüm bina performans analizi ile karbon nötr binalar üretmelerine yardımcı olmaktadır. Aksaray ili için hava şartları 2006 yılındaki saatlik bazda sıcaklık, nem oranı, direkt, yaygın ve toplam ışıınım miktarları (Wh/m²), rüzgâr hızları (m/s) sistemde kullanılmıştır.

3.2. GREEN BUILDING STUDIO İLE İLGİLİ BİLGİLER

Tablo 3.4: Aksaray ili 2006 yılı meteoroloji verilerine göre ısıtma ve soğutma gün sayıları (Green Building Studio,2022).

SOĞUTMA GÜN SAYILARI		ISITMA GÜN SAYILARI	
EŞİK (DERECE)	DEĞER	EŞİK (DERECE)	DEĞER
18,3	622	18,3	2473
21,1	325	15,6	1864
23,9	118	12,8	1354
26,7	26	10	936

Tablo 3.4’de verilen ısıtma derece gün sayıları bulunurken o gün içindeki en yüksek ve en düşük sıcaklık toplanarak ikiye bölünür ve eşik sıcaklıktan çıkarılarak bulunur, bu işlem bir yıl içerisindeki tüm günler için uygulanarak toplam sayı bulunur. Eşik sıcaklık 18°C ve gün içerisindeki en yüksek ve düşük sıcaklıklar 15 °C ve 5 °C olursa ortalama sıcaklık 10°C olacak ve 18-10=8 ısıtma derece gün sayısı olacaktır. 18 °C ve üstündeki sıcaklıklar için ısıtma derece gün sayısı sıfır olacaktır. Soğutma derece gün sayılarında eşik sıcaklığı 26 °C alırsak ve gün içerisindeki en yüksek ve en düşük sıcaklıklar 38 °C ve 20 °C olursa ortalama sıcaklık 29 °C olacak ve 29-26=3 soğutma derece gün sayısı olacaktır. 26 °C ve altındaki sıcaklıklarda soğutma derece gün sayıları sıfır olacaktır.

Avrupa Birliği İstatistik Ofisi (Eurostat) tarafından ısıtma derece gün sayısı (HDD) ve soğutma derece gün sayısı (CDD) için önerilen denklemler;

$$HDD (T_h) = \sum_1^n (T_h - T_o) \quad (\text{sadece } T_h > T_o \text{ olan günler hesaplanır}) \quad (3.1)$$

$$CDD (T_c) = \sum_1^n (T_o - T_c) \quad (\text{sadece } T_o > T_c \text{ olan günler hesaplanır}) \quad (3.2)$$

Denklemlerde T_o günlük ortalama dış hava sıcaklığıdır. T_h ve T_c sırasıyla ısıtma ve soğutma dönemi için belirlenmiş denge sıcaklığıdır.

Binanın yıl boyunca sabit konfor sıcaklığında tutulabilmesi için kWh cinsinden birim yüzeye gerekli enerji;

$$q = 0.024 * U * DD \quad (3.3)$$

Denklemden U = Isı geçirgenlik katsayısını (W/m^2K), DD =Derece gün sayılarını ($^{\circ}C.gün$) ifade etmektedir. Formülde kWh birimine dönüştürmek için U ($W/m^2.K$) 1000’e bölünür ve DD ($^{\circ}C.gün$) ise saate ($^{\circ}C.24$) dönüştürülerek çarpılır.

$$q_c = 0.024 * U_c * CDD(T_c) \quad (3.4)$$

$$q_h = 0.024 \cdot U_h \cdot HDD(T_h) \quad (3.5)$$

Bina dış kabuğu elemanlarına ait U değerleri alınırken CDD veya HDD den hangisi büyükse ona göre işlem yapılır. Örneğin $CDD > HDD$ ise $U = U_c$ ile yalıtım kalınlığının belirlenmesi demektir. U değeri bir tasarım değeri olup ısıtma ve soğutma döneminde sabit kalmaktadır. TS 825 standardında qc değerleri dikkate alınmadan qh değerlerine göre, U değerlerine ($U = U_h$) sınırlama getirilmiştir.

TS 825'e göre yapı bileşenin ısı kaybı, iç ortam sıcaklığından Θ_i dış ortam sıcaklığının Θ_e çıkarılması ve bulunan değerin yapı bileşenin toplam ısıl geçirgenlik katsayısı $W/m^2.K$ ile çarpılması sonucu ısı akış yoğunluğu q W/m^2 elde edilir.

$$q = U(\Theta_i - \Theta_e) \quad (3.6)$$

Burada U ısıl geçirgenlik katsayısını $W/m^2.K$ ifade etmekte ve birin toplam ısıl geçirgenlik direncine bölünmesiyle $U = 1/R_i + R + R_e$ elde edilir.

İç yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direncini R_i , dış yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direncini R_e $m^2.K/W$ ifade eder. ısıl geçirgenlik direnci R, yapı bileşenin tabaka kalınlığı d'nin ısıl iletkenlik hesap değerine λ_h $W/m.K$ bölünmesiyle elde edilir.

Tablo 3.5: Dış duvarın tabaka kalınlıkları ve ısıl iletkenlik hesap değerleri (MEP Constructions for Buildings and Spaces).

Isıl Geçirgenlik Katsayısı Hesabı (U2)		Kalınlık (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m.K)
DIŞ DUVAR	1.R-10 YALITIM LEVHASI	0,0508	0,03
	2.HAFİF BETON	0,2032	0,53
	3.R10 YALITIM LEVHASI	0,0508	0,03

Hastane bina projesinde kullanılan ısıl geçirgenlik katsayısı TS 825'e göre hesaplanırsa;

Dış duvar için dış yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direncini $R_e = 0,04$, iç yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direncini $R_i = 0,13$, R10 yalıtım levhası için $d/\lambda_h = 0,0508/0,03 = 1,693$, hafif beton için $0,2032/0,53 = 0,383$ $m^2.K/W$ hesaplanır.

$$R_{toplam} = 0,04 + 0,13 + 1,693 + 0,383 + 1,693 = 3,939 \text{ } m^2.K/W \text{ bulunur.}$$

$$U2 = 1/ R_{toplam} = 1/3,939 = 0,254 \text{ } W/m^2.K \text{ bulunur.}$$

TS 825'e göre yapılan enerji hesaplarında soğutma yükleri dikkate alınmadan yapılmaktadır. Bu hesaplamalarda ilk önce aylık ısıtma enerji ihtiyacı bulunmaktadır.

$$Q_{ay}=[H(\Theta_i-\Theta_e)-\eta_{ay}(\phi_{i,ay}-\Phi_{s,ay})].t \quad (3.7)$$

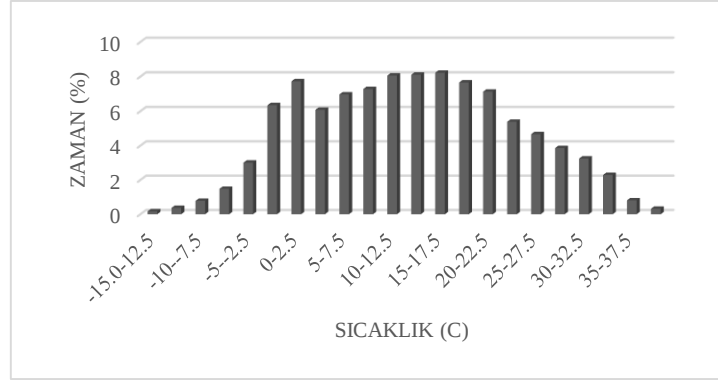
Denklemden kullanılan aylık ortalama iç sıcaklık değerleri Θ_i binaların kullanım amacına göre, örneğin TS 825 yönetmeliği tablosunda hastaneler için 22° C verilmektedir. Aylık ortalama dış sıcaklık değerleri Θ_e , TS 825 tablosunda Türkiye'de 4 bölge ve her ay için verilmektedir. H binanın özgül ısı kaybı W/K olup, iletim ve taşınım yoluyla ısı kaybının havalandırma yoluyla kaybolan ısıнын toplanmasından bulunur. Burada aylık ortalama iç kazançlar $\phi_{i,ay}$ insanlardan kaynaklanan metabolik ısı kazançları, aydınlatma, sıcak su sistemi, yemek pişirme, elektrikli cihazlar vb. elde edilen kazançları ifade etmekte, $\Phi_{s,ay}$ ise güneş enerjisi kazançlarıdır. Aylık ortalama iç kazançlardan güneş enerjisi kazançları çıkartıldıktan sonra η_{ay} ortalama aylık kazanç kullanım faktörüyle çarpılır. Bulunan değer binanın özgül ısı kaybından çıkarılır ve aylık saniye olarak hesaplanan t değeri, örneğin bir gün için 60*60*24 86400 saniye eder, ayda bulunan gün sayısı ile çarpılmasıyla aylık ısıtma enerji ihtiyacı bulunur. Daha sonra her ay için bu şekilde hesaplanan değerler toplanır ve yıllık ısıtma enerji ihtiyacı bulunmuş olur.

Nem ve radyasyon gibi etkenlerin dikkate alınmadan havanın ölçüldüğü sıcaklığa kuru termometre sıcaklığı denir. Bu sıcaklığa nem dahil edilirse yaş termometre sıcaklığı oluşur.

Tablo 3.6: Aksaray ili 2006 yılı meteoroloji verilerine göre yıllık tasarım şartları (Green Building Studio,2022).

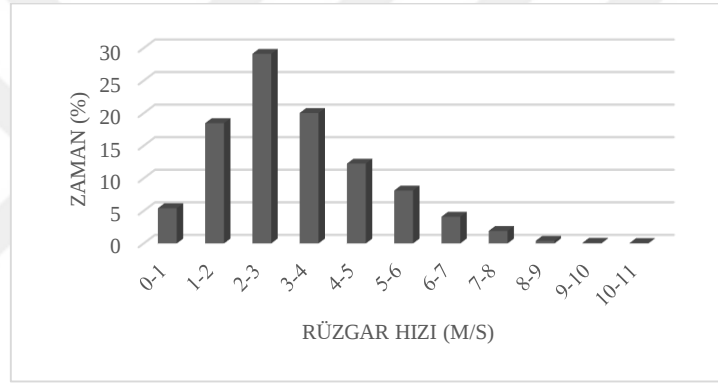
EŞİK (%)	SOĞUTMA		ISITMA	
	KURU TERMOMETRE	YAŞ TERMOMETRE	KURU TERMOMETRE	YAŞ TERMOMETRE
0,1	38,8	18,1	-13,4	-13,9
0,2	38,1	17,7	-12,4	-12,9
0,4	37	18,3	-10,7	-11,1
0,5	36,7	18,0	-10,2	-10,8
1	35,3	17,6	-8,2	-9,1
2	33,7	17,3	-6,4	-7,7
2,5	33,3	17,2	-5,4	-6,7
5	31,2	16,2	-3,1	-4,7

Tablo 3.6'da verilen model tasarım şartlarında yıl boyunca soğutma durumunda dikkate alınacak olan kuru termometre sıcaklığı 38,8°C'yi ve ortalama rastlantısal yaş termometre sıcaklığı 18,1°C'yi zamanın % 0,1'inde geçmiştir. Isıtma için ise zamanın %0,1 inde kuru termometre sıcaklığı -13,4 °C'yi ve ortalama rastlantısal yaş termometre sıcaklığı -13,9 °C'yi geçmiştir.



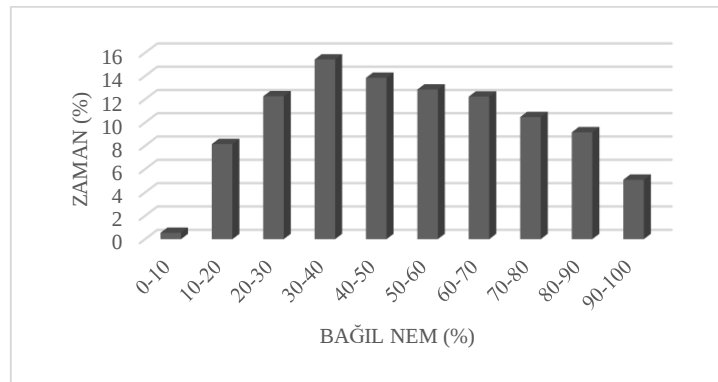
Şekil 3.4: Aksaray ili 2006 yılı meteoroloji verilerine göre kuru termometre sıcaklığı frekans dağılımı (Green Building Studio,2022).

Şekil 3.4’de yıllık bazda kuru termometre sıcaklığının zamana bağlı frekans dağılımı görülmektedir. Zamanın %8,22 sinde 15 °C ile 17,5 °C arasında sıcaklık olmaktadır.



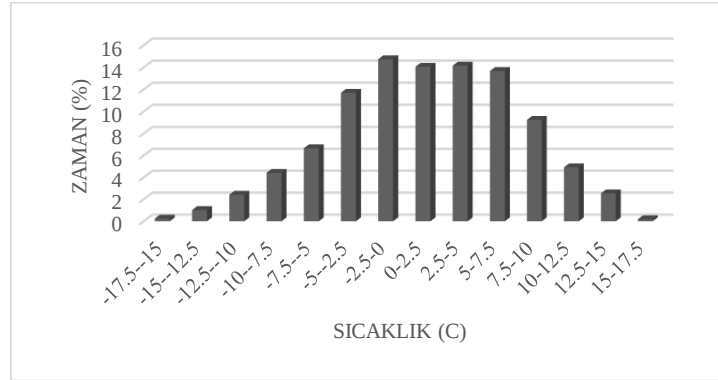
Şekil 3.5: Aksaray ili 2006 yılı meteoroloji verilerine göre rüzgâr hızı frekans dağılımı (Green Building Studio,2022).

Şekil 3.5’de Rüzgâr hızının yıllık bazda zamana bağlı frekans dağılımı görülmektedir. Zamanın %29,12 sinde rüzgâr hızı 2 m/s ile 3 m/s arasında olmaktadır.



Şekil 3.6: Aksaray ili 2006 yılı meteoroloji verilerine göre bağıl nem frekans dağılımı (Green Building Studio,2022).

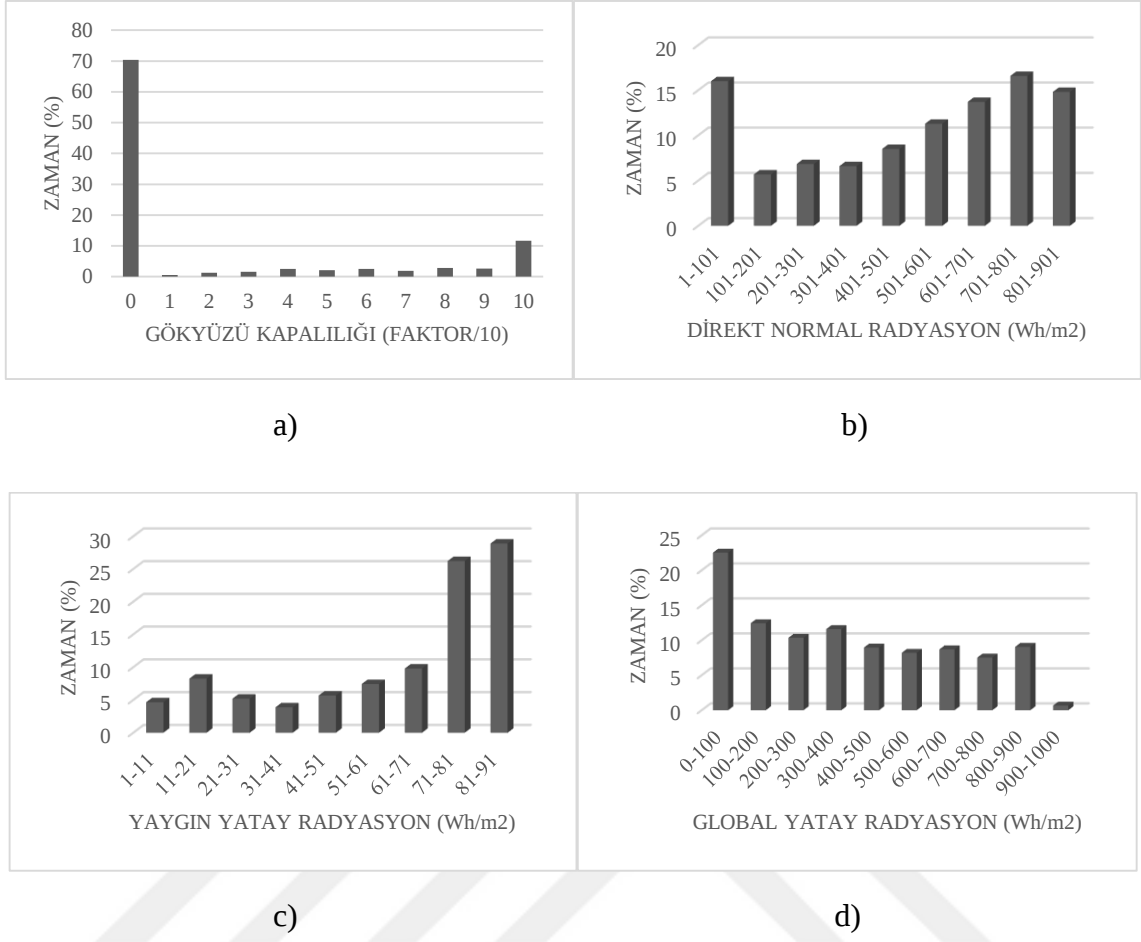
Şekil 3.6'da Bağıl nemin dağılımında zamanın %15,2 sinde %30-%40 arasında bağıl nem gerçekleşmektedir.



Şekil 3.7: Aksaray ili 2006 yılı meteoroloji verilerine göre çiğlenme frekans dağılımı (Green Building Studio,2022).

Şekil 3.7'de Çiğlenme noktası havadaki nemi ifade etmek için kullanılan bir ölçüdür. Suyun buhar halinde iken tekrar sıvı haline dönüştüğü (çiğlendiği) sıcaklık derecesi çiy noktası derecesidir. Zamanın %9,24 ünde çiy noktası sıcaklığı 7,5 °C ile 10 °C arasında olmaktadır.

Şekil 3.8'de Gökyüzünün tamamen kapalı olması on ile açık olmasında sıfır değerinde olduğunu gösterir. Şekilde görüldüğü üzere havanın tamamen kapalı olduğu durum zamanın %11,63 inde, tamamen açık olması ise %70,40 olarak gerçekleşmektedir. Doğrudan radyasyon bazen "ışın radyasyonu" veya "doğrudan ışın radyasyonu" olarak da adlandırılır. Güneşten yeryüzüne doğru düz bir çizgide hareket eden güneş radyasyonunu tanımlamak için kullanılır. "Yaygın radyasyon" ise atmosferdeki moleküller ve parçacıklar tarafından saçılan ancak yine de yeryüzüne inen güneş ışığını tanımlar. Yaygın radyasyonla birlikte direkt radyasyon global radyasyonu oluşturur.



Şekil 3.8: Aksaray ili 2006 yılı meteoroloji verilerine göre a) gökyüzünün kapalılığının b) direkt normal radyasyonun c) yaygın yatay radyasyonun d) global yatay radyasyonun frekans dağılımı (Green Building Studio, 2022).

Yukarıda anlatılan hava durumu parametreleri GBS’de Aksaray modeli için kullanılmıştır. Model bina uzunlamasına batı-doğu yönündedir. Ön cephesi güney ve arka cephe kuzey yönündedir. Bina açıları saat yönünde dönmektedir. Döndürme açıları sırasıyla 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° ve 315° derecedir. Pencere/ duvar oranları %0, %30, %65 ve %95 olması ve Tablo 3.6’da verilen değişik camların kullanılmasına göre her bir cepheye uygulanmıştır. Hava sızmasının saat başına 0,17, 0,4, 0,8, 1,2, 1,6 ve 2 ach olmasına göre durumlar incelenmiştir. Aydınlatma etkinliğinin 3,23, 7,53, 11,84, 16,14 ve 20,45 W/m² olması durumları ele alınmıştır. Fiş yüklerinin 6,45, 10,76, 13,99, 17,22, 21,52 ve 27,98 W/m² seçenekleri ile işletme zamanlarının 12/5, 12/6, 12/7 olması halinde enerji tüketimleri, toplam maliyetler, CO₂ salınımları ve yaşam döngüsü maliyetleri araştırılmıştır.

Tablo 3.7: Cam tipleri (Green Building Studio,2022).

ADI	CAM TİPİ	ISI GEÇİRGENLİK KATSAYISI (U) (W/m ² K)	GÜNEŞ ISI KAZANIM KATSAYISI (SHGC)
SGL CLR	6MM ŞEFFAF TEK CAM	6,17	0,81
DBL CLR	ŞEFFAF ÇİFT CAM 6/13 MM HAVA TABAKALI	2,74	0,7
DBL LOW-E	DÜŞÜK EMİSYONLU ÇİFT CAM	1,99	0,73
TRP LOW-E	DÜŞÜK EMİSYONLU ÜÇLÜ CAM	1,55	0,47

Tablo 3.7’de gösterilen Low-E camlar düşük salınlı camlar olup cam yüzeyinin ısıyı yansıtılma özelliğini ifade etmektedir. Low-E cam kullanımı kış aylarında içeride oluşan ısınn pencereden tekrar içeriye yansıtılmasını yaz aylarında ise güneşten gelen kızılötesi ısı yayımının dışarıda kalarak iç mekânın serin kalmasını sağlayarak pencerelerin verimini önemli ölçüde artırmaktadır.

Türkiye’nin yedi coğrafi bölgesinden hava koşulları farklı olan Mersin, İstanbul, Mardin, Malatya, Samsun ve Aydın illeri için analiz yapılmıştır. Bu veriler ışığında en çok enerji tüketiminin, yaşam döngüsü ve toplam maliyetin Aksaray ilinde gerçekleşmesi dolayısıyla enerji, maliyet ve CO₂ salınımını düşürecek 233 farklı alternatif Green Building Studio da analiz edilmiştir. Ayrıca makine öğrenmesi sürecinde eğitim ve test veri setini oluşturmak için EK 3’de gösterilen revit mimari çizim programı kütüphanesinde bulunan çatı, dış duvar, iç duvar, zemin, döşeme, kapı, dış ve iç pencerelerin farklı ısıl geçirgenlik katsayısı U değerleri ile güneş ısı kazanım katsayıları SHGC farklı 110 seçenek oluşturulmuştur. Tablo 3.8’de on tanesi görülmektedir.

Tablo 3.8: Yapı bileşenleri ısıl geçirgenlik katsayıları U ve güneş ısı kazanım katsayıları SHGC’e göre seçenekler ve sonuçları (Green Building Studio,2022).

SEÇENEK	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	SHGC	E	M	K	YD
	W/m ² .K	W/m ² .K	W/m ² .K	W/m ² .K	W/m ² .K	W/m ² .K	W/m ² .K	W/m ² .K	W/m ² .K	-	MJ/m ² /yıl	\$	Ton	\$
S1	0,2497	0,3495	1,6896	1,361	1,2908	0,2499	2,1944	3,6886	3,6886	0,86	1.611	153.955	78,8	2.096.870
S2	0,1589	0,2993	1,0625	3,6842	1,8135	0,4063	3,7021	3,6898	3,6898	0,86	1.637	156.333	80,3	2.129.253
S3	0,2487	0,3967	2,0668	2,2826	0,85	0,4063	2,3256	3,6911	3,6911	0,81	1.633,8	156.457	79,3	2.130.945
S4	3,3775	0,4396	1,6166	2,9167	0,929	0,3857	2,5572	3,6912	3,6912	0,81	1.615	156.291	76,7	2.128.681
S5	1,5583	0,4493	1,0539	2,4275	1,88	0,4082	3,1796	2,4887	2,4887	0,76	1.621	155.035	78,8	2.111.579
S6	0,1769	0,4522	1,3289	3,4146	0,3596	0,7059	1,8737	2,1354	2,1354	0,7	1.688,3	160.077	83,4	2.180.254
S7	0,4694	0,3967	1,1905	2,4108	4,3599	0,6278	2,0441	2,2687	2,2687	0,76	1.957,2	180.901	102	2.463.871
S8	0,5343	0,5779	1,9709	1,6229	3,8651	0,2756	2,6119	1,7356	1,7356	0,65	1.703,6	162.398	83,4	2.211.859
S9	0,3275	0,5445	1,4433	0,8226	3,7475	0,27	1,6466	3,6898	3,6898	0,86	1.776,1	168.789	87,5	2.298.911
S10	0,1846	1,9487	1,108	2,4138	3,15	0,15	1,817	2,313	2,313	0,76	1.675,5	159.891	81,9	2.177.713

Analiz sonucu elde edilen veriler eğitim ve test veri seti olarak algoritmalarda kullanılmıştır. Eğitim veri seti için %70 oranına karşılık gelen 77 veri ve test veri seti için % 30 oranına karşılık gelen 33 veri toplamda 110 veri Matlab programına aktarılmıştır. Matlab programında oluşturulan kodla birlikte rastgele seçilen %70 oranına karşılık gelen eğitim ve % 30 oranına karşılık gelen test veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setleri her bir algoritmada kullanılmış ve sonuçları performansları açısından karşılaştırılmıştır. En iyi sonuçları veren regresyon modelleri bulgular kısmında ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.3. YAPAY ZEKA MODELLERİ

Yapay zeka modelleri için sayısal hesaplama yazılımı ve programlama dili olan MATLAB R2020b versiyonu kullanılmıştır.

3.3.1. Gauss Süreç Regresyon (GSR)

Küçük veri kümeleri üzerinde iyi çalışan bayezien regresyon yaklaşımını kullanan ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde uygun bir yaklaşımdır (Liu ve diğ., 2019).

$$f(x) \sim GP(m(x), K(x, x')) \quad (3.8)$$

Gauss süreci olasılık üzerine fonksiyonlar tanımlar. Burada $m(x)$ ortalama, $K(x, x')$ kovaryans fonksiyonlarıdır.

$$m(x) = E(f(x)) \quad (3.9)$$

$$K(x, x') = E[(f(x) - m(x))(f(x') - m(x'))^T] \quad (3.10)$$

Matern 5/2, kare üstel, rasyonel kuadratik ve üstel model kovaryans fonksiyon seçenekleri vardır.

3.3.2. Destek Vektör Regresyon

Destek vektör makineleri (DVM), tüm veri madenciliği algoritmaları arasında en sağlam ve doğru yöntemlerden biri olarak kabul edilen bir veri madenciliği algoritmasıdır (Wu ve diğ., 2008). DVM'ler araştırma ve endüstride giderek daha fazla kullanılmaktadır. Küçük miktarlarda eğitim verisi ile bile doğrusal olmayan problemlerin çözümünde oldukça etkili modellerdir (Zhao ve diğ., 2012).

Regresyon için kullanılan DVM, bina enerji kullanımını tahmin etmek için önemli bir veriye dayalı yöntem ortaya çıkaran Destek Vektör Regresyonu (DVR) olarak bilinir (Wei ve diğ., 2018). Hem kabul edilebilir bir hata payı (ϵ) hem de kabul edilebilir hata oranının dışına çıkma toleransını ayarlayarak hatalara ne kadar tolerans gösterileceğini sağlayan güçlü bir algoritmadır.

3.3.3. Karar Ağacı Regresyon

Karar ağacı (KA), ağaç benzeri bir akış şeması kullanarak verileri gruplara ayırma tekniğidir. Bu anlamda bir KA modeli, bir kök düğüm ve birkaç dal düğümünden oluşan bir grafik olarak kendini gösterir. Bir KA, giriş verilerinin, bölme kriterleri olarak önceden tanımlanmış bazı tahmin değişkenlerine dayalı olarak farklı gruplara ayrıldığı kök düğümünden başlar. Bu bölünmüş veriler daha sonra kök düğümünden çıkan dallar olarak alt düğümlere dağıtılır. Alt düğümlerdeki veriler ya daha fazla bölünür ya da bölünmez. İlki, bir sonraki seviyede grafiksel olarak yayılan son-dallar olarak yeni alt gruplar oluşturmak için müteakip veri bölünmesinin yürütüldüğü dahili düğümlerdir. İkincisi, geçerli düzeyde karşılık gelen veri grubunu nihai çıktılar olarak ele alan yaprak düğümlerdir (Wei ve diğ., 2018).

3.3.4. Doğrusal Regresyon

Doğrusal regresyon, ilk olarak iki veya daha çok değişken arasındaki ilişkiyi, doğrusal bir fonksiyon ile göstermek için kullanılmaktadır. Bu fonksiyondaki değişkenlerin bir tanesi bağımlı, en az bir tanesi de bağımsız değişken olarak kullanılmaktadır. Doğrusal regresyonda değişkenlerden en az bir tanesi bilindiğinden dolayı, diğer değişkenler hakkında tahminler yapılabilir. Tek bağımsız değişkeni olan regresyon modeline, basit doğrusal regresyon modeli denilmektedir. Eğer birden çok bağımsız değişkeni bulunuyorsa buna da çoklu doğrusal regresyon modeli denilmektedir (Metlek ve Kayaalp, 2020).

Çoklu doğrusal regresyon modelinde, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi gösteren denklem;

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon_i \quad (3.11)$$

ϵ_i , i. tahmin için hata terimini, Y gerçek değeri ve Y_i ise, i. tahmin değerini ifade etmektedir.

$$\epsilon_i = Y - Y_i \quad (3.12)$$

3.3.3.5 Aşamalı Regresyon

Aşamalı regresyon, bir regresyon modelinin doğruluğunu artırmanın başka bir yoludur. Geriye doğru adım adım regresyon, parametreleri modelden elimine ederken, ileriye doğru adım adım regresyon, modele birer birer yeni etki parametreleri eklemeyi düşünür. Genel R^2 , modele her yeni bir değişken eklendiğinde veya modelden çıkarıldığında gözlemlenir; R^2 'yi artırmayan değişken ise modelden çıkarılmıştır. Kademeli regresyon, kalan hatanın bir kısmını açıklayan parametreleri azalan önem sırasına göre nicelleştirir (Yildiz ve diğ., 2017).

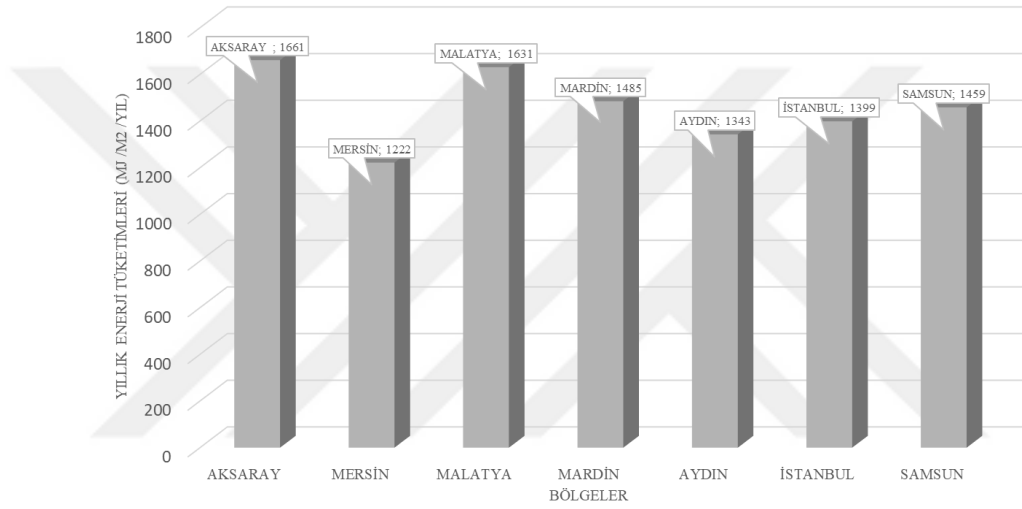
3.3.3.6. Derin Öğrenme

Son yıllarda, derin öğrenme yöntemleri, gelişmiş modelleme ve daha iyi tahmin performansı elde etmek için güçlü teknikler sağlamaktadır (Li ve diğ., 2017). Derin öğrenme yöntemi, derin mimarileri veya çok katmanlı mimarileri kullanır. Derin Sinir Ağları ile sığ sinir ağları arasındaki temel ayrım katman sayısıdır. Genel olarak, sığ sinir ağları, karmaşık işlevleri ifade etme yeteneğini sınırlayan yalnızca iki ila üç sinir ağı katmanına sahiptir (Lei ve diğ., 2021). Tersine, derin öğrenme, beş veya daha fazla sinir ağı katmanına sahiptir ve doğruluğu daha da artırabilen daha verimli algoritmalar sunar. Derin Sinir Ağları yöntemi, normal makine öğrenmesi sinir ağına çoklu gizli katmanların eklenmesi nedeniyle üstün bir makine öğrenmesi tekniği olarak kabul edilir ve diğerlerinin yanı sıra görüntü tanıma ve doğal dil işleme gibi çeşitli alanlarda artan ilgi görmüştür (Yu ve diğ., 2020).

4. BULGULAR

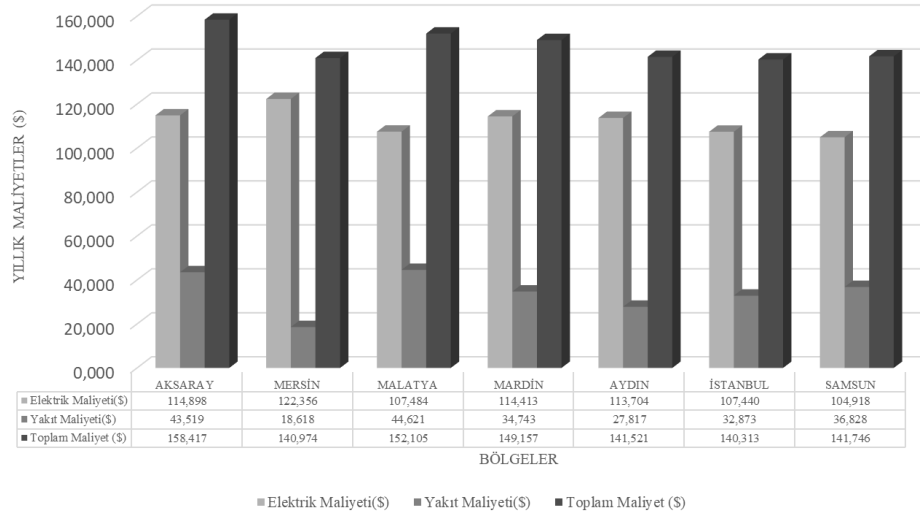
4.1. BÖLGELERE GÖRE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Türkiye'nin yedi farklı bölgesini temsil etmek üzere seçilen Aksaray, Malatya, İstanbul, Mardin, Samsun, Aydın, Mersin yedi il için yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.1'de verilmiş, aşağıda açıklanmıştır.



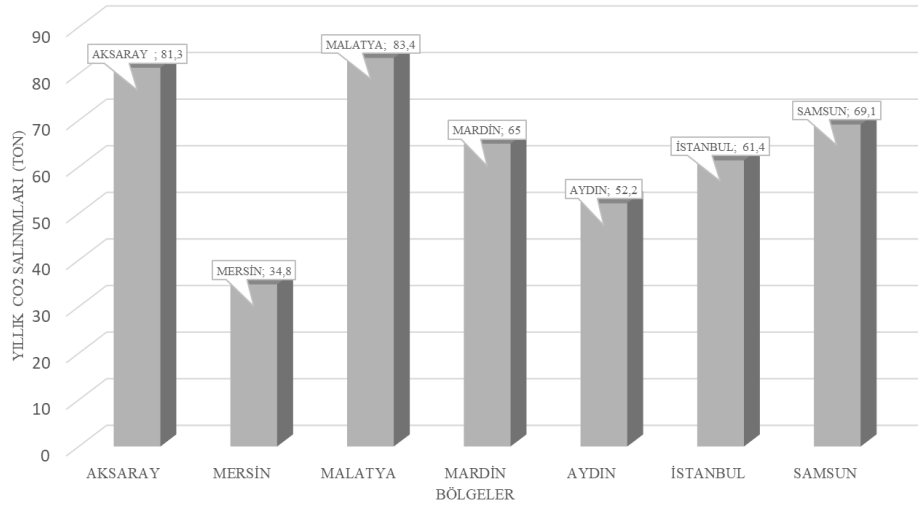
Şekil 4.1: Bölgelere göre yıllık enerji tüketimleri (Green Building Studio,2022).

İnceleme konusu hastane binasının bulunduğu Aksaray ili orta iklim kuşağında yer almaktadır. Bu bölgede, yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. En fazla enerji tüketimi, yılda 1.661 MJ/m^2 ile Aksaray ili için bulunmuş, onu 1.631 MJ/m^2 ile yazları sıcak ve kurak, kışları ise, çoğu kez yağışlı ve soğuk olan Malatya izlemiştir, sonrasında sırası ile karasal bir iklim bölgesinde yer alan yazlar kurak ve sıcak, kışlar soğuk ve yağışlı geçen Mardin ili 1.485 MJ/m^2 , sahil şeridinde yazlar sıcak, kışlar ılık ve yağışlı geçen ve iklim genellikle ılıman olan Samsun ili 1.459 MJ/m^2 , sonrasında Karadeniz ile Akdeniz arasında bir geçiş iklimi olan, Marmara Bölgesi'nin en çok yağış alan şehirlerinden ve yıl boyu en düşük sıcaklık -11 , en yüksek sıcaklık $+40$ derecelerde olan İstanbul ili 1.399 MJ/m^2 , bir sonraki ise yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçen Akdeniz iklimi olan Aydın ili 1.343 MJ/m^2 , ve en az enerji tüketimi ise yaz ayları sıcak ve aşırı nemli, kış ayları ise oldukça ılık ve yağışlı olan Mersin ili için 1.222 MJ/m^2 bulunmuştur.



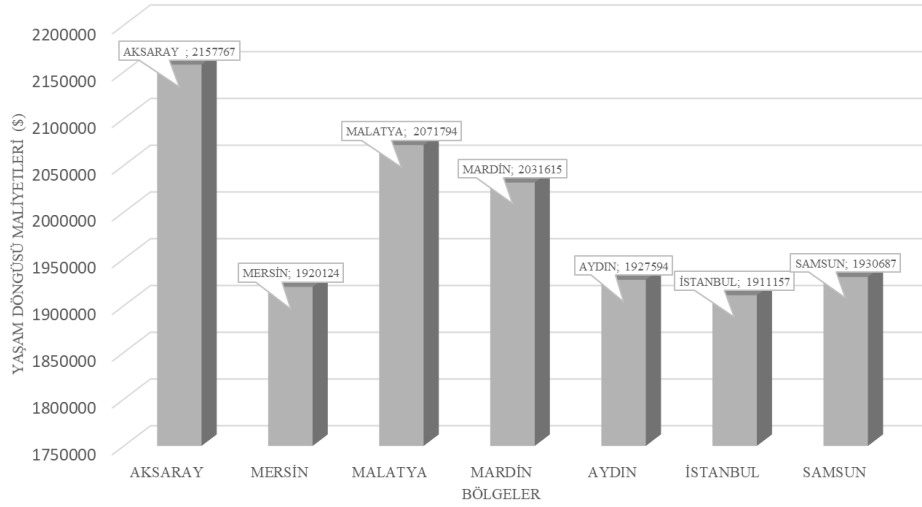
Şekil 4.2: Bölgelere göre yıllık maliyetler (Green Building Studio,2022).

Şekil 4.2’de verilen yıllık elektrik ve yakıttan oluşan toplam maliyette Aksaray ili 158.417 \$ ile ilk sırada yer almış, onu Malatya ili 152.105 \$ ile takip etmiş, sonrasında sırasıyla Mardin ili 149.157 \$, Samsun ili 141.746 \$, Aydın ili 141.521 \$, Mersin ili 140.974 \$, en düşük maliyet İstanbul ilinde 140.313 \$ ile gerçekleşmiştir. İstanbul ilinin elektrik maliyetinin Aydın ve Mersin ilinden daha düşük olması ve Samsun iline göre daha az yakıt maliyeti olması İstanbul’u toplam maliyette en düşük seviyeye getirmiştir.



Şekil 4.3: Bölgelere göre yıllık CO₂ salınımları (Green Building Studio,2022).

Şekil 4.3’de verilen yıllık CO₂ salınımlarında daha fazla yakıt tüketiminden dolayı Malatya ili 83,4 ton ile ilk sırada yer almış, sonrasında Aksaray ili 81,3 ton ile ikinci sırada bulunmuş, onu Samsun ili 69,1 ton ile takip etmiş ve sonrasında sırasıyla, Mardin ili 65 ton, İstanbul ili 61,4 ton, Aydın ili 52,2 ton ve en düşük salınım 34,8 ton ile Mersin ilinde bulunmuştur.



Şekil 4.4: Bölgelere göre yaşam döngüsü maliyetleri (Green Building Studio,2022).

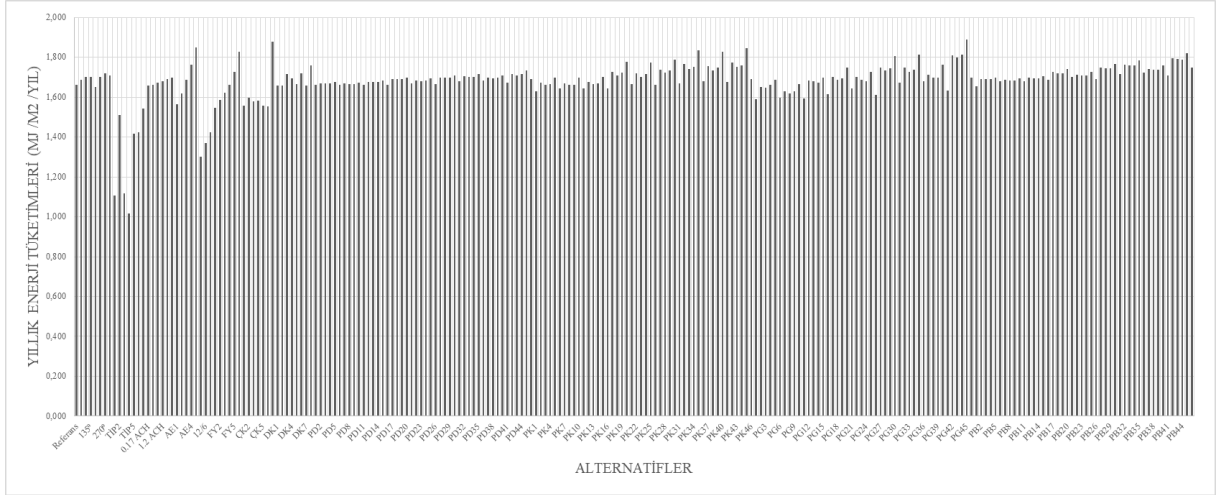
Şekil 4.4’de verilen otuz yıllık elektrik ve yakıt tüketimine bağlı olarak hesaplanan yaşam döngüsü maliyetlerinde, kışların uzun ve soğuk geçmesi ve daha çok yakıt tüketimi nedeniyle Aksaray ili 2.157.767 \$ ile birinci bulunmuş, onu Malatya ili 2.071.794 \$ ile takip etmiş, sonrasında sırasıyla Mardin ili 2.031.615 \$, Samsun ili 1.930.687 \$, Aydın ili 1.927.594 \$, Mersin ili 1.920.124 \$ ve en düşük 1.911.157 \$ ile İstanbul ili bulunmuştur.

Türkiye’nin yedi bölgesinden seçilen yedi il için enerji tüketimi, karbondioksit salınımı, toplam ve yaşam döngüsü maliyetlerine göre en yüksek değerlere Aksaray, Malatya ve Mardin illerinde, en düşük değerlere ise İstanbul, Aydın ve Mersin illerinde görülmüştür.

4.1.1. Aksaray İli için Alternatiflerin Değerlendirilmesi

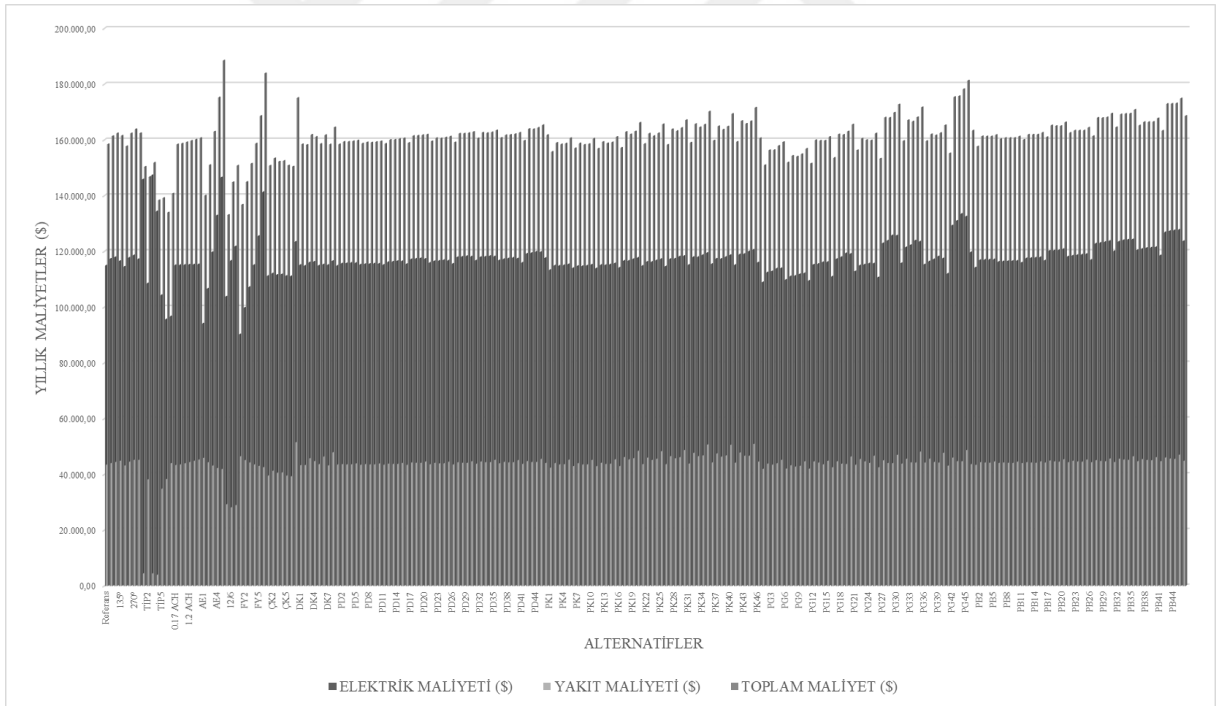
Türkiye’nin farklı bölgeleri için yapılan analizlerden sonra bir sonraki aşamada iller içerisinde en fazla enerji tüketimi olan Aksaray ili bina yönlerine bağlı pencere/duvar oranları, duvarlar, çatılar, fiş yükleri, işletme zamanları, binanın dönme açıları, ısıtma-soğutma ve havalandırma sistemleri, hava sızmaları, aydınlatma etkinlikleri parametrelerine göre incelenmiş ve en ideal çözümler aşağıda sunulmuştur.

Şekil 4.5’de verilen tüm parametreler dikkate alındığında en az enerji tüketimi 1.018 MJ/m² ile TİP4 HVAC Types-High Eff. Heat Pump (Isıtma, Soğutma ve Havalandırma sisteminde yüksek performanslı ısıtma pompası) kullanılması durumunda elde edilmiş. En fazla enerji tüketimi 1.887 MJ/m² ile PG45 güney cephesinde pencere/duvar oranının %95 olması, gölgeleme sisteminin olmaması ve ısıl geçirgenlik katsayısı 6,17 W/m².K olan şeffaf tek cam kullanılması durumunda gerçekleşmiştir.



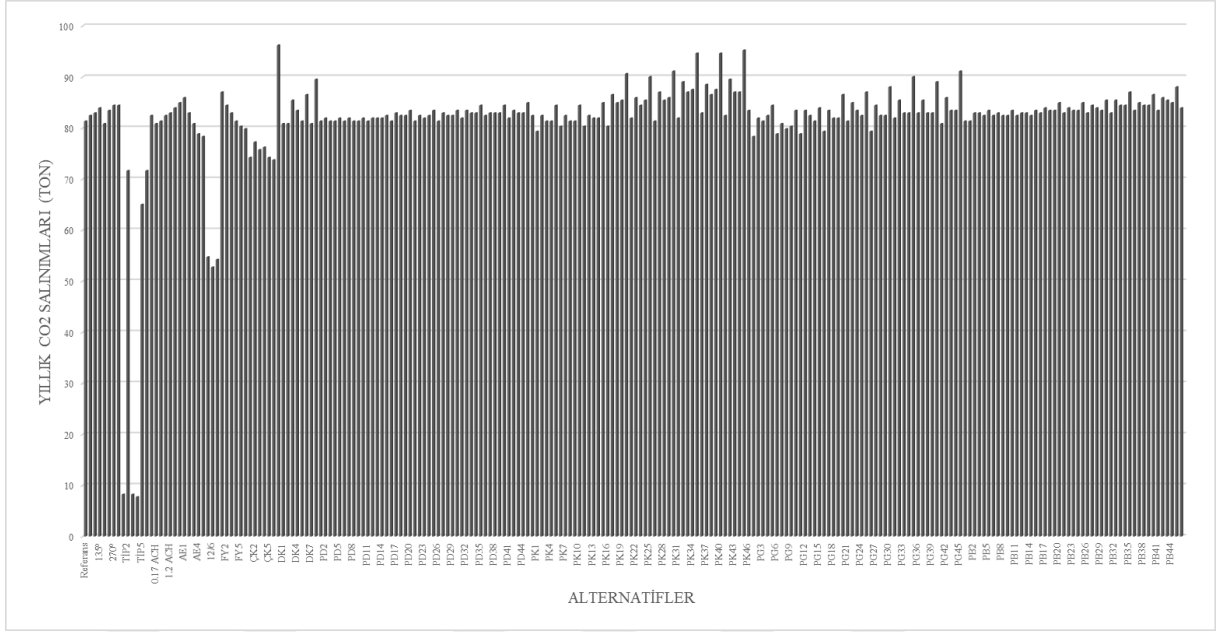
Şekil 4.5: Aksaray ili için alternatiflere göre yıllık enerji tüketimleri (Green Building Studio,2022).

Şekil 4.6’da görülen elektrik ve yakıt maliyetlerinin toplamından oluşan en yüksek maliyet, aydınlatma etkinliği AE5 20,45 W/m² olduğunda 188.455,8 \$ bulunmuş. En az toplam maliyete ise işletme zamanı 12/5 olduğunda 133.046 \$ ile ulaşılmıştır.



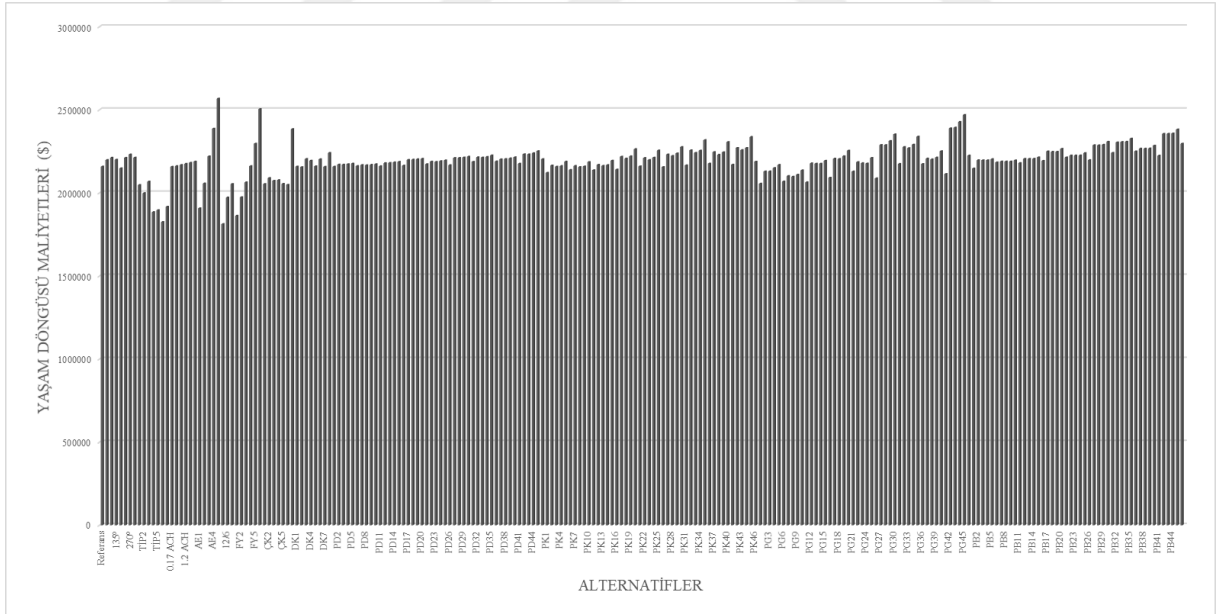
Şekil 4.6: Aksaray ili için alternatiflere göre yıllık maliyetler (Green Building Studio,2022).

Şekil 4.7’de verilen karbondioksit salınımlarında ÇK7 çatı konstrüksiyonu yalıtımsız ve ısııl geçirgenlik katsayısı 4,2695 W/m²K olduğunda 96,2 ton ile en yüksek değerde bulunmuş, TİP4 yüksek performanslı ısıtma pompası sistemi kullanıldığında 7,7 ton ile en az salınım gerçekleşmiştir.



Şekil 4.7: Aksaray ili için alternatiflere göre yıllık CO₂ tüketimleri (Green Building Studio,2022).

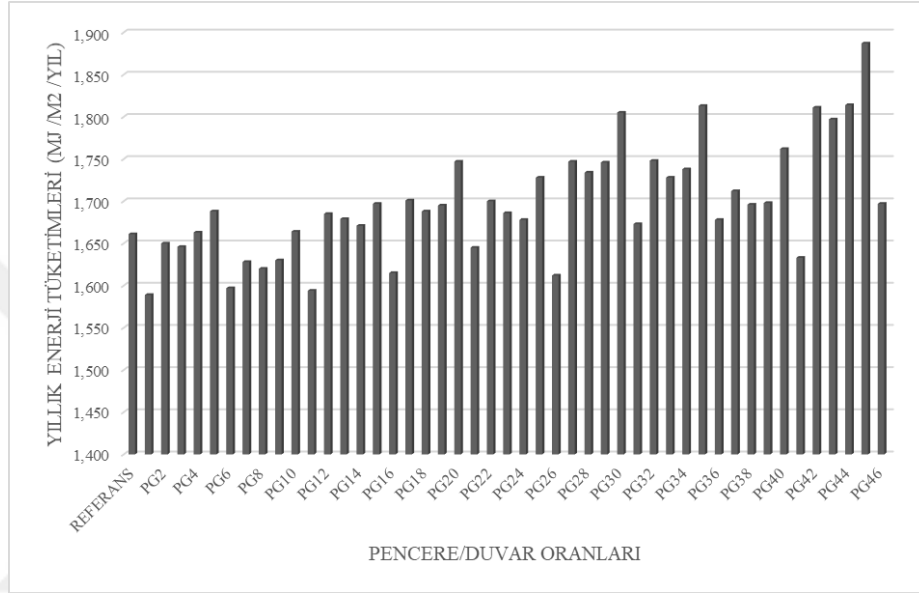
Şekil 4.8’de görülen 30 yıllık dönemi kapsayan yaşam döngüsü maliyetlerinde en fazla maliyeti, aydınlatma etkinliği AE5 20,45 W/m² olduğunda 2.566.889 \$ bulunmuş, en az maliyete ise işletme zamanı 12/5 olduğunda 1.812.174 \$ ile ulaşılmıştır.



Şekil 4.8: Aksaray ili için alternatiflere göre yaşam döngüsü maliyetleri (Green Building Studio,2022).

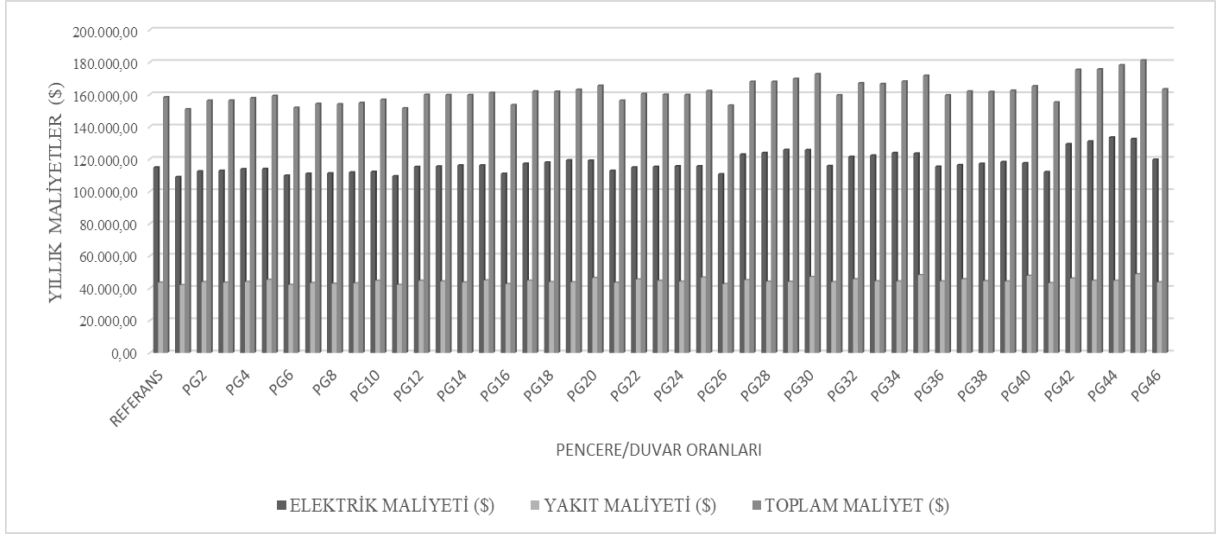
Parametrelerin kendi içerisinde oluşturdukları maksimum, minimum durumlara ve ideal olan çözümlere bakıldığında ise aşağıda belirtilen sonuçlar gözlemlenmiştir.

Şekil 4.9’da Binanın güney cephesinde PG45 pencere/duvar oranı %95 olması, gölgeleme olmaması ve şeffaf tek cam kullanılması durumunda en fazla enerji tüketimi 1.887 MJ/m², maliyeti 181.226 \$, CO₂ salınımı 91,1 ton ve yaşam döngüsü maliyeti 2.468.434 \$ gerçekleşti. Modelde güney cephesinde pencere duvar oranı %24,61 idi. Bu referansa göre enerji tüketimi, yaşam döngüsü, elektrik ve yakıt maliyetleri sırasıyla %13,61, % 14,40, %15,32 ve %11,97 oranlarında artmıştır. CO₂ salınımı % 12,05 oranında yükselmiştir.



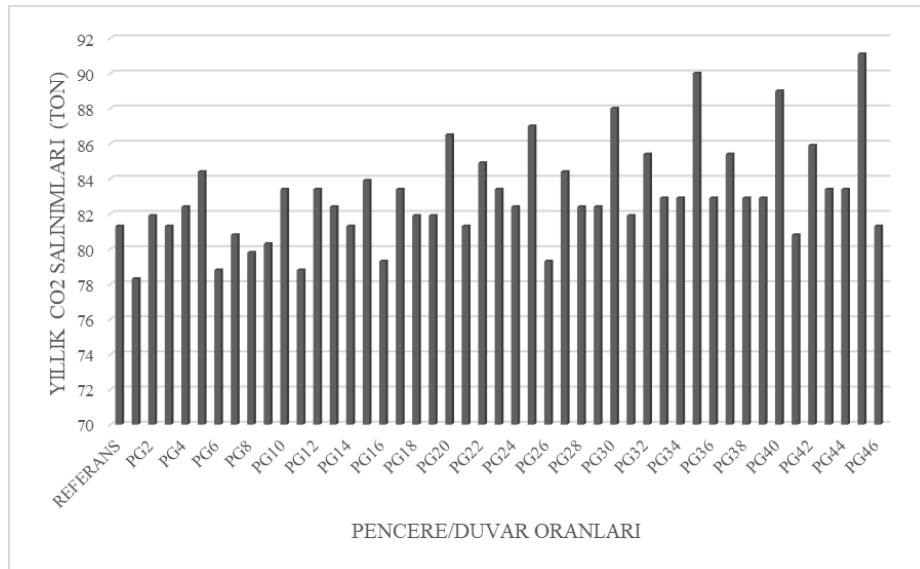
Şekil 4.9: Aksaray ili için güney cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık enerji tüketimleri (Green Building Studio,2022).

Buna karşın güney cephesinde ele alınan pencere/duvar oranlarına bağlı alternatifler içerisinde PG1 pencere olmaması durumunda en az enerji tüketimi 1.589 MJ/m², toplam maliyeti 150.898 \$, CO₂ salınımı 78,3 ton ve yaşam döngüsü maliyeti 2.055.350 \$ bulunmuştur. Güney cephesinde pencere olmaması durumu gerçekleşme ihtimali çok düşüktür. Pencere olmaması durumunda enerji tüketimi, elektrik, yakıt ve yaşam döngüsü maliyetleri ile CO₂ salınımı sırasıyla %4,33, %5,20, % 3,55, %4,75 ve %3,69 oranlarında düştüğü görülmüştür.

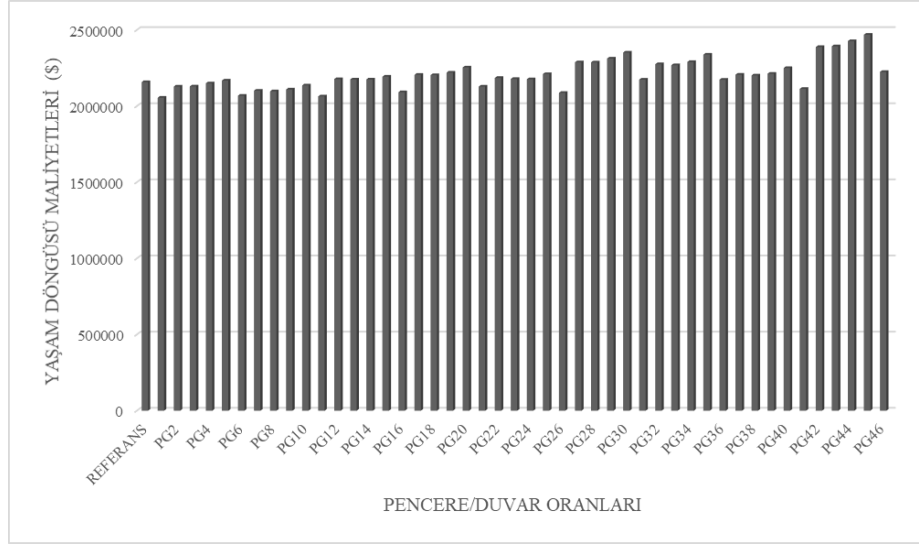


Şekil 4.10: Aksaray ili için güney cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık maliyetleri (Green Building Studio,2022).

İdeal olan çözümün güney cephesinde PG11 pencere/duvar oranının %30 civarında olması, gölgelemenin pencere yüksekliğinin üçte ikisi oranında olması ve pencerelerde ısıl geçirgenlik katsayısı 1,55 W/m².K olan düşük emisyonlu üçlü camların kullanılması olduğu bulunmuştur. Bu durumda enerji tüketimi 1.594 MJ/m², toplam maliyeti 151.511 \$, CO₂ salınımı 78,8 ton ve yaşam döngüsü maliyeti 2.063.697 \$ olarak gerçekleşmiştir. Yaşam döngüsü, elektrik ve yakıt maliyetleri %4,36, %4,76 ve %3,31 oranlarında azalma göstermiş. Enerji tüketiminde %4,03 ve CO₂ salınımında %3,08 düşüş gerçekleşmiştir.



Şekil 4.11: Aksaray ili için güney cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık CO₂ salınımları (Green Building Studio,2022).



Şekil 4.12: Aksaray ili için güney cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yaşam döngüsü maliyetleri (Green Building Studio,2022).

Kuzey cephesinde Ek 2. Bölümünde sunulan pencere/duvar oranlarına bağlı alternatifler içerisinde PK45 pencere/duvar oranı %95 olması, gölgeleme olmaması ve şeffaf tek cam kullanılması durumunda en fazla enerji tüketimine 1.847 MJ/m^2 , toplam maliyetine 171.525 \$, CO_2 salınımına 95,2 ton ve yaşam döngüsü maliyetine 2.336.321 \$ yol açtığı görülmüş. Modelde kuzey cephesinde pencere duvar oranı %26,80 idi. Referans modele göre CO_2 salınımının ve enerji tüketiminin %17,10 ve %11,20 oranlarında artmış olduğu, elektrik, yakıt ve yaşam döngüsü maliyetleri ise %4,96, %17,04 ve %8,27 oranlarında yükselmiştir. Pencere olmaması durumunda PK1 en düşük enerji tüketimine 1628 MJ/m^2 , toplam maliyetine 155706 \$, CO_2 salınımına 79,3 ton ve yaşam döngüsü maliyetine 2.120.837 \$ ulaşmış. Bu durumda enerji tüketimi ve CO_2 salınımı %1,99 ve %2,46 oranında düşüş göstermiş, yakıt, elektrik ve yaşam döngüsü maliyetlerinde ise %2,59, %1,38 ve %1,71 oranlarında azalma gerçekleşmiştir. Uygun olan çözümün PK11 kuzey cephesinde pencere/duvar oranının %30 civarında olması, gölgelemenin pencere yüksekliğinin üçte ikisi oranında olması ve pencerelerde ısıl geçirgenlik katsayısı $1,55 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ olan düşük emisyonlu üçlü camların kullanılması olduğu görülmüş. Bu durumda enerji tüketimi 1.643 MJ/m^2 , toplam maliyeti 156.843 \$, CO_2 salınımı 80,3 ton ve yaşam döngüsü maliyeti 2.136.327 \$ bulunmuş. Yaşam döngüsü, elektrik ve yakıt maliyetleri sırasıyla %0,91, %0,79 ve %1,25 oranlarında azalmış, enerji ve CO_2 salınımı %1,02 ve %1,23 oranlarında düşmüştür.

Batı cephesinde PB45 pencere/duvar oranı %95 olması, gölgeleme olmaması ve şeffaf tek cam kullanılması durumunda en fazla enerji tüketimine 1.821 MJ/m^2 , toplam maliyetine 174.833 \$,

CO₂ salınımına 88 ton ve yaşam döngüsü maliyetine 2.381.367 \$ ulaştığı bulunmuş. Modelde pencere/ duvar oranı bu cephede %6,74 idi. Batı cephesinde %95 oranında pencere /duvar oranı olması halinde CO₂ salınımı ve enerji tüketimi %8,24 ve % 9,63 oranlarında artmıştır. Yaşam döngüsü, elektrik ve yakıt maliyetlerinde ise %10,36, %11,20 ve %8,17 oranlarında yükseliş olmuştur. Batı cephesinde PB1 pencere olmaması durumunda en düşük enerji tüketimine 1.654 MJ/m², toplam maliyetine 157.598 \$, CO₂ salınımına 81,3 ton ve yaşam döngüsü maliyetine 2.146.614 \$ düştüğü bulunmuş. Bu cephede pencere olmaması referansa göre çok küçük değerde %0,5 oranında azalma oluşturmuş, CO₂ salınımında ise bir değişiklik oluşturmamıştır. İdeal olan çözüm PB11 batı cephesinde pencere/duvar oranının %30 civarında olması, gölgelemenin pencere yüksekliğinin üçte ikisi oranında olması ve pencerelerde ısıl geçirgenlik katsayısı 1,55 W/m².K olan düşük emisyonlu üçlü camların kullanılması olduğu tespit edilmiş. Bu durumda enerji tüketiminin 1.679 MJ/m², toplam maliyetin 160.004 \$, CO₂ salınımının 82,4 ton ve yaşam döngüsü maliyetinin 2.179.379 \$ olduğu bulunmuştur. Bu durumda elektrik, yakıt ve yaşam döngüsü maliyetlerinde sırasıyla %0,90, % 1,2 ve %1, CO₂ salınımında %1,4 ve enerji tüketiminde %1,10 oranında artış oluşmuştur.

Doğu cephesine bakıldığında benzer şekilde PD45 pencere/duvar oranı %95 olması, gölgeleme olmaması ve şeffaf tek cam kullanılması durumunda en fazla enerji tüketimine 1.734 MJ/m², toplam maliyetine 165.275 \$, CO₂ salınımına 84,9 ton ve yaşam döngüsü maliyetine 2.251.179 \$ yol açtığı görülmüş. Modelde doğu cephesinde pencere duvar oranı %13,15 idi. Yaşam döngüsü, yakıt ve elektrik maliyetleri %4,33, %4,58 ve %4,24 oranlarında, CO₂ salınımı ve enerji tüketiminde %4,43 ve %4,39 oranlarında yükseliş olmuştur. Buna karşın doğu cephesinde PD1 pencere olmaması durumunda en düşük enerji tüketimine 1.661 MJ/m², toplam maliyetine 158.396 \$, CO₂ salınımına 81,3 ton ve yaşam döngüsü maliyetine 2.157.477 \$ ulaştığı görülmüş. Aynı zamanda enerji, maliyet ve salınımda ekstra bir artış ya da azalışa neden olmadan sabit kalmıştır. Uygun olan çözümün PD11 doğu cephesinde pencere/duvar oranının %30 civarında olması, gölgelemenin pencere yüksekliğinin üçte ikisi oranında olması ve pencerelerde ısıl geçirgenlik katsayısı 1,55 W/m².K olan üçlü camların kullanılması halinde gerçekleşmiştir. Bu durumda enerji tüketimi 1.661 MJ/m², toplam maliyeti 158.590 \$, CO₂ salınımı 81,3 ton ve yaşam döngüsü maliyeti 2.160.122 \$ bulunmuş, enerji tüketimi ile salınımlar sabit kalmış, maliyetlerde ise %0,1'lik küçük değişimler olmuştur.

Genel olarak tüm cepheler yorumlandığında, en uygun çözümün pencere/duvar oranının %30 olması ve gölgelemenin tüm cephelerinde pencere yüksekliğinin 2 /3'ü oranında olması olduğu görülmüştür.

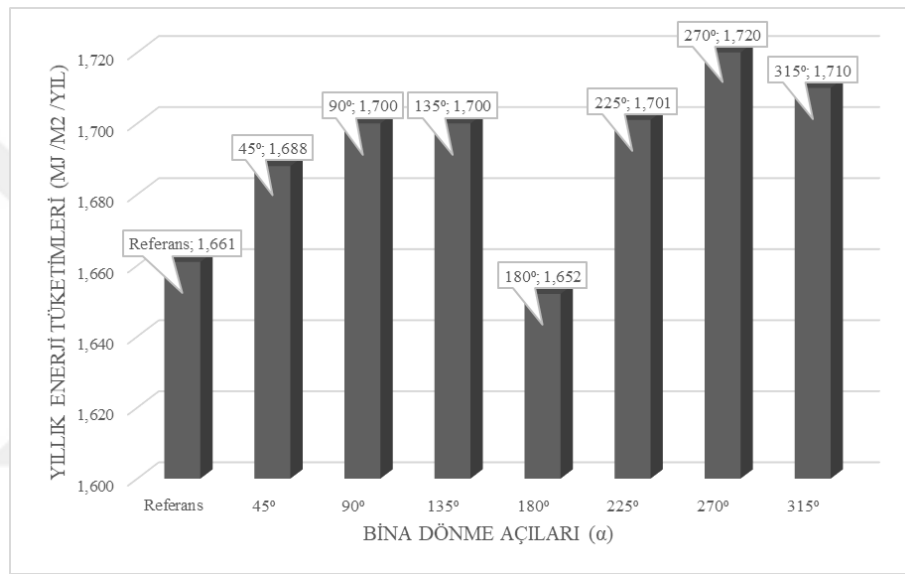
Duvarlarda DK8 yalıtım kullanılmaması ve ısıl geçirgenlik katsayısı 1,9119 W/m²K olması durumunda en fazla enerji tüketimine 1.759 MJ/m², toplam maliyetine 164.464 \$, CO₂ salınımına 89,5 ton ve yaşam döngüsü maliyetine 2.240.132 \$ ulaşmış, referans modele göre enerjide %5,90'lık tüketim artışı, CO₂ salınımında %10,09 artış, elektrik, yakıt ve yaşam döngüsü maliyetinde ise sırasıyla %1,42, %10,14, %3,82 artış olmuştur. Buna karşın duvarların DK7 36 cm ICF ve ısıl geçirgenlik katsayısı 0,1964 W/m²K olması durumunda en düşük enerji tüketimine 1.657 MJ/m², toplam maliyetine 158.198 \$, CO₂ salınımına 80,8 ton ve yaşam döngüsü maliyetine 2.154.782 \$ neden olmuş, referans modele göre enerjide %0,24 daha az elektrik tüketimi, yakıt ve yaşam döngüsü maliyetlerinde sırasıyla %0,05, %0,38 ve %0,14 oranlarında düşüş gerçekleşmiştir.

Çatı konstrüksiyonunda ÇK7 yalıtım malzemesi kullanılmaması ve ısıl geçirgenlik katsayısı 4,2695 W/m²K olması durumunda referans modele göre 1.879 MJ/m² ile en fazla enerji tüketimine, maliyetine 175.000 \$, CO₂ salınımına 96,2 ton ve yaşam döngüsü maliyetine 2.383.657 \$ ulaşmış, enerji tüketimi %13,12, CO₂ salınımı, elektrik, yakıt ve yaşam döngüsü maliyetleri sırasıyla %18,33, %7,43, % 18,49 ve %10,47 oranlarında artış göstermiştir. Buna karşın çatı konstrüksiyonu ÇK6 R60 ve ısıl geçirgenlik katsayısı 0,0857 W/m²K olması durumunda 1.552 MJ/m² ile en düşük enerji tüketimi, toplam maliyeti 150398 \$, CO₂ salınımı 73,7 ton ve yaşam döngüsü maliyeti 2.048.535 \$ gerçekleşmiş, referans modele göre enerji tüketiminde %7,02'lik iyileşme, elektrik ve yakıt maliyetlerinde %3,45 ve %10,65 oranlarında azalma görülmüştür. Bununla birlikte CO₂ salınımı %10,31 ve yaşam döngüsü maliyeti %5,33 oranında düşüş göstermiştir.

Fiş yükü FY6 27,98 W/m² olması durumunda 1.827 MJ/m² ile en fazla enerji tüketimine, toplam maliyetine 183.855 \$ ve yaşam döngüsü maliyetine 2.504.232 \$ ile ulaşmış, referans modele göre enerji tüketimi, elektrik ve yaşam döngüsü maliyetlerinde sırasıyla %9,99, %22,93 ve %16,06'lık bir yükseliş gerçekleşmiş, CO₂ salınımında %1,85'lik ve yakıt maliyetinde ise %2,10'luk bir azalma görülmüştür. Buna karşın fiş yükü FY1 6,45 W/m² olması durumunda 1.547 MJ/m² ile en düşük enerji tüketimine, toplam maliyetine 136.722 \$ ve yaşam döngüsü maliyetine 1.862.294 \$ ile ulaşmış, CO₂ salınımı miktarlarında 87 ton ile en fazla salınım gerçekleşmiş, en az CO₂ salınımı ise fiş yükü 27,98 W/m² olması halinde 79,8 ton bulunmuştur.

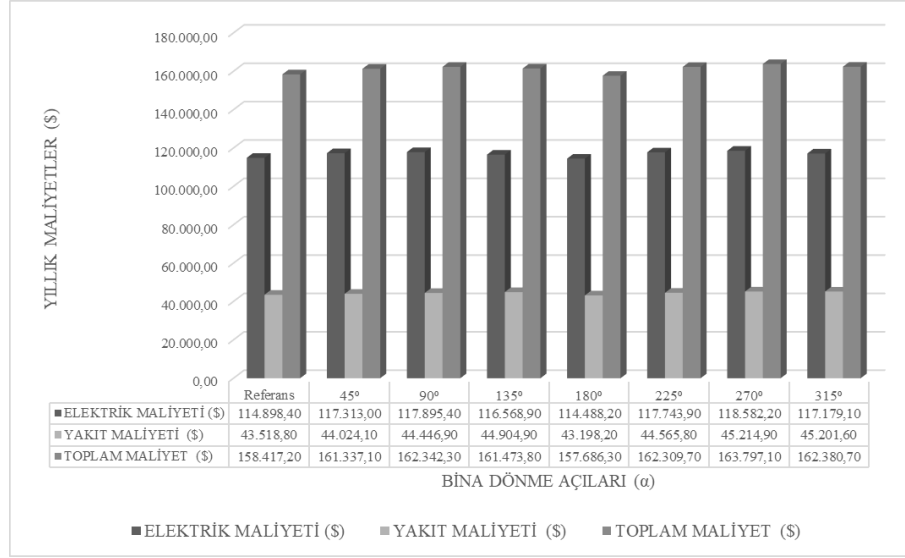
Referans modele göre fiş yükünün $6,45 \text{ W/m}^2$ olması durumunda, enerji tüketimi, elektrik ve yaşam döngüsü maliyetlerinde sırasıyla %6,86, %21,49 ve %13,69'luk bir düşüş gözlemlenmiş, CO_2 salınımlarında %7,01'lik ve yakıt maliyetinde ise %6,89'luk bir artış olmuştur.

İşletme zamanı 12/5 olması durumunda 1.302 MJ/m^2 ile en düşük enerji tüketimine, toplam maliyetine 133.046 \$ ve yaşam döngüsü maliyetine 1.812.174 \$ ile ulaşmış, enerji tüketimi referans modele göre %21,61 oranında düşmüş, bununla birlikte elektrik, yakıt ve yaşam döngüsü maliyetleri sırasıyla %9,68, % 32,73 ve %16,02 oranlarında bir düşüş ve CO_2 salınımı da %32,72 oranında bir azalma göstermiştir.



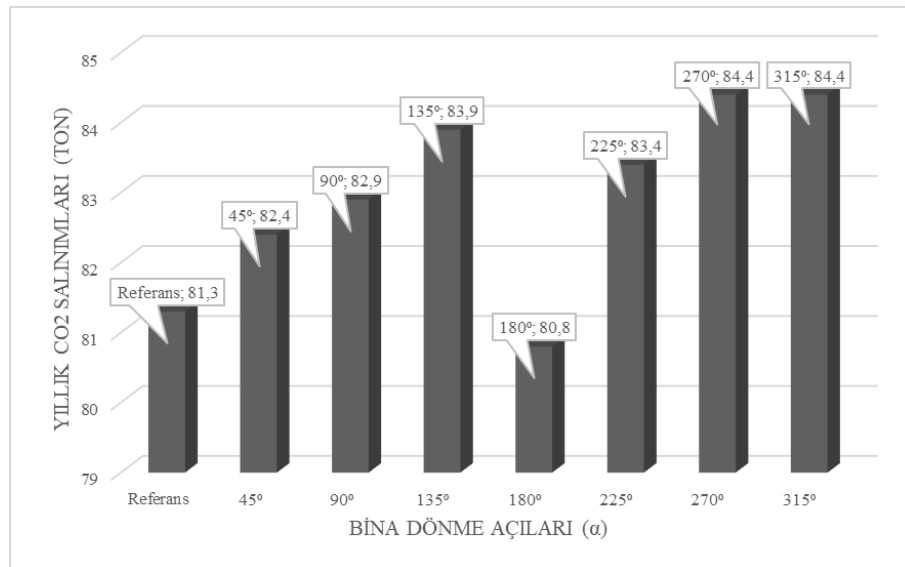
Şekil 4.13: Aksaray ili için bina dönme açılarına göre yıllık enerji tüketimleri (Green Building Studio,2022).

Şekil 4.13’de Binanın saat yönünde 270° döndürülmesi durumunda 1.720 MJ/m^2 ile en fazla enerji tüketimine, toplam maliyetine 163.797 \$, CO_2 salınımlarına 84,4 ton ve yaşam döngüsü maliyetine 2.231.047 \$ ile ulaşmış, referans modele göre yıllık enerji tüketimi %3,55, elektrik maliyeti %3,21, yakıt maliyeti %3,90, CO_2 salınımı %3,81 ve yaşam döngüsü maliyeti %3,40 oranında artmıştır.

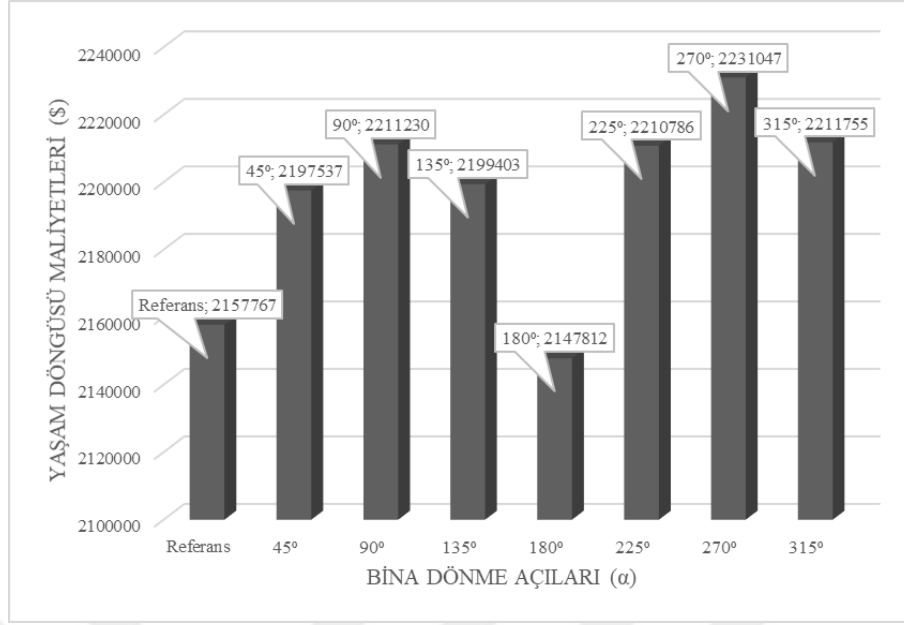


Şekil 4.14: Aksaray ili için bina dönme açılarına göre yıllık maliyetleri (Green Building Studio,2022).

Buna karşın binanın 180° döndürülmesi, kuzey- güney ile batı- doğu cephelerinin yer değiştirmesi durumunda, bina dönme açıları içerisinde 1.652 MJ/m² ile en düşük enerji tüketimini, toplam maliyetini 157.686 \$, CO₂ salınımını 80,8 ton ve yaşam döngüsü maliyetini 2.147.812 \$ ile gerçekleştirmiştir. Bu şekilde bir döndürme referans modele göre yıllık enerji tüketimini %0,54, yakıt ve elektrik maliyetlerini sırasıyla %0,36, %0,74 oranlarında düşürmüş, CO₂ salınımında %0,62 ve yaşam döngüsü maliyetinde %0,46 iyileştirme sağlamıştır. Binanın bulunduğu konuma göre otuz yıllık dönemde yakıt ve elektrik maliyetlerinin toplamından oluşan yaşam döngüsü maliyetinde en iyi ve en kötü döndürme açıları 180°-270° seçildiğinde 83.235 \$ tasarruf sağlandığı görülmüştür.

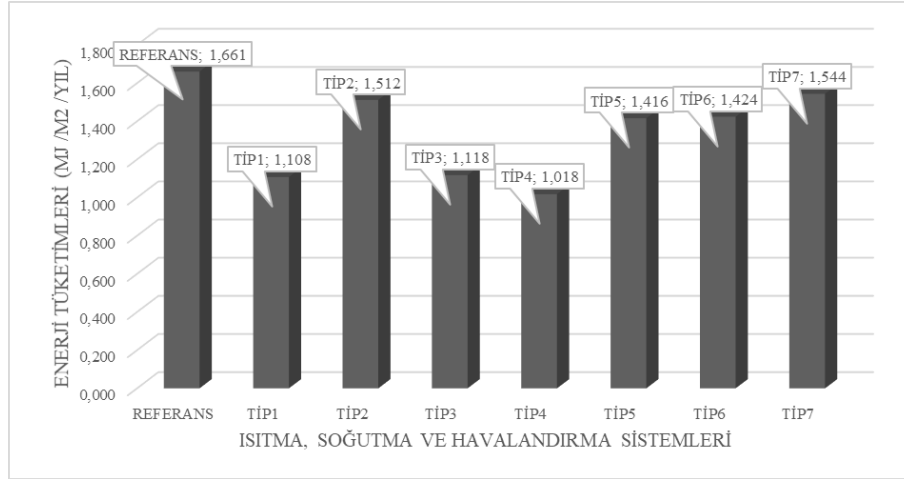


Şekil 4.15: Aksaray ili için bina dönme açılarına göre yıllık CO₂ salınımları (Green Building Studio,2022).



Şekil 4.16: Aksaray ili için bina dönme açılarına göre yaşam döngüsü maliyetleri (Green Building Studio,2022).

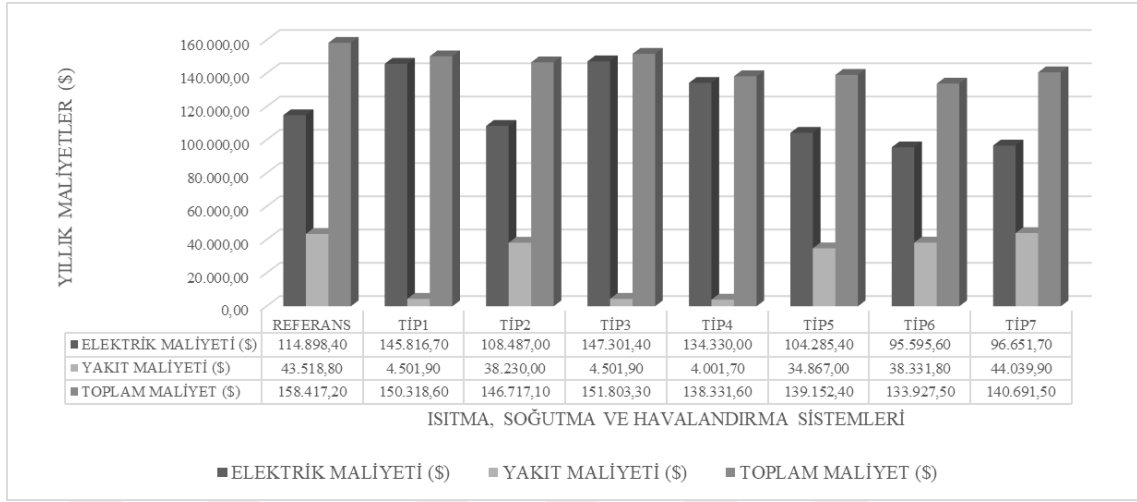
Şekil 4.17’de verilen TİP7 Değişken hava hacimli yüksek performanslı ısıtma-soğutma ve havalandırma sistemi kullanılması durumunda 1.544 MJ/m^2 ile en fazla enerji tüketimi ve CO_2 salınımı $82,4 \text{ ton}$ ile gerçekleşmiş. Bu enerji tüketiminde referans modele göre yıllık %7,04’lük bir azalma ve CO_2 salınımında %1,35’lik bir artış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.17: Aksaray ili için ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerine göre yıllık enerji tüketimleri (Green Building Studio,2022).

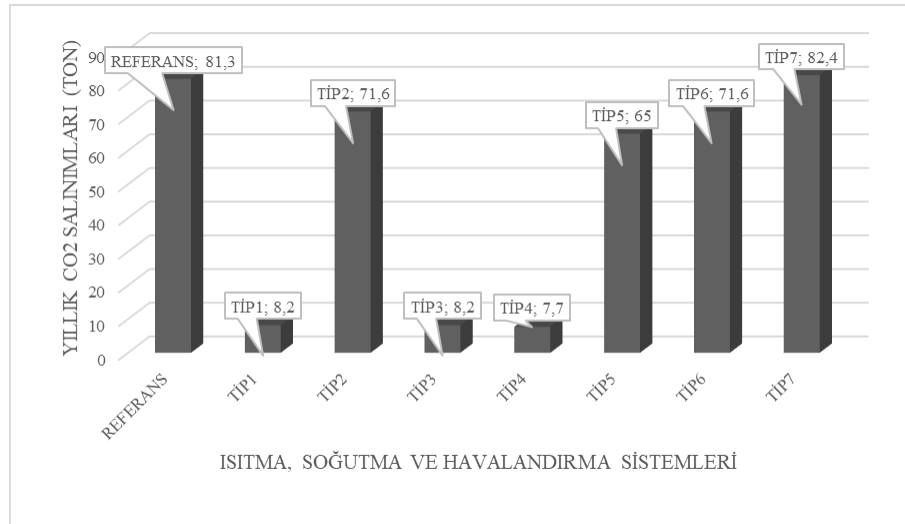
TİP4 yüksek performanslı ısıtma pompası kullanılması durumunda yıllık 1.018 MJ/m^2 ile en düşük enerji tüketimine ulaşılmış, referans modelde kullanılan merkezi değişken hava debili sisteme göre %38,71 oranında daha düşük enerji tüketimi gerçekleşmiş, elektrik maliyetlerinde %16,91 oranında artış olmasına rağmen yakıt ve yaşam döngüsü maliyetlerinde sırasıyla

%90,81 ve % 12,68 oranlarında azalma olmuş, CO₂ salınımlarında ise Şekil 4.19’da görülen %90,5 oranında düşüş gerçekleşmiştir.



Şekil 4.18: Aksaray ili için ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerine göre yıllık maliyetleri (Green Building Studio,2022).

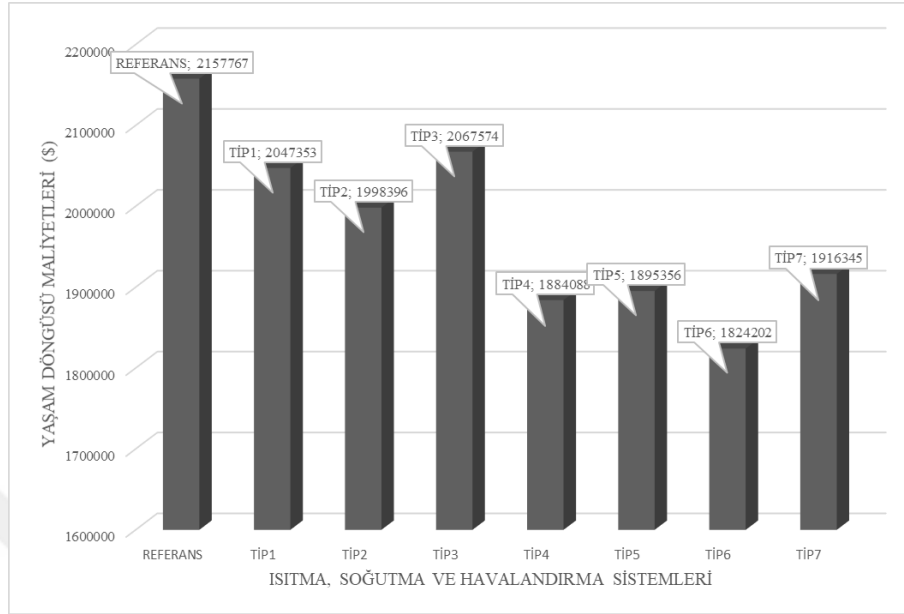
Şekil 4.18’de TİP3 ASHRAE paket terminal ısıtma pompası kullanılması durumunda yıllık yakıt ve elektrik tüketiminden kaynaklanan toplam maliyet 151.803 \$ ve yaşam döngüsü maliyeti 2.067.574 \$ ile 7 tip ısıtma-soğutma ve havalandırma sistemleri içerisinde en büyük değeri almasına rağmen merkezi değişken hava debili sisteme göre maliyeti %4,17 oranında daha düşük olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.19: Aksaray ili için ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerine göre yıllık CO₂ salınımları (Green Building Studio,2022).

Isıtma-soğutma ve havalandırma sistemleri arasında TİP6 yüksek performanslı paket terminal AC kullanılması durumunda, yıllık 133.927 \$ ile en az toplam maliyet ve 1.824.202 \$ ile yaşam

döngüsü maliyeti bulunmuş, referans modele göre maliyetlerde %15,46'lık bir düşüş gerçekleşmiştir.



Şekil 4.20: Aksaray ili için ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerine göre yaşam döngüsü maliyetleri (Green Building Studio,2022).

Hava sızması saatte 0,17 ach olması durumunda 1.658 MJ/m^2 ile en düşük enerji tüketimine, maliyetine 158.367 \$, CO_2 salınımına 80,8 ton ve yaşam döngüsü maliyetine 2.157.091 \$ ile ulaşmış, referans modele göre enerji tüketimi %0,18 oranında azalmış, elektrik maliyeti %0,10 oranında artmış ve yakıt ile yaşam döngüsü maliyetleri sırasıyla %0,38 ve % 0,03 oranlarında düşüş göstermiş, CO_2 salınımları ise %0,62 oranında azalmıştır. Buna karşın hava sızması saatte 2 ach olduğunda CO_2 salınımı %4,43 oranında, elektrik, yakıt ve yaşam döngüsü maliyetlerinde sırasıyla %0,38, %4,13 ve %1,41 oranlarında, enerji tüketiminde %2,29'lık bir artış gerçekleşmiştir. Tablolar Ek 2. Bölümünde sunulmaktadır.

Aydınlatma etkinliği incelendiğinde $20,45 \text{ W/m}^2$ olması durumunda 1.850 MJ/m^2 ile en fazla enerji tüketimine, toplam maliyetine 188.456 \$ ve yaşam döngüsü maliyetine 2.566.889 \$ ile ulaştığı görülmüş. Enerji tüketiminde, elektrik ve yaşam döngüsü maliyetlerinde sırasıyla %11,38, 27,54 ve %18,96'lık bir artışla birlikte yakıt maliyeti ve CO_2 salınımı %3,69 oranında düşüş göstermiştir. Aydınlatma etkinliği $3,23 \text{ W/m}^2$ olması durumunda ise 1563 MJ/m^2 ile en düşük enerji tüketimi, toplam maliyeti 139.991 \$ ve yaşam döngüsü maliyeti 1.906.813 \$ ile gerçekleşmiş, referans modele göre enerji tüketiminde %5,90 oranında, elektrik ve yaşam döngüsü maliyetlerinde sırasıyla %18,13 ve %11,63'lük bir azalma, CO_2 salınımında %5,66'lık ve yakıt maliyetinde %5,53'lük bir artış meydana getirmiştir.

Enerji verimliliği açısından yüksek performanslı ısı pompası kullanılmasının enerji tüketimi ve CO₂ salınımının azaltılmasında en iyi çözüm olduğu görülmüştür.

Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerinden seçilen yedi il için yapılan analizler ile birlikte sonrasında en fazla enerji tüketimi, toplam ve yaşam döngüsü maliyetinin gerçekleştiği Aksaray ili için alternatifler incelenmiş ve bulunan sonuçlar açıklanmıştır. Bu aşamadan sonra işlemleri hızlandırmak için TS 825 ve dünya genelinde kullanılan yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayılarına bağlı enerji, maliyet ve CO₂ salınımını tahmin eden bir yapay zeka modeli geliştirmek amaçlanmıştır. Bu çerçevede makine öğrenmesi ile oluşturulmak istenen regresyon modeli için birçok veriden oluşan eğitim ve test veri seti gerekmiştir. Bu veri seti oluşturulurken aynı şartların olması sağlanmış, örneğin, modelde kullanılan duvar/pencere oranlarının aynı olması, fazla ya da eksik kat olmaması, yapının toplam metrekaresi, aynı iklim bölgesinde yapılması, sıcaklık, nem, güneş ışınları vb. etkenler dikkate alınmıştır. Bu nedenle veriler için seçenekler oluşturulurken, aynı iklim bölgesinde, aynı yapı kullanılarak birçok veri elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda Revit mimari kütüphanesinde bulunan yapı bileşenleri için farklı ısıl geçirgenlik katsayıları ve güneş ısı kazanım katsayısı kullanılarak her bir seçenek için Green Building Studio da analiz yapılmış ve sonucunda 110 farklı seçenek elde edilmiştir. Bu verilerden 77 tanesi eğitim veri setini ve 33 tanesi de test veri setini oluşturmuştur. Model için kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları doğrusal regresyon, aşamalı regresyon, destek vektör regresyon, gauss süreç regresyon ve karar ağaçları regresyonudur.

4.2. YAPAY ZEKA MODELLERİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Araştırmalarda regresyonun performansını ölçmede en çok kullanılan yöntemler varyasyon katsayısı (CV), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve kök ortalama kare hata (RMSE) çıkmıştır. Daha sonrasında ortalama mutlak hata (MAE), ortalama kare hata (MSE) ve determinasyon katsayısı (R²) gelmektedir. (Amasyali ve diğ., 2018)

Model regresyon tabloları MSE, RMSE, MAE ve R² ye göre düzenlenmiştir.

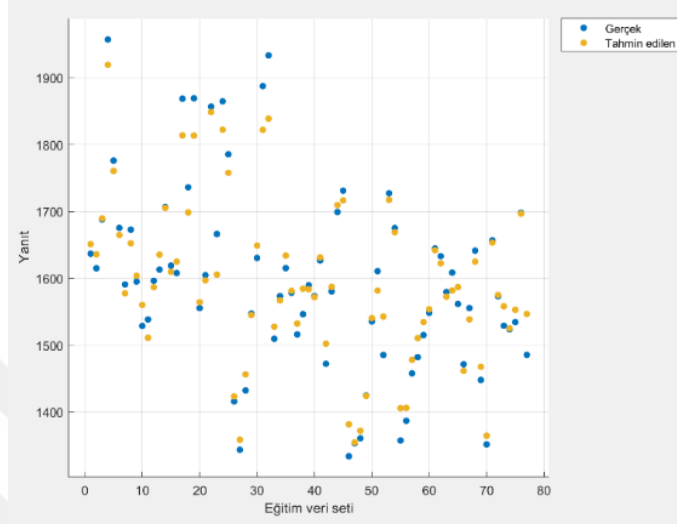
$$\text{Kök ortalama kare hata (RMSE)} = \sqrt{\sum_1^n (Y_{t,i} - Y_{g,i})^2 / n} \quad (4.1)$$

$$\text{Ortalama kare hata (MSE)} = \sum_1^n (Y_{t,i} - Y_{g,i})^2 / n \quad (4.2)$$

$$\text{Ortalama mutlak hata (MAE)} = 1/n \sum_1^n |Y_{t,i} - Y_{g,i}| \quad (4.3)$$

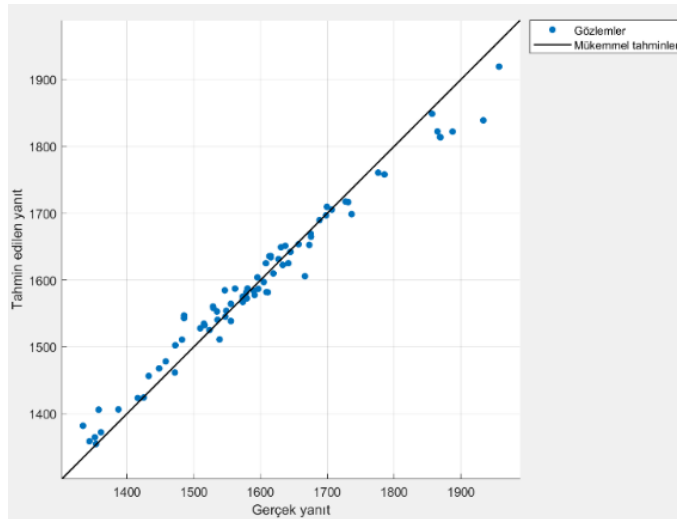
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_1^n (Y_{t,i} - Y_{g,i})^2}{\sum_1^n (Y_{g,i} - Y_{ort})^2} \quad (4.4)$$

Burada $Y_{t,i}$, i.tahmin edilen değeri, $Y_{g,i}$, i.gerçek değeri, Y_{ort} , ortalama değeri ifade etmektedir.



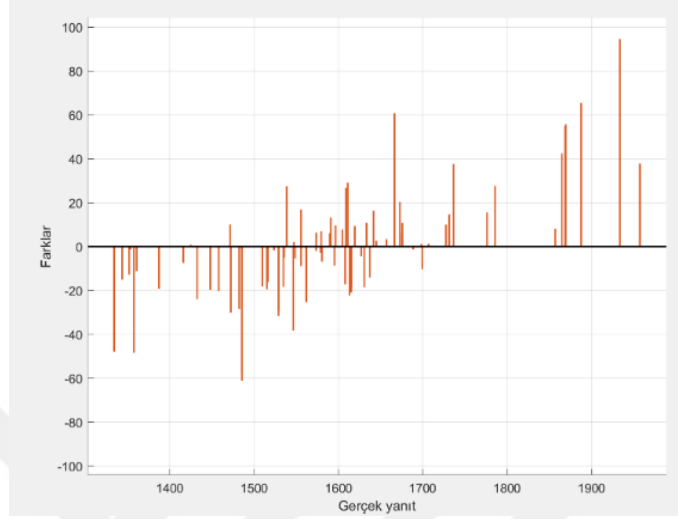
Şekil 4.21: Enerji modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi (MATLAB, R2020b).

Bu algoritmalar Şekil 4.21’de görülen 77 veriden oluşan eğitim veri setinde eğitilmesi sonucunda en iyi sonucu determinasyon katsayısı (R^2) değeri 0,96 ve kök ortalama kare hata (RMSE) performans değeri 27,155 olan gauss süreç regresyon enerji modeli sağlamıştır. İkinci sırada R^2 değeri 0,86 ve RMSE değeri 52,15 ile doğrusal regresyon modeli olmuştur.



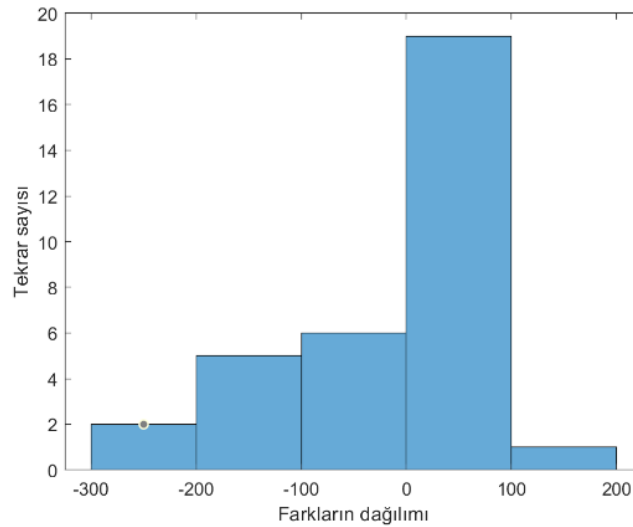
Şekil 4.22: Enerji modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu (MATLAB, R2020b).

Şekil 4.22’de Eğitim veri setinde mükemmel tahmin çizgisine ne kadar yaklaşırsa o kadar iyi sonuç elde edilir. Gauss süreç regresyonda R^2 değerinin 0,96 olması ile en iyi sonuç elde edilmiştir.



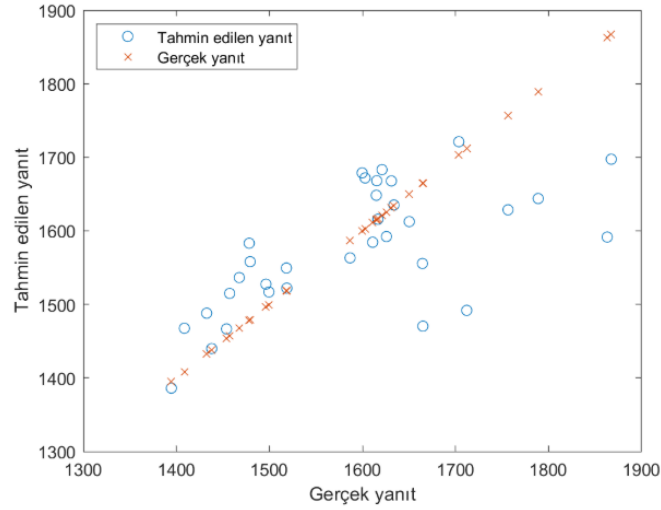
Şekil 4.23: Enerji modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farklarının gösterimi (MATLAB, R2020b).

Eğitim veri setinde Şekil 4.23’de görüldüğü üzere gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki fark -60 ile 100 arasında değişmiştir.



Şekil 4.24: Enerji modeli test veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi (MATLAB, R2020b).

Şekil 4.24’de Enerji modelin test veri setinde gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki farklar -300 ile 200 arasında değişim göstermiş, bununla birlikte sadece 2 kez -200 geçilmesine rağmen farkları 19 kez 0 ile 100 arasında değerler almıştır.



Şekil 4.25: Enerji modeli test veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi (MATLAB, R2020b).

Tablo 4.2 ve Şekil 4.26’da görülen enerji modelinde en iyi performans determinasyon katsayısı 0,96 ve kök ortalama kare hata değeri 27,155 ile eğitim veri setinde üstel fonksiyonlu gauss süreç regresyondan elde edilmiştir. Test veri setinde gauss süreç regresyonun RMSE değeri 94,8343 ile performansı eğitim veri setine göre düşmesine rağmen yine de tüm algoritmalar içerisinde en iyi değeri sağlamış, sonrasında RMSE değeri 99,0038 ile kübik fonksiyonlu destek vektör regresyon bulunmuştur. Doğrusal regresyon eğitim veri setinde en iyi ikinci RMSE değerini sağlamasına rağmen test veri setinde RMSE değeri 123,414 ile en kötü performansı göstermiştir.

Tablo 4.1: Enerji modelinde gauss süreç regresyonda test veri seti için yüzde hata (MATLAB, R2020b).

Tahmin edilen Değer	Gerçek Değer	Yüzde Hata
1584,5	1611	-1,64%
1635,1	1633,8	0,08%
1721,3	1703,6	1,04%
1466,7	1453,9	0,88%
1516,9	1499,5	1,16%
1386,1	1394,6	-0,61%
1615,8	1616,6	-0,05%
1522,1	1518,7	0,22%
1440	1438	0,14%
1563,3	1586,7	-1,47%

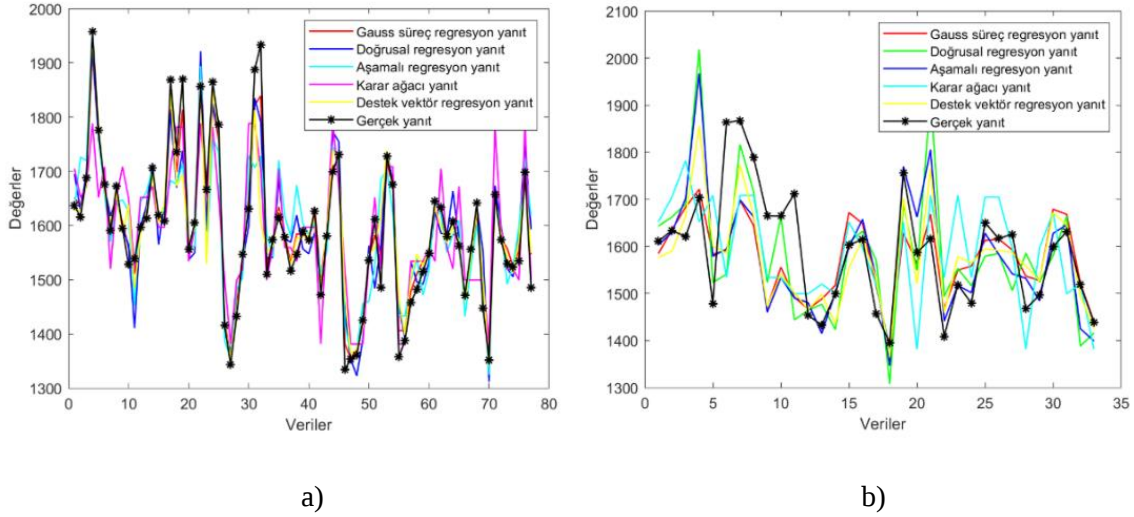
Yukarıda Tablo 4.1’de verilen değerlere göre tahmin edilen değerler, gerçek değerlere çok yakın bulunmuş, en büyük hata yüzdesi %1,64 olarak gerçekleşmiştir.

Genel anlamda enerji modeli için algoritmaların performans sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tüm regresyon modellerin çıktıları Ek 5. Bölümünde sunulmuştur.

Tablo 4.2: Enerji regresyon modelleri performans sonuçları (MATLAB, R2020b).

EĞİTİM VERİ SETİ					TEST VERİ SETİ	
ENERJİ	RMSE	R-SQUARED	MSE	MAE	MSE	RMSE
Gauss Süreç Regresyon	27,155	0,96	737,41	20,026	8,9935e+03	94,8343
Doğrusal Regresyon	52,15	0,86	2719,6	39,117	1,5231e+04	123,414
Aşamalı Regresyon	70,946	0,74	5033,3	53,038	1,1819e+04	108,7165
Karar Ağacı Regresyon	74,965	0,71	5619,7	56,994	1,5022e+04	122,5645
Destek Vektör Regresyon	57,858	0,83	3347,6	31,293	9,8017e+03	99,0038

Tablo 4.2’de verilen R-SQUARED (R^2) değeri modeldeki bağımsız değişkenlere göre bağımlı değişkendeki değişkenliğin ne kadarının model tarafından açıklanabileceğini ölçer. MSE tüm veri kümesinde örnek başına ortalama kare kaybıdır. RMSE değeri MSE değerinin kareköküdür. Ortalama mutlak hata MAE gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki her bir farkın mutlak değerinin ortalamasıdır.



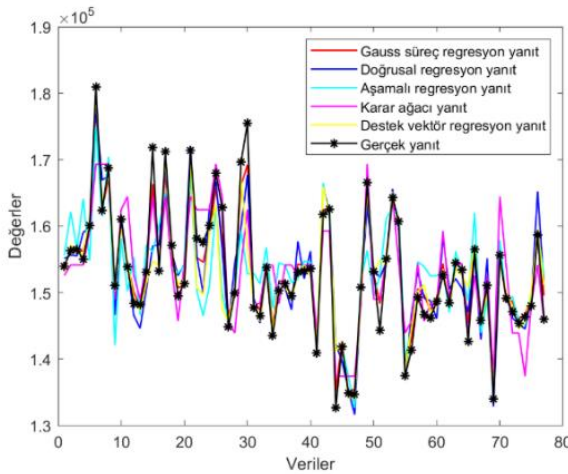
Şekil 4.26: Enerji modeli için regresyonlara göre gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması
a) eğitim veri seti b) test veri seti (MATLAB, R2020b).

Tüm algoritmalar içinde Tablo 4.3 ve Şekil 4.27’de görülen maliyet modelinde R^2 değeri 0,96 ve RMSE değeri 1.874,8 ile hem eğitim veri setinde hem de test veri setinde RMSE değeri 6,5113e+03 ile en iyi performansı üstel fonksiyonlu gauss süreç regresyon sağlamıştır. Eğitim

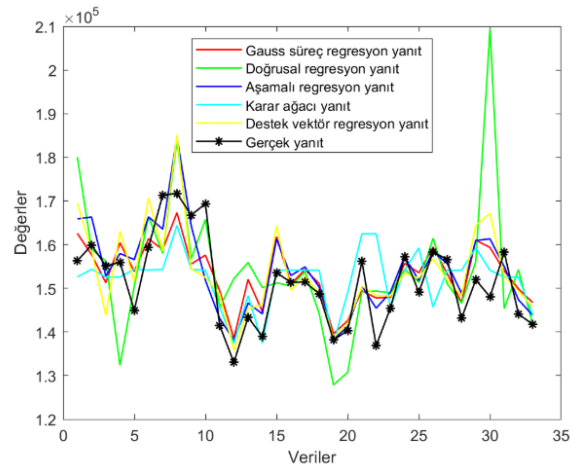
veri setinde ikinci en iyi değerler doğrusal regresyona ait olmakla birlikte R^2 değeri 0,84 ve RMSE değeri 3.820,8, test veri setinde gauss süreç regresyondan sonra en iyi performansı RMSE 6,6418e+03 değeri ile aşamalı doğrusal regresyon sağlamıştır.

Tablo 4.3: Maliyet regresyon modelleri performans sonuçları (MATLAB, R2020b).

EĞİTİM VERİ SETİ					TEST VERİ SETİ	
MALİYET	RMSE	R-SQUARED	MSE	MAE	MSE	RMSE
Gauss Süreç Regresyon	1874,8	0,96	3,5149e+06	1361,9	4,2397e+07	6,5113e+03
Doğrusal Regresyon	3820,8	0,84	1,4598e+07	2779,1	2,0830e+08	1,4432e+04
Aşamalı Regresyon	5777,5	0,64	3,3379e+07	4269,6	4,4113e+07	6,6418e+03
Karar Ağacı Regresyon	4730,8	0,76	2,2381e+07	3485,8	7,2345e+07	8,5056e+03
Destek Vektör Regresyon	4241,5	0,81	1,799e+07	2185,5	7,2345e+07	8,5056e+03



a)



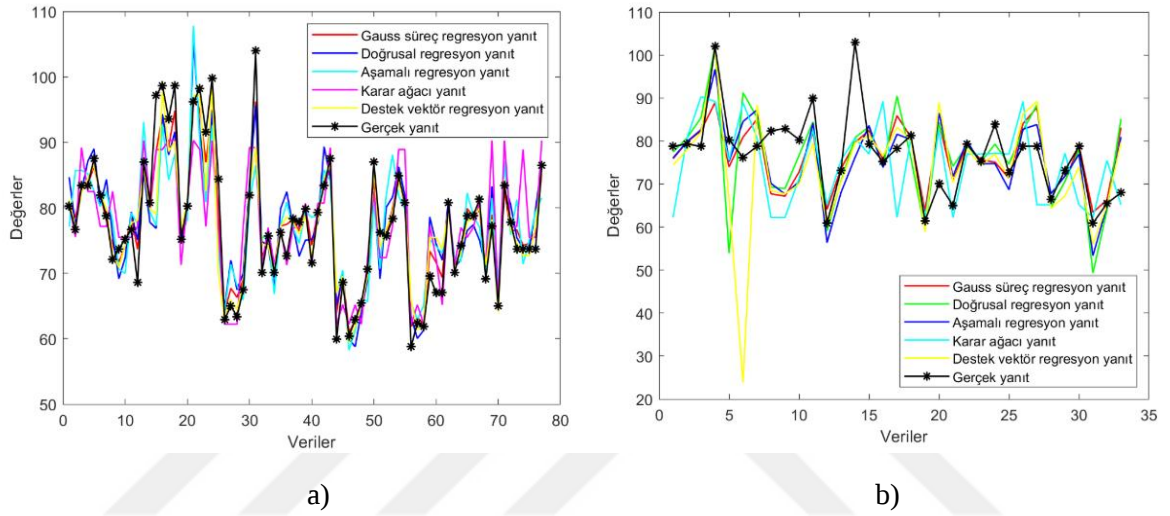
b)

Şekil 4.27: Maliyet modeli için regresyonlara göre gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması
a) eğitim veri seti b) test veri seti (MATLAB, R2020b).

Tablo 4.4 ve Şekil 4.28’de görülen karbondioksit salınımı modeli sonuçlarına göre eğitim veri setinde en iyi performansı R^2 değeri 0,94 ve RMSE değeri 2,5645 ile üstel fonksiyonlu gauss süreç regresyon sağlamıştır. İkinci sırada R^2 değeri 0,83 ve RMSE değeri 4,2745 ile destek vektör regresyon bulunmuştur. Buna karşın test veri setinde en iyi ikinci performansa RMSE değeri 8,1938 ile aşamalı doğrusal regresyon ulaşmıştır.

Tablo 4.4: Karbondioksit salınımı regresyon modelleri performans sonuçları (MATLAB, R2020b).

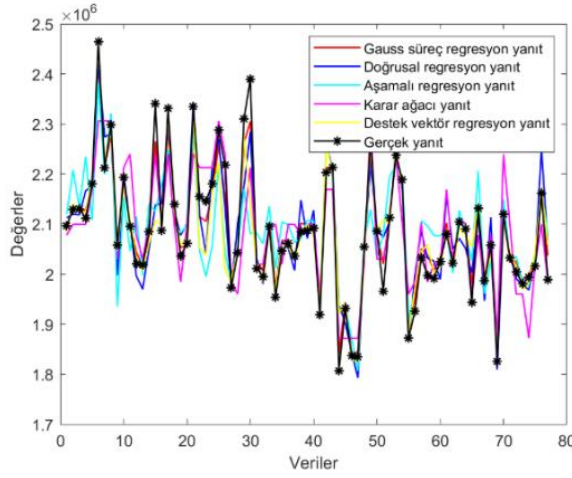
KARBONDİOKSİT SALINIMI	EĞİTİM VERİ SETİ				TEST VERİ SETİ	
	RMSE	R-SQUARED	MSE	MAE	MSE	RMSE
Gauss Süreç Regresyon	2,5645	0,94	6,5767	1,8399	65,7610	8,1093
Doğrusal Regresyon	4,9794	0,76	24,794	3,8103	90,3404	9,5048
Aşamalı Regresyon	5,9193	0,67	35,039	4,6111	67,1375	8,1938
Karar Ağacı Regresyon	5,3509	0,73	28,632	3,8573	107,7786	10,3816
Destek Vektör Regresyon	4,2745	0,83	18,272	2,4465	155,2886	12,4615

**Şekil 4.28:** CO₂ salınımı modeli için regresyonlara göre gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması a) eğitim veri seti b) test veri seti (MATLAB, R2020b).

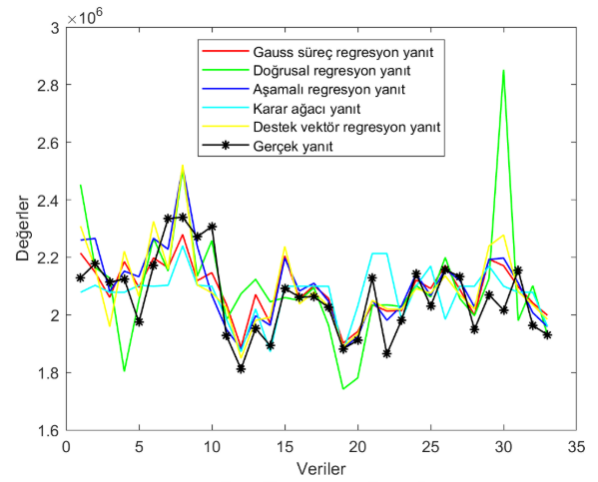
Tablo 4.5 ve Şekil 4.29’da görülen yaşam döngüsü maliyet modelinde R^2 değeri 0,96 ve RMSE değeri 25.536 ile hem eğitim veri setinde hem de test veri setinde RMSE 8,8683e+04 değeri ile en iyi performansı gauss süreç regresyon sağlamıştır. Eğitim veri setinde ikinci en iyi değerler doğrusal regresyona ait olmakla birlikte R^2 değeri 0,84 ve RMSE değeri 52.039, test veri setinde en iyi performansı RMSE değeri 9,0460e+04 ile aşamalı doğrusal regresyon bulunmuştur.

Tablo 4.5: Yaşam döngüsü maliyeti regresyon modelleri performans sonuçları (MATLAB, R2020b).

YAŞAM DÖNGÜSÜ MALİYETİ	EĞİTİM VERİ SETİ				TEST VERİ SETİ	
	RMSE	R-SQUARED	MSE	MAE	MSE	RMSE
Gauss Süreç Regresyon	25536	0,96	6,5207e+08	18550	7,8647e+09	8,8683e+04
Doğrusal Regresyon	52039	0,84	2,708e+09	37852	3,8639e+10	1,9657e+05
Aşamalı Regresyon	78689	0,64	6,1919e+09	58151	8,1831e+09	9,0460e+04
Karar Ağacı Regresyon	64434	0,76	4,1518e+09	47477	1,3420e+10	1,1585e+05
Destek Vektör Regresyon	57766	0,81	3,3369e+09	29771	1,3420e+10	1,1585e+05



a)

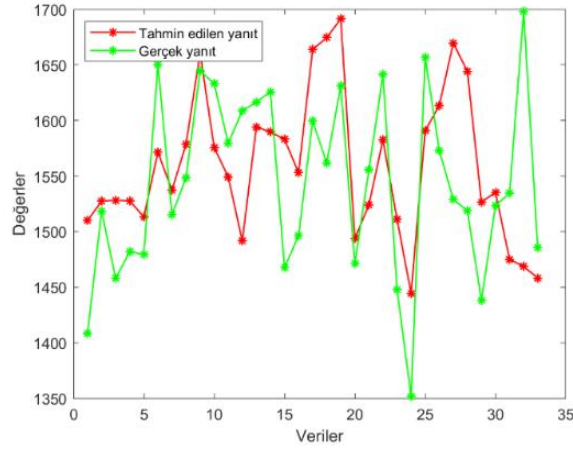


b)

Şekil 4.29: Yaşam döngüsü maliyet modeli için regresyonlara göre gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması a) eğitim veri seti b) test veri seti (MATLAB, R2020b).

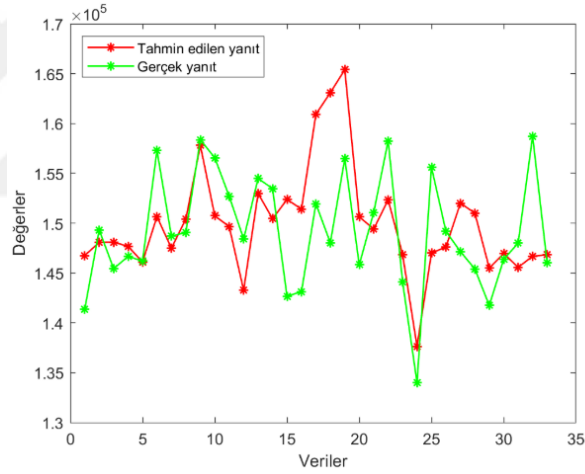
Tüm modellerdeki algoritmalar incelendiğinde test veri setinde en iyi performansı gauss süreç regresyonun sağladığı görülmüş, sonrasında aşamalı doğrusal regresyon ve kübik fonksiyonlu destek vektör regresyon bulunmuştur.

Yukarıda verilen regresyon modelleri dışında, ayrıca derin öğrenme için bir regresyon modeli oluşturulmuştur. Derin öğrenmede diğer regresyon modellerinde olduğu gibi 77 tanesi eğitim veri setini 33 tanesi ise test veri setini oluşturmuştur.



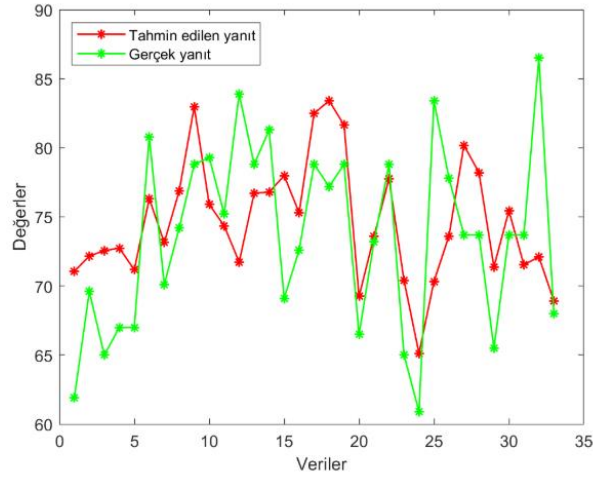
Şekil 4.30: Enerji modeli için test veri setinde gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması (MATLAB, R2020b).

Derin öğrenmede Şekil 4.30’da görülen enerji için oluşturulan model, test veri setinde RMSE değeri 79,2179 ile tüm modeller içerisinde en iyi performansı sağlamıştır.



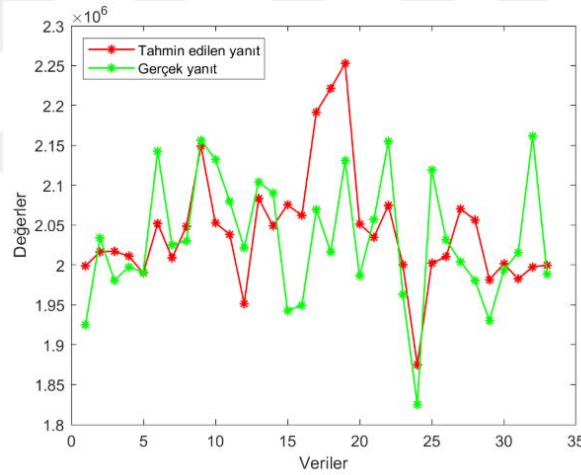
Şekil 4.31: Maliyet modeli için test veri setinde gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması (MATLAB, R2020b).

Şekil 4.31’de verilen Maliyet modelinde tüm regresyon modelleri içerisinde RMSE değeri 5,7654e+03 ile en iyi performansı sağlamıştır.



Şekil 4.32: CO₂ salınımı modeli için test veri setinde gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması (MATLAB, R2020b).

Şekil 4.32’de gösterilen CO₂ salınımı modelinde RMSE değeri 5,8779 değeri ile tüm regresyon modelleri içerisinde en iyi çözümü sunmuştur.



Şekil 4.33: Yaşam döngüsü maliyet modeli için test veri setinde gerçek ve tahmin edilen yanıtların karşılaştırılması (MATLAB, R2020b).

Derin öğrenme ile gerçekleşen Şekil 4.33’de verilen yaşam döngüsü maliyet modelinde RMSE değeri 7,8539e+04 ile tüm regresyon modelleri içerisinde en iyi performansı göstermiştir. Derin öğrenme ile geliştirilen model enerji tüketimi, CO₂ salınımı, toplam maliyet ve yaşam döngüsü maliyetinde gauss süreç, aşamalı, karar ağacı, destek vektör ve doğrusal regresyona göre daha iyi performans göstermiştir.

Bu algoritmalar kullanılarak hastane projesinde Tablo 4.6’da görülen TS 825’e göre hesaplanan ısıl geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayılarına ile enerji tüketimi, karbondioksit salınımı,

elektrik ve yakıttan oluşan toplam maliyet ile 30 yıllık dönemde oluşacak yaşam döngüsü maliyeti kısa bir sürede hesaplanmıştır.

Tablo 4.6: Yapı bileşenlerinin TS 825'e göre ısıl geçirgenlik katsayıları.

TS 825	Çatı	Dış Duvar	İç Duvar	Tavan	Zemin	Döşeme	Kapı	Dış Pencere	İç Pencere
Isıl Geçirgenlik Katsayıları (W/m ² .K)	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9
	0,256	0,254	0,71	3,65	1,776	1,027	2,9639	2,2687	2,2687

TS 825'e göre hesaplanan ısıl geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayıları yapay zeka modelleri ile analiz edilmiş ve Tablo 4.7'de gösterilen sonuçlar bulunmuştur.

Tablo 4.7: TS 825'e göre hesaplanan bina yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik katsayıları için regresyon modellerinin performans sonuçları (MATLAB, R2020b).

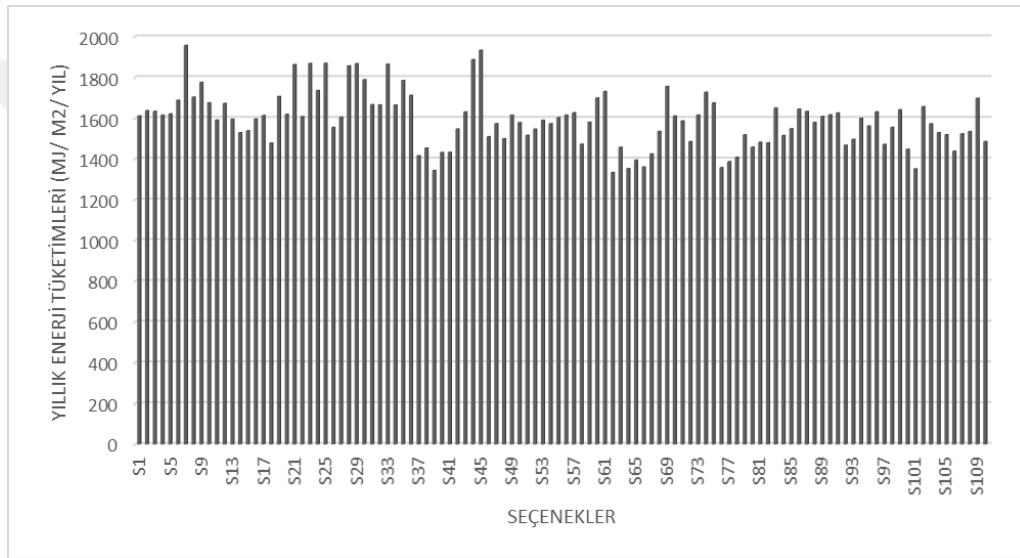
Regresyon	Enerji Tüketimi (MJ /m ² / yıl)	CO ₂ Salınımı (ton)	Toplam Maliyet (\$)	Yaşam Döngüsü Maliyeti (\$)
Gauss Süreç	1.797	86,62	166.390	2.266.200
Doğrusal	2.013	96,10	156.560	2.132.300
Aşamalı	1.978	97,83	161.710	2.202.500
Karar Ağacı	1.788	80,70	162.470	2.212.900
Destek Vektör	1.953	91,66	175.740	2.393.700
Derin Öğrenme	1.644,1	80,54	156.160	2.128.699

4.3. ELDE EDİLEN 110 SEÇENEĞİN DEĞERLENDİRİLMESİ

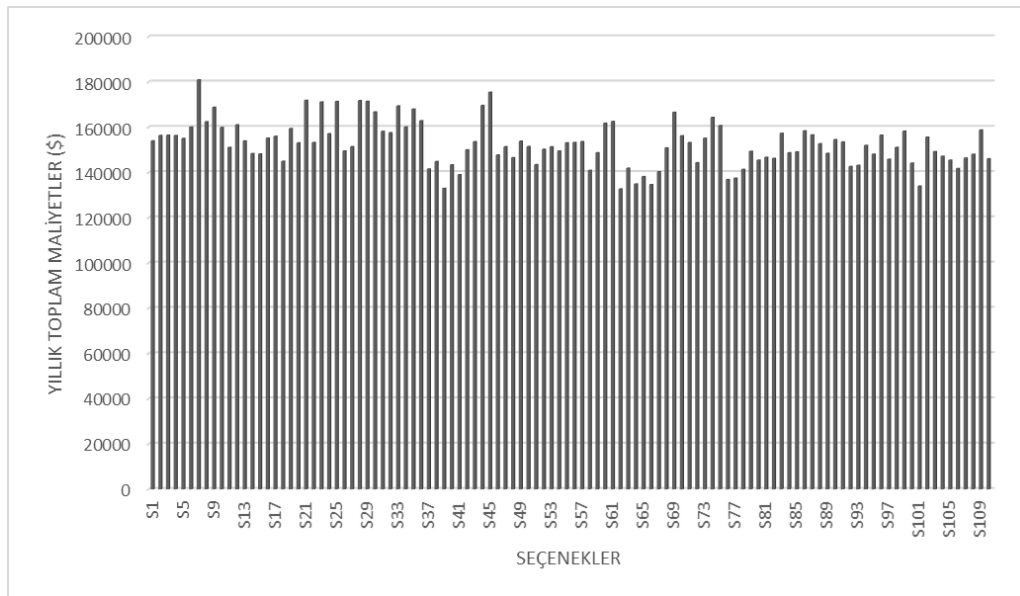
Model için oluşturulan 110 seçenek içerisinde minimum enerji tüketimi, toplam maliyet ve yaşam döngüsü maliyetini sağlayanlar Şekil 4.34'de gösterilmiştir.

Aksaray ili için oluşturulan 110 seçenek içerisinde en az enerji tüketimini, CO₂ salınımını, toplam maliyeti ve yaşam döngüsü maliyetini 62.sırada bulunan seçenek S62 sağlamıştır. Bu seçenekte çatı için ısıl geçirgenlik katsayısı U1 değeri 0,2562 W/m².K, 20,3 cm beton ve 5 cm yalıtım malzemesinden oluşan dış duvar ısıl geçirgenlik katsayısı U2 değeri 0,7256 W/m².K, ara boşluklu çift taraflı tuğla duvar ve sıvadan oluşan iç duvarların ısıl geçirgenlik katsayısı U3 değeri 1,0625 W/m².K, 4 cm ahşap ve R-21 yalıtım malzemesinden oluşan tavan ısıl geçirgenlik katsayısı U4 değeri 0,2214 W/m².K, 15 cm beton, 7,5 cm şap, 13,4 cm selüloz yalıtım malzemesi ve 1,27 cm kalınlığında halıdan oluşan zemin ısıl geçirgenlik katsayısı U5

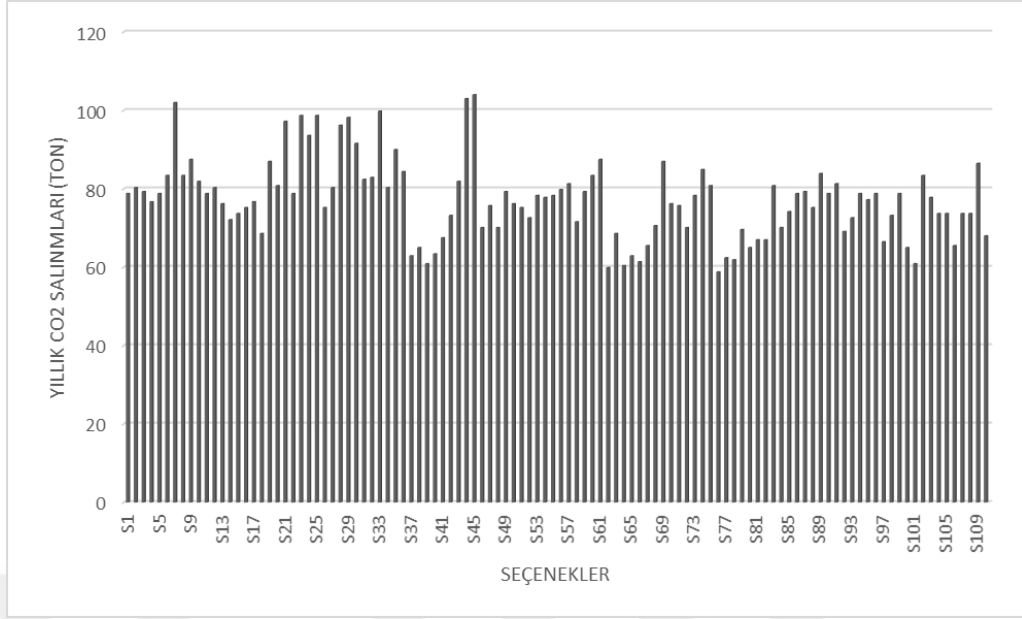
değeri 1,2908 W/m².K, süper yalıtımlı malzemeden oluşan döşeme ısıl geçirgenlik katsayısı U6 değeri 0,2756 W/m².K, 4 cm kalınlıklı ahşap malzemeden yapılmış kapı ısıl geçirgenlik katsayısı U7 değeri 3,8042 W/m².K, yansıtımlı çift cam pencerelerde ısıl geçirgenlik katsayısı U8 ve U9 değerleri 1,9873 W/m².K kullanılmıştır. Güneş ısı kazanım katsayısı 0,17 alınmıştır. Seçenek S62 için oluşturulan bu değerlerle minimum enerji tüketimi yılda 1.333,9 MJ/m², toplam maliyet 132.693 \$ ve yaşam döngüsü maliyeti 1.807.275 \$ olmuştur. CO₂ salınımda en düşük değerli seçenek 76.sırada bulunan S76'da 58,8 ton/yıl olmasına rağmen 62. sıradaki seçenek S62 değeri 59,9 ton/yıl birbirine yakın olması ve 1,1 ton fark sebebiyle CO₂ salınımı içinde yukarıda verilen U değerlerine göre işlem yapılmıştır.



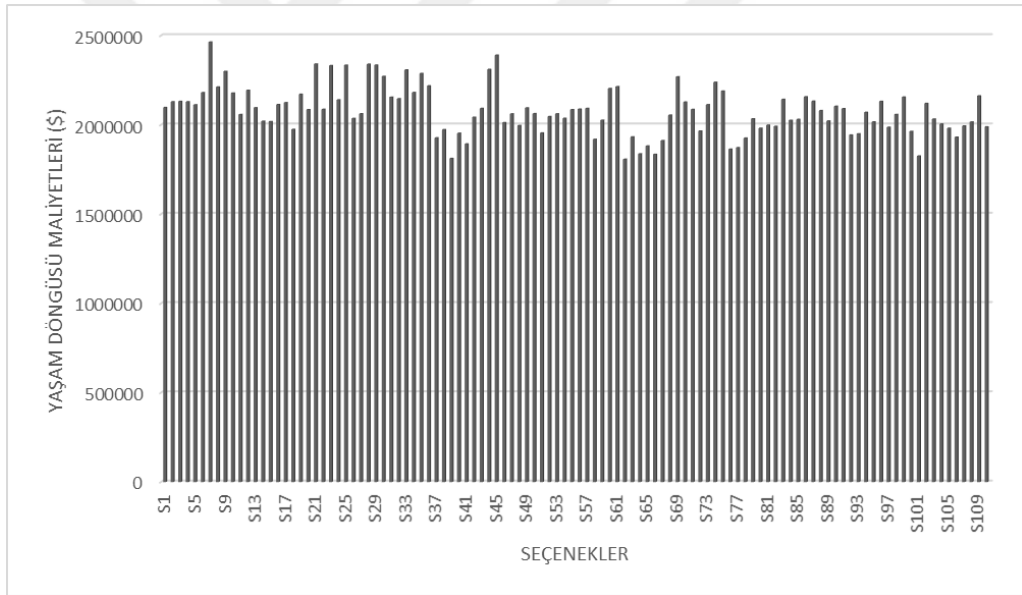
a)



b)



c)



d)

Şekil 4.34: Isıl geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayıları değerlerine göre seçeneklerin aldığı maksimum ve minimum değerlerin a) enerji tüketimleri b) toplam maliyetleri c) CO2 salınımları d) yaşam döngüsü maliyetleri gösterimi (Green Building Studio,2022).

Aksaray ilinde tasarlanan özel hastanenin enerji tüketimi $1.661 \text{ MJ/m}^2/\text{yıl}$ idi. S62 seçeneğinde kullanılan ısıl geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayıları ile minimum enerji tüketimi $1.333,9 \text{ MJ/m}^2/\text{yıl}$ gerçekleşmiştir. Bu seçenekte merkezi değişken hava debili sistem yerine yüksek performanslı ısıtma pompası kullanılması durumunda enerji tüketimi $922,1 \text{ MJ/m}^2/\text{yıl}$ olmuştur. Bu değerler kWh olarak hesaplanırsa;

$$1 \text{ kWh}=3,6 \text{ MJ}$$

$$461,39-256,14=205,25 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$$

$$1.661/3,6 = 461,39 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$$

$$205,25/461,39=\%44,5 \text{ enerji tasarrufu sağlanmıştır.}$$

$$922,1/3,6 = 256,14 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$$

Ayrıca 1.233 m² çatı alanına yapılacak olan fotovoltaiik paneller ile 246.938 kWh enerji elde edilmiştir.

Modelde kullanım alanı 4.092 m²'dir.

$$246.938/ 4.092 = 60,35 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$$

Toplamda 205,25+60,35 = 265,6 kWh/m²/yıl ile 265,6/461,39 = %57,5 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

$$\text{Toplam maliyet}= 158.426-132.693 = 25.733 \$$$

$$25.733/158.426 = \%16,24$$

$$\text{Yaşam döngüsü maliyeti}= 2.157.767-1.807.275 = 350.492 \$$$

$$350.492/2.157.767 = \%16,24$$

$$\text{CO}_2 \text{ salınımı}= 81,3-59,9 = 21,4 \text{ ton/yıl}$$

$$21,4/81,3 = \% 26,3$$

Tasarlanan referans model binaya göre farklı ısıl geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayıları ile yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak yılda % 57,5 enerji tasarrufu sağlamış, toplam maliyet ve yaşam döngüsü maliyetinde % 16,24 ve CO₂ salınımında % 26,3 oranında azalma gerçekleşmiştir.

5. TARTIŞMA

Makine öğrenmesi algoritmaları birtakım özellikleri girdi olarak kullanmakta ve çıktı olarak enerji, elektrik ve aydınlatma tüketimleri, ısıtma ve soğutma enerjilerini elde etmektedir. Girdi parametreleri dış hava koşulları, iç ortam çevre koşulları, bina özellikleri, bina sakinlerinin enerji kullanım davranışı olabilmektedir. Aynı zamanda, geçmiş enerji tüketimleri dikkate alınarak ileriye dönük tahminlerde bulunmaktadır. Kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, global güneş radyasyonu, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, bulutluluk derecesi, basınç, yağış miktarı ve buharlaşma dış hava durumu özellikleri arasında yer almaktadır. İç ortam koşullarının özellikleri oda sıcaklığı, oda bağıl nemi ve iç mekân aydınlatma seviyesi bulunur. Bina karakteristik özellikleri arasında yüzey alanı, duvar alanı, çatı alanı, toplam yükseklik, cam alanı, cam alanı dağılımı, bina duvarlarının ortalama ısı geçirgenlik katsayısı, çatı ısı geçirgenlik katsayısı, bina boyutu katsayısı, dış duvarların güneş radyasyonu emilim katsayısı, doğu, batı, kuzey ve güney pencere duvarı oranları ve gölgeleme katsayıları, zaman özellikleri, günün türü (örneğin, hafta içi, hafta sonu, tatil) gösterilebilir. Bina sakinlerinin enerji kullanım davranışı, doluluk özellikleri arasında bina kullanım planı, ışıklar ve insanlar aracılığıyla ısı kazanımı ve bina sakinlerinin sayısı yer almaktadır.

Model geliştirme çalışmalarının %57'si saatlik, %12'si saat altında, %15 günlük, %4 aylık ve %12'si yıllık enerji tüketimlerini tahmin etmişlerdir (Amasyali ve diğ., 2018).

Modelleme çalışmalarında genellikle birkaç parametrenin kullanıldığı ve daha çok saatlik, dakikalık ya da günlük tahminlere yönelik olup enerji tüketimi, elektrik, ısıtma ya da soğutma ihtiyacı hesaplanmaktadır.

Ekici ve Aksoy (2009) çalışmalarında bina konumu, yalıtım kalınlığı ve bina şeffaflık oranı üç parametre girdi olarak almış ve çıktı olarak ısıtma enerji ihtiyacını bulmuştur. Dış hava sıcaklığı, güneş enerjisi ve malzemelerin termofiziksel özellikleri dikkate alınmamıştır.

Yalcintas (2006) çalışmasında, işletme zamanı, binanın yaşı, alanı, yıllık elektrik kullanımı, aydınlatma için kullanılan yüzdelik elektrik, havalandırma ve fiş yükü yapısal sinir ağına girdi olarak almış ve aylık enerji kullanım yoğunluğunu bulmuştur.

Hong ve diğ. (2013) yapısal sinir ağı modeline doğu, batı, kuzey ve güney pencere oranları, cam tipi, çatı şekli ve camı, ısıtma ve soğutma gün derecelerini girdi ve yıllık enerji kullanım yoğunluğunu çıktı olarak hesaplamışlardır.

Zhang ve diğ. (2013) dış hava sıcaklıklarını, yıllık elektrik ve gaz tüketimlerine göre saatlik ısıtma ve soğutma yüklerinin bulunduğu gauss süreç ve doğrusal regresyon modeli geliştirmişlerdir.

Yokoyama ve diğ. (2009) yapısal sinir ağı modelinde sıcaklık ve bağıl nem kullanarak saatlik soğutma enerjisini bulmuşlardır.

Noh ve Rajagopal (2013) aydınlatma ve ısıtma, soğutma ve havalandırma sisteminden elde ettikleri dakikalık ve saatlik hava verileriyle gauss süreç regresyon modelinde günlük enerji tüketimlerini tahmin etmişlerdir.

Karatasou ve diğ. (2006) sıcaklık, güneş radyasyonu, nem oranı ve rüzgar hızını kullanarak yapısal sinir ağıyla enerji ihtiyacını tespit etmişlerdir.

Neto ve diğ. (2008) sadece sıcaklık girdisi ve daha karmaşık (sıcaklık/bağıl nem/güneş radyasyonu girdileri) ile günlük enerji ihtiyacını yapısal sinir ağlarıyla modellemişlerdir.

Dong ve diğ. (2005) hava durumu verilerini içeren aylık ortalama dış ortam kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem ve global güneş radyasyonu üç girdi özelliği olarak destek vektör regresyonda kullanarak enerji tüketimi tahmini yapmışlardır.

Bu model geliştirmelerin ortak özellikleri girdi parametrelerinde daha çok dış hava koşullarını kullanması ve kısa süreli saatlik, günlük sonuçlar üretmesidir. Modelimizde dış hava koşulları ile birlikte bina karakteristiklerini, aydınlatma ve güç yük yoğunlukları, metrekare başına düşen kişi sayısı ile birçok parametre kullanılarak uzun süreli yıllık enerji elektrik ve yakıttan oluşan toplam maliyet, CO₂ salınımı ve yaşam döngüsü maliyeti tahmini yapılmıştır.

Sera gazlarının insan sağlığına ve ölüm oranlarına etkisi ile ilgili değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

Daha fazla salınım ve daha fazla enerji kullanımına sahip ülkelerde Covid hastalığına yakalanan veya ölü insan sayısı daha yüksek olduğu bulunmuştur (de Alcañiz ve diğ.,2020).

Karbon seviyelerinin insan sağlığını etkilemeden önce milyonda en az 5.000 parça (ppm) çok yüksek bir konsantrasyona ulaşması gerektiği düşünölmüşü. Ancak son araştırmalar 1.000 ppm kadar düşük karbon seviyelerinin, maruziyet sadece birkaç saat sürse bile sağlık sorunlarına neden olabileceğini göstermiş. Ayrıca 2.000 ila 3.000 ppm arasındaki seviyelere uzun süre maruz kalmanın stres, böbrek kalsifikasyonu ve kemik demineralizasyonu gibi etkilere bağlı olduğunu gösteren kanıtlar da bulunmuş (Sancar ve Bostancı, 2020).

Hindistan için sanayileşme, CO₂ salınımı ve ölüm oranları arasındaki nedensel ilişkiler ile ilgili olarak 1971-2010 dönemine ait veriler elde edilmiş. Bebek ölüm oranındaki değişiklikler ile CO₂ salınımindaki büyüme arasında çift yönlü nedensel ilişkiler bulunmuş (Sinha, 2014).

1990–2010 döneminde 60 gelişmekte olan ölkede PM10 ve CO₂ hava kirleticilerinin bebek ölümleri ve doğumda beklenen yaşam süresi üzerindeki etkileri incelenmiş ve CO₂, PM10 ve alkol tüketimindeki %1'lik bir artışın, doğumda beklenen yaşam süresinde sırasıyla yaklaşık 0,010-0,013, 0,015 ve 0,003-0,009 oranında azalmaya yol açacağını göstermiş ve bebek ölümlerinde sırasıyla 0,4, 0,13-0,18 ve 0,02-0,03 yüzde artış bulunmuş. Böylece kişi başına alkol tüketiminin sağlık durumuna olumsuz etkisinin CO₂ ve PM10 kirleticilerinden çok daha az olduğu görölmüş (Fotourehchi, 2016). Sera gazı salınımlarındaki %1'lik artışın yaşam beklentisini %0,0422 oranında azalttığı tespit edilmiş (Matthew ve diğ., 2018).

Vehviläinen ve diğ. (2016) çalışmalarında, gönüllü erkek denekleri hem havalandırılan, hem de havalandırılmayan bir ortamda, bir ofis odasında 4 saatlik üç çalışma toplantısında izlemiş. Çevresel parametreler CO₂, sıcaklık ve bağıl nem ölçölmüş. Bulgular, iç ortam havasındaki CO₂ konsantrasyonundaki düşük veya orta düzeydeki artışların, dokularda daha yüksek CO₂ konsantrasyonları, kalp hızı varyasyonunda değişiklikler oluşturduğu ve yüksek CO₂ konsantrasyonuna maruz kalma sırasında periferik kan dolaşımında artış bulunmuş. Ayrıca iç mekân havasındaki yüksek CO₂ konsantrasyonunun, tesis kullanıcısının işlevsel yeteneğini azaltabilecek fizyolojik etkilere neden olabileceği bulunmuş.

Düşük havalandırma oranları ve daha yüksek insan yoğunluğunun olduğu ortamlarda insan biyo atıklarının eşlik ettiği karbondioksit (CO₂) birikimine yol açtığı bulunmuş. Fizyolojik ölçümler kullanılarak CO₂ ve biyolojik atıkların etkisini değerlendirmek için araştırmalar yapılmış ve düşük bilişsel performansla ilişkilendirilmiş. Bilişsel performanstaki azalmanın, insandaki CO₂ tutulmasından dolayı akciğerlerde gaz transferinin düşmesi nedeniyle olduğu ileri sürölmüş. Shriram ve diğ. (2019) çalışmalarında, biyo atıklarla değişen CO₂ konsantrasyonlarında akciğer performans fonksiyonlarını elde etmek ve bunların gaz değişim mekanizması üzerindeki

etkilerini araştırmış. Sekiz sağlıklı erkek gönüllü ile dört farklı maruziyet koşulunda (ortam, 1.000 ppm, 2.000 ppm ve 3.000 ppm) 3 saatlik bir süre boyunca analiz yapılmış. Akciğer bölgesinde gaz transferinin azaldığını gösteren kısıtlayıcı bir akciğer davranışına ilişkin kanıtlar bulunmuş.

Kajtar ve Herczeg (2012) çalışmalarında 10 denegi 2-3 saat boyunca 3.000 ppm ye kadar seviyelere maruz bırakmış, deneklerin diyastolik kan basıncında bir artış ve kalp hızı değişkenliğinin orta frekans bileşenlerinde bir azalma gözlemlemiştir. Ayrıca CO₂ seviyesi arttığında okuma testi performansının daha düşük olduğunu tespit etmiş. Denekler yorgunluk, refah ve konsantrasyon yeteneğinde azalma bildirmişler.

Satish ve diğ. (2012) 22 denegi yapay olarak yüksek CO₂'ye maruz bırakmış, 1.000 ppm ve 2.500 ppm sonucu yüksek bilişsel yük altında karar verme performanslarını ölçen bir dizi testten geçirmiş. Deneklerin performansında sistematik bir düşüş gözlemlemiştir.

Allen ve diğ. (2016) 24 denegi 8 saat boyunca 1.400 ppm ye kadar seviyelere maruz bırakmış. CO₂ seviyeleri yaklaşık 550 ppm CO₂ seviyelerine kıyasla, 945 ppm ve 1.400 ppm de karar verme yeteneğini gösteren birkaç bilişsel işlev alanında önemli ölçüde azalma gözlemlenmiştir.

Hastaneler insan yoğunluğunun fazla olduğu yerler olması dolayısıyla bu etkilere daha da açık hale gelmektedir. CO₂ salınımının insanlar üzerindeki olumsuz sonuçları yukarıda açıklanmıştır. Bu etkileri azaltabilecek önlemler almak önemlidir.

Bu bağlamda Aksaray ili için hastane binasında referans modele göre en kötü senaryoların gerçekleşmesi durumunda CO₂ salınımında gerçekleşen durumlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Binanın bulunduğu konuma göre saat yönünde 270° döndürülmesi CO₂ salınımında %3,81'lik bir artışa neden olmuştur.
2. Çatılarda kullanılacak malzemelerde ısı direnç katsayısının azalmasına göre CO₂ salınımı %18,33 oranında artırmıştır.
3. Duvarlarda yalıtım kullanılmaması CO₂ salınımında % 10,09 artış oluşturmuştur.
4. Doğu, batı, kuzey ve güney cephelerinde pencere duvar oranlarının %95 olması durumunda CO₂ salınımları sırasıyla %4,43, %8,24, %17,10 ve %12,05 oranlarında artmıştır.

Pencere kullanılmaması durumunda ise doğu ve batı cephelerinde bir değişiklik olmamış, güney cephesinde %3,69 ve kuzey cephesinde % 2,46 oranında düşüş gerçekleşmiştir.

5. Hava sızmasının artması saatte 2 ach ve aydınlatma etkinliğinin azalması $3,23 \text{ W/m}^2$ olması, CO₂ salınımında sırasıyla %4,43 ve % 5,66'lık artışa neden olmuştur.

6. Yüksek performanslı ısıtma pompası kullanmak CO₂ salınımında %90,5'luk düşüş sağlamıştır.

7. S62 seçeneğinde kullanılan uygun nitelikteki malzemelerle CO₂ salınımı % 26,3 oranında azaltılmıştır.

Sera gazının eksikliği Dünya'nın çok soğuk olmasına, tersi durumu ise çok sıcak olmasına neden olmaktadır. Sera gazları ile ilgili uzun dönemli hedef, küresel sıcaklık artışının 2°C'nin olabildiğince altında tutulmasıdır. Bu hedef fosil yakıt (petrol, kömür) kullanımının azaltılması ve binaların malzeme, konum, aydınlatma, hava sızması, pencere/duvar oranları, çatı ve duvarlarda yalıtım kullanılması, ısıtma-soğutma ve havalandırma sistemlerinin CO₂ salınımını azaltacak şekilde tasarlanması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanılmasıyla mümkün olacaktır.

Bu çalışmada Revit mimari çizim programı ile Green Building Studio (GBS) uyumlu olduğu için modelde kullanılmıştır. Revit model program içerisinden direkt gönderilebilmekte bunun dışında gbXML dosyası olarak kaydedilerek, GBS'ya yüklenebilmektedir. Diğer çizim programlarından direkt GBS'ya aktarım yapılamamaktadır. Allplan dosyası revite aktarılmakta ama üzerinde işlem yapılamadığından GBS'ya transfer edilememektedir. Eğer herhangi bir çizim programından bir model manuel olarak gbXML formatında GBS'ya yükleme yapılacaksa, yapılması gereken değişikliklerden sonra gbXML dosyası halinde bilgisayara yüklemek ve sonrasında bilgisayardan GBS' ya transfer edilmesi gerekmektedir, ayrıca sisteme girilmesi gereken birçok parametre vardır, bunların hepsi tek tek girilmelidir. Bir diğer husus Revit model direkt olarak GBS'ya gönderilmek istendiğinde, GBS'da layer sorunu hatası vermekte ve dolayısıyla analiz yapılamamaktadır, Revit kütüphanesindeki yapı bileşenleri kullanıldığında sorun çözülmektedir. Dosya manuel olarak yüklendiğinde ise hem parametreler sisteme girilmeli hem de parametrelerin etkisini görmek için her bir alternatif tek tek oluşturulmak zorundadır. Duvar yalıtım kalınlıklarının artırılması ya da yapı yalıtım

malzemesinin değiştirilerek kalınlığının artırılması enerji tüketiminde çok az bir düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir.

Genel olarak projelerde birçok ekip birlikte çalışmaktadır, mimar, mühendis, mekanik, elektrik tesisat ve bu ekipler Bina bilgi modelleme (BIM) araçlarından birini, firma tarafından tercih edileni, çizim ve statik program olarak kullanmaktadır. Her çalışma ekibinin yaptığı çalışmalar bir havuzda toplanmakta ve birbirlerinin yaptığı çalışmaları görebilmekteler. Bir ekibin Allplan çizim programındaki verileri, başka bir ekip Revit kullanıyorsa ve çizim programına aktarımı sağlanırken bazı layerler eksilmekte ya da görülememektedir. Programlar arası geçişlerde ekstra sorunlar çıkmaktadır. Dolayısıyla özellikle büyük ölçekli projelerde çizimlerin enerji analizi için GBS'ya direkt aktarımı sırasında hata verme olasılığı oldukça yüksektir, manuel olarak yüklendiğinde ise her bir alternatifin incelenmesi çok uzun zaman alacaktır.

Bu işlemleri hızlandırmak ve hem dünya genelindeki standartlarda hem de TS 825 yönetmeliğine uygun hesaplanan ısı geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayıları ile yapay zeka modeli oluşturarak enerji, maliyet ve CO₂ salınımını hesaplamak diğer bahsedilen yöntemlere göre daha avantajlı olduğu açıktır, örneğin bir işveren projesinde enerji tüketiminin yılda 1.300 MJ/m²'yi, toplam maliyetin 140.000 doları, 30 yıl içerisinde oluşacak yaşam döngüsü maliyetinin 2 milyon doları ve CO₂ salınımının da 60 tonu geçmemesini istediğinde bunu günlerce sürecek geleneksel yöntemlere göre makine öğrenmesi algoritmaları ile dakikalar içerisinde hesaplamak mümkün olacaktır.

Yukarıda bahsedildiği üzere hem birçok mimari program arasında aktarım sırasında yaşanan hatalar hem de projelerde alternatif oluşturmak için yeterli zaman olmayışı hızlı ve etkin çözümü gerektirmektedir.

Model çalışmada kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarından derin öğrenme daha çok görüntü işleme, ses tanıma, çeviri alanlarında kullanılmaktadır. Derin öğrenme algoritmasının yıllık enerji, maliyet ve CO₂ salınımı tahmini alanında da iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Analiz sonuçları incelendiğinde ısı pompalarının enerji tüketimini ve CO₂ salınımını oldukça düşürdükleri görülmüştür. Performans etkinlik COP değeri 4 olan bir ısı pompası her bir kW elektrik tüketiminden 4 kW ısı üretebilir. Ortalama bir evde yılda 12.500 kWh ısı gerektiği düşünülürse bu evde ısı pompası kullanılırsa 3.125 kW elektrik tüketecektir. Modelde ısı pompası elektrik tüketimini artırsa bile, yakıt tüketimini oldukça azalttığı için CO₂ salınımı ve

toplam maliyet düşmüştür. Fazla kullanılmama nedeni maliyetlerinin yüksek olması, örneğin 120 m² bir yer için ortalama 90.000 tl olmaktadır.

Dikkat çeken hususlardan biri de cephelerde hiç pencere olmaması durumunda harcanan enerjinin ideal olan çözüm ile pencere duvar/oranının %30 olması durumunda çok yakın, örneğin güney cephesinde 5 MJ farkın olmasıdır. Pencere/duvar oranının artması kış şartlarında ısıyı artırması dolayısıyla iyi olmasına rağmen, yazın fazla ısınma sonucu soğutma ihtiyacından dolayı enerji tüketimi ve maliyeti artırmış olacaktır.

Bina konumlandırmasının iyi olmaması durumunda yılda 70 MJ/m² ye kadar fark oluşturabileceği enerji, maliyet ve CO₂ salınımlarında %3-%4 arasında artış sağladığı bulunmuştur. Aydınlatma, makine ve ekipmanların hastaneler gibi 24/7 çalışılan yerlerde uzun süre açık tutulması enerji tüketimi ve maliyetlerini artırmaktadır, bu durumda makinelerin ve cihazların kullanılmadığı zamanlarda fişlerin prizden çekilmesi ve aydınlatmanın normal lambalara oranla %90 daha az enerji harcayan LED lambalarla yapılması ve gün içerisinde gün ışığından yararlanılması enerji ihtiyacının azalmasına önemli derecede katkı yapacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fosil enerji kaynaklarının tüketiminin, yıllar içinde nüfus artışı ile birlikte yükselmesi sonucu sera gazı olarak da bilinen CO₂ salınımları da önemli ölçüde artmıştır. Sera gazının kaynağını da bu yakıtlar oluşturmakta ve ozon tabakasının delinmesine neden olmaktadır.

Küresel iklim değişikliklerinin oluşmasında sera gazının etkileri büyüktür. Bu etkilere karşı çözümler üretmek için uygun yapısal eleman ve malzeme seçiminin yapılması, insan sağlığına olumlu katkıları olan ortam şartlarını sağlayacaktır. Günümüzde enerji özellikle sanayi, konut ve ulaştırma gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Özellikle binalarda tüketilen enerji miktarı, toplam enerji tüketimi içerisinde %40 civarına yaklaşmıştır. Günümüzde insanların konfor ihtiyaçları artmakla birlikte dünyada yaşanan krizler enerji fiyatlarındaki dalgalanmalara arz talep dengesinin bozulmasına neden olmuştur. Yaşanan bu olumsuzluklar sonucunda enerji verimli, neredeyse sıfır enerjili ya da sıfır enerjili, yeni artı enerjili binalara yönelimi artırmıştır. Bunu gerçekleştirmek için (solar, jeotermal, rüzgâr vb.) yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmıştır. Türkiye de 2022 yılında %20,9'a kadar çıkmıştır. Bu bağlamda Avrupa Birliği 2050, Türkiye ise 2023 yılına kadar enerji ihtiyacının %30'unu yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamayı hedeflemektedir. Enerji verimli binalar; enerjisini kendi karşılayabilen hatta daha fazla üretirse genel elektrik şebekesine satış yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Özel hastane projesi ile amaçlanan enerji verimli, daha az elektrik ve yakıt kullanımı ile düşük maliyetli, CO₂ salınımını azaltarak minimum yaşam döngüsü maliyetini sağlayan bir modelin oluşturulmasıdır. Bu hedef doğrultusunda Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesinden seçilen İstanbul, Mersin, Aksaray, Malatya, Mardin, Aydın ve Samsun illeri için revit mimari programda uygulanan üç boyutlu modelin Green Building Studio da enerji kullanım yoğunlukları, toplam maliyetleri ve yaşam döngüsü maliyetleri ile CO₂ salınımları bulunmuştur. Enerji kullanım yoğunluğu diğerlerine göre daha yüksek olan Aksaray ili için detaylı analizler yapılmıştır. Makine öğrenmesi algoritmaları ile oluşturulan 110 farklı seçenek için %70'i eğitim ve %30'u test veri setini oluşturacak şekilde model geliştirilmiş ve performansları kök ortalama kare hataya göre değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre;

1. Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesinden seçilen yedi il için yapılan analizler sonucunda; enerji tüketimi, karbondioksit salınımı, toplam maliyet ve yaşam döngüsü maliyetine göre en yüksek değerlere Aksaray, Malatya ve Mardin illerinde, en düşük değerlere ise İstanbul, Aydın ve Mersin illerinde ulaşıldığı görülmüştür.

2. Aksaray ili için enerji verimliliği açısından en iyi çözümün yüksek performanslı ısıtma pompası kullanılması olduğu tespit edilmiştir. Hem enerjide hem de CO₂ salınımında önemli derecede etkili olduğu görülmüştür.

3. Aksaray ili için toplam maliyet açısından bakıldığında aydınlatma etkinliği 20,45 W/m² olduğunda 188.455,8 \$ ile en yüksek değere ulaşmıştır. İşletme zamanı 12/5 olduğunda 133.046 \$ ile en düşük toplam maliyet gerçekleşmiştir.

4. Aksaray ilinde karbondioksit salınım miktarlarına göre çatı konstrüksiyonu yalıtımsız ve ısıl geçirgenlik katsayı değeri 4,2695 W/m²K olduğunda 96,2 ton ile en yüksek salınım değerine ulaşmış, yüksek performanslı ısıtma pompası sistemi kullanıldığında 7,7 ton ile en düşük seviyeye gelmiştir.

5. Aksaray ilinde yaşam döngüsü maliyetlerinde otuz yıllık dönemde aydınlatma etkinliği 20,45 W/m² olduğunda 2.566.889 \$ ile en yüksek seviyeye ulaşmış, işletme zamanı 12/5 olduğunda 1.812.174 \$ ile en düşük maliyet oluşmuştur.

6. Aksaray ili için genel olarak tüm cepheler yorumlandığında, en uygun çözümün pencere/duvar oranının %30 olması ve gölgelemenin tüm cephelerinde pencere yüksekliğinin 2 /3'ü oranında olması olduğu görülmüştür.

7. Aksaray ilinde binanın bulunduğu konuma göre 180° döndürülmesi, kuzey-güney ile batı-doğu cephelerinin yer değiştirmesi durumunda, enerji tüketiminde, toplam maliyetinde, CO₂ salınımında ve yaşam döngüsü maliyetinde azalma olmuştur. Binaanın bulunduğu konuma göre otuz yıllık dönemde yakıt ve elektrik maliyetlerinin toplamından oluşan yaşam döngüsü maliyetinde en iyi ve en kötü döndürme açıları 180°-270° seçildiğinde 83.235 \$ tasarruf sağlandığı görülmüştür.

8. Aksaray ili için aydınlatma etkinliği, fiş yükü, hava sızma oranı ve işletme zamanları değerleri azaldıkça tüketilen enerji, toplam maliyet ve yaşam döngüsü maliyetleri düşmüştür. İstisna olarak CO₂ salınımı, aydınlatma etkinliği ve fiş yükü arttıkça azalmıştır.

9. Aksaray ili için duvarlarda ve çatılarda yalıtım kullanılmaması yüksek enerji tüketimine, toplam maliyetine, CO₂ salınımına ve yaşam döngüsü maliyetine sebep olduğu görülmüştür.

10. Yapay zeka algoritmaları içerisinde en iyi sonucu derin öğrenme sağlamıştır. Sonrasında gauss süreç regresyon gelmiştir.

11. Tüm seçenekler incelendiğinde farklı ısıl geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayıları ile yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak referans model binaya göre yılda % 57,5 enerji tasarrufu sağlamış, toplam maliyet ve yaşam döngüsü maliyetinde % 16,24 ve CO₂ salınımında % 26,3 oranında azalma gerçekleşmiştir.

12. Makine öğrenmesi algoritmalarıyla enerji tüketimini, CO₂ salınımını, toplam ve yaşam döngüsü maliyetini tahmin eden modeller geliştirilmiştir. Böylece, dünya genelinde kullanılan standartlara ve TS 825'e göre hesaplanan ısıl geçirgenlik ve güneş kazanım katsayıları ile hızlı çözümler üretilmiştir.

Hastane binaları 24/7 işletilen yerler olması aydınlatma, tıbbi cihazların devamlı çalıştırılması sıcaklık, nem, hava akımı gibi unsurların belli standartlarda olması gerektiğinden dolayı, enerji krizinde de tedbirlerin dışında bırakılması örneğinde görüldüğü gibi, enerji tüketiminin yoğun olduğu yerlerdir. Bu çalışma ile hastane binalarında enerji verimli çözümler üretilmeye çalışılmıştır. Bu çözümlerle birlikte hava toplayıcı cephelerde rüzgarın güneş enerjisiyle belli oranlarda ısıtılarak içeriye salınması, ısı kapasitesi yüksek malzemeler kullanmak, su ve hava ile çalışan ısıtma pompaları, yerden belli derecelerde gelen suyun sıcaklığını ya da yerüstü hava yoluyla borulardan sonrasında yeraltından geçerek ısınan havanın sıcaklığının daha da artırılması ile ortamın ısıtılması sağlanabilir. Ayrıca güneş kolektörleri ile ısınan suyu, sıcak su olarak ve jeotermal enerji kullanılırsa yeraltından gelen belli derecelerdeki suyun sıcaklığını artırmada etkili olabilir. Çatılarda yeşil bitki örtüsü yazın aşırı sıcaklarda serinletme özelliği gösterir. Havuz suyunun buharlaşması ayrıca serinletir. Çatı pencerelerinin kullanılması doğal aydınlatmayı artıracaktır.

Enerji verimli uygulamalar ile birlikte makine öğrenmesi algoritmaları hızlı çözümler üretmek için en ideal yollardan biridir. Makine öğrenmesinde sadece bir iklim bölgesine Aksaray'a göre toplanan veriler, Türkiye'nin tüm bölgeleri için elde edilebilir. Böylece ileride üç boyutlu çizim programlarına ve enerji simülasyon programlarına gerek kalmadan makine öğrenmesi algoritmaları ile hızlı çözümler üretilmesi mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abanda, F. H., Byers, L., 2016, An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling), *Energy*, 97, 517-527.
- Akguc, A., 2018, *ASHRAE 90.1 2010 - Appendix G'ye göre Referans Bina Tanımı ve Mekanik Sistem Seçimi*, <https://www.ttmd.org.tr/PdfDosyaları/Dergi-Eki-113-1-1.pdf>, [Ziyaret tarihi: 5 Nisan 2022].
- Allen, J. G., Macnaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J., Spengler, J., 2016, Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments, *Environmental Health Perspectives*, 124, 805-812.
- Amasyali, K., El-Gohary, N., 2018, A review of data-driven building energy consumption prediction studies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1192-1205.
- Ascione, F., Bianco, N., De Stasio, C., Mauro, G. M., Vanoli, G., 2016, Multi-stage and multi-objective optimization for energy retrofitting a developed hospital reference building: A new approach to assess cost-optimality, *Applied Energy*, 174, 37-68.
- Aydinalp, M., Ugursal, V. I., Fung, A. S., 2004, Modeling of the space and domestic hot-water heating energy-consumption in the residential sector using neural network, *Applied Energy* 79, 159-178.
- Berardi, U., 2015, Building energy consumption in US, EU, and BRIC countries, *ScienceDirect*, 118, 128-136.
- Bodart, M., De Herde, A., 2002, Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting, *Energy and Buildings*, 34, 421-429.
- Bolattürk, A., 2006, Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey, *ScienceDirect*, 26, 1301-1309.
- Boyano, A., Hernandez, P., Wolf, O., 2013, Energy demands :and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations, 65, *Energy and Buildings*, 19-28.
- Calise, F., D'accadia, M. D., Libertini, L., Quiriti, E., Vicidomini, M., 2017, A novel tool for thermoeconomic analysis and optimization of trigeneration systems: A case study for a hospital building in Italy, *ScienceDirect*, 126, 64-87.

- Çomaklı, K., Yüksel, B., 2003, Optimum insulation thickness of external walls for energy saving, *Applied Thermal Engineering*, 23, 473-479.
- De Alcañiz, J. G., Romero-Lopez, J., Martínez-Esteban, R., López-Rodas, V., Costas, E. , 2020, *What variables can better predict the number of infections and deaths worldwide by SARS-CoV-2? Variation through time*, https://web.archive.org/web/20201107140737id_/https://www.medrxiv.org/content/medrxiv/early/2020/07/03/2020.06.04.20122176.full.pdf, [Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2021].
- Delgarm, N., Sajadi, B., Kowsary, F., Delgarm, S., 2016, Multi-objective optimization of the building energy performance: A simulation-based approach by means of particle swarm optimization (PSO). *Applied Energy*, 170, 293-303.
- Dombaycı, Ö. A., Gölcü, M., Pancar, Y., 2006. Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources, *Applied Energy*, 83, 921-928.
- Dong, B., Cao, C., Lee, S.E., 2005, Applying support vector machines to predict building energy consumption in tropical region, *Energy and Buildings*, 37, 545-553.
- Dutta, A., Samanta, A., Neogi, S., 2017, Influence of orientation and the impact of external window shading on building thermal performance in tropical climate, *Energy and Buildings*, 139, 680-689.
- Ekici, B. B., Aksoy, U.T., 2009, Prediction of building energy consumption by using artificial neural networks, *Advances in Engineering Software*, 40, 356-362.
- Evin, D., Ucar, A., 2019, Energy impact and eco-efficiency of the envelope insulation in residential buildings in Turkey, *Applied Thermal Engineering*, 154, 573-584.
- Farhanieh, B., Sattari, S., 2006, Simulation of energy saving in Iranian buildings using integrative modelling for insulation, *Renewable Energy*, 31, 417-425.
- Fotourehchi, Z., 2016, Health effects of air pollution: An empirical analysis for developing countries, *Atmospheric Pollution Research*, 7, 201-206.
- Garcia-Sanz-Calcedo, J., Al-Kassir, A., Yusaf, T., 2018, Economic and Environmental Impact of Energy Saving in Healthcare Buildings, *Applied Sciences-Basel*, 8.
- Gassar, A., Yun, G., 2017, Energy Saving Potential of PCMs in Buildings under Future Climate Conditions, *Applied Sciences-Basel*, 7.
- Goia, F., 2016, Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential, *Solar Energy*, 132, 467-492.
- Gonzalez, A., Garcia-Sanz-Calcedo, J., Salgado, D., 2018, A quantitative analysis of final energy consumption in hospitals in Spain, *Sustainable Cities and Society*, 36, 169-175.
- Grözinger, J., Boermans, T., John, A., Seehusen, J., Wehringer, F., Scherberich, M., 2014, Overview of Member States information on nZEBs.

- Gustafsson, M., Dipasquale, C., Poppi, S., Bellini, A., Fedrizzi, R., BALEs, C., Ochs, F., Sié, M., Holmberg, S., 2017, Economic and environmental analysis of energy renovation packages for European office buildings, *Energy and Buildings*, 148, 155-165.
- Hatamipour, M., Mahiyar, H., Taheri, M., 2007, Evaluation of existing cooling systems for reducing cooling power consumption, *Energy and Buildings*, 39, 105-112.
- Hong, S.-M., Paterson, G., Burman, E., Steadman, P., Mumovic, D., 2013, A comparative study of benchmarking approaches for non-domestic buildings: Part 1–Top-down approach, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2, 119-130.
- https://download.autodesk.com/us/revit_mep_2016/constructions-revised.pdf, [Ziyaret Tarihi: 7 Mayıs 2021].
- <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=13594&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>, [Ziyaret Tarihi: 18 Şubat 2022].
- http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/cf3e258fbdf3eb7_ek.pdf, [Ziyaret tarihi: 15 Mart 2022].
- Ilbeigi, M., Ghomeishi, M., Dehghanbanadaki, A., 2020, Prediction and optimization of energy consumption in an office building using artificial neural network and a genetic algorithm, *Sustainable Cities and Society*, 61, 102325.
- Kajtár, L., Herczeg, L., 2012, Influence of carbon-dioxide concentration on human well-being and intensity of mental work, *Quarterly Journal of Hungarian Meteorological Service*, 116, 145-169.
- Kalamees, T., 2007, Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached houses in Estonia, *Building and Environment*, 42, 2369-2377.
- Karatasou, S., Santamouris, M., Geros, V., 2006, Modeling and predicting building's energy use with artificial neural networks: Methods and results, *Energy and Buildings*, 38, 949-958.
- Lazzarin, R., Castellotti, F., Busato, F., 2005, Experimental measurements and numerical modelling of a green roof, *Energy and Buildings*, 37, 1260-1267.
- Lei, L., Chen, W., Wu, B., Chen, C., Liu, W., 2021, A building energy consumption prediction model based on rough set theory and deep learning algorithms, *Energy and Buildings*, 240, 110886.
- Li, C., Ding, Z., Zhao, D., Yi, J., Zhang, G., 2017, Building energy consumption prediction: An extreme deep learning approach, *energies*, 10, 1525.
- Li, H., Deng, Q., Zhang, J., Xia, B., Skitmore, M., 2019, Assessing the life cycle CO₂ emissions of reinforced concrete structures: Four cases from China, *Journal of Cleaner Production*, 210, 1496-1506.

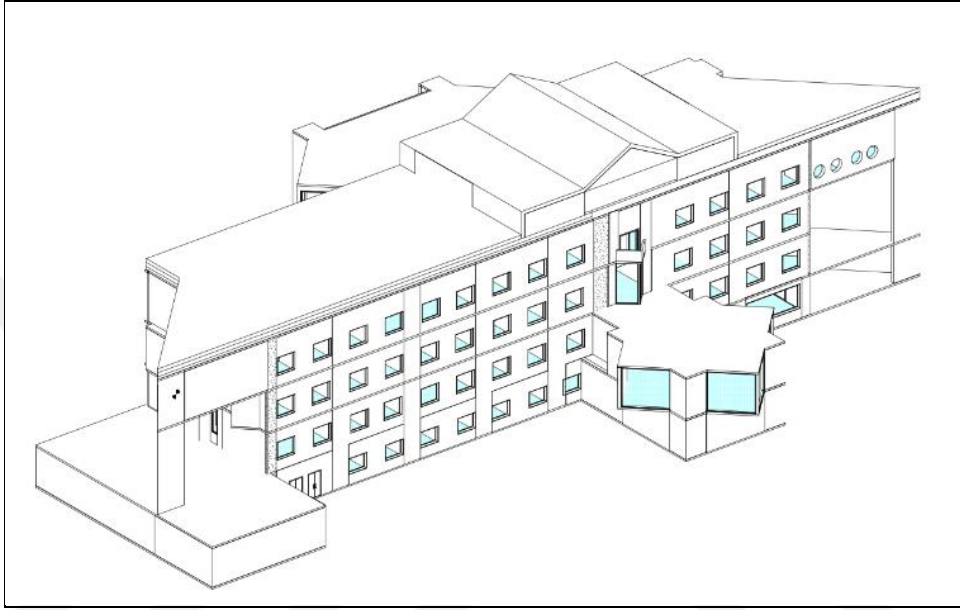
- Li, Q., Meng, Q., Cai, J., Yoshino, H., Mochida, A., 2009, Applying support vector machine to predict hourly cooling load in the building, *Applied Energy*, 86, 2249-2256.
- Liu, K., Hu, X., Wei, Z., Li, Y., Jiang, Y., 2019a, Modified Gaussian process regression models for cyclic capacity prediction of lithium-ion batteries, *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 5, 1225-1236.
- Liu, Z., Liu, Y., He, B.-J., Xu, W., Jin, G., Zhang, X., 2019b, Application and suitability analysis of the key technologies in nearly zero energy buildings in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 329-345.
- Marszal, A. J. & Heiselberg, P., 2011, Life cycle cost analysis of a multi-storey residential Net Zero Energy Building in Denmark, *Energy*, 36, 5600-5609.
- Matthew, O., Osabohien, R., Fasina, F., Fasina, A., 2018, Greenhouse gas emissions and health outcomes in Nigeria: Empirical insight from ARDL technique, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8, 43-50.
- Metlek, S., Kayaalp, K., 2020, *Makine Öğrenmesinde, Teoriden Örnek Matlab Uygulamalarına Kadar Destek Vektör Makineleri*, <https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2020/12/MAKINE-OGRENMESINDE-TEORIDEN-ORNEK-MATLAB-UYGULAMALARINA-KADAR-DESTEK-VEKTOR-MAKINELERI.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2022].
- Naji, S., Keivani, A., Shamshirband, S., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., Mansor, Z., Lee, M., 2016, Estimating building energy consumption using extreme learning machine method, *Energy*, 97, 506-516.
- Neto, A. H., Fiorelli, F., 2008, Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption, *Energy and Buildings*, 40, 2169-2176.
- Noh, H. Y., Rajagopal, R., 2013, Data-driven forecasting algorithms for building energy consumption, *Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems*, 221-228.
- Özkan, D. B., Onan, C., 2011, Optimization of insulation thickness for different glazing areas in buildings for various climatic regions in Turkey, *Applied Energy*, 88, 1331-1342.
- Radwan, A., Hanafy, A., Elhelw, M., El-Sayed, A., 2016, Retrofitting of existing buildings to achieve better energy-efficiency in commercial building case study: Hospital in Egypt, *Alexandria Engineering Journal*, 55, 3061-3071.
- Roaf, S., Brotas, L., Nicol, F., 2015, *Counting the costs of comfort*. Taylor & Francis.
- Sancar, O., Bostancı, S., 2020, COVID-19 Pandemi Sürecinde Karbon Emisyonu Üzerine Bir Tartışma, *Igd Üniv Sos Bil Der*, 269-292.

- Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S. & Fisk, W., 2012, Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance, *Environmental Health Perspectives*, 120, 1671-1677.
- Schnieders, J., Feist, W., Rongen, L., 2015, Passive Houses for different climate zones, *Energy and Buildings*, 105, 71-87.
- Shen, C., Zhao, K., Ge, J. & Zhou, Q., 2019, Analysis of building energy consumption in a hospital in the hot summer and cold winter area, *Energy Procedia*, 158, 3735-3740.
- Shriram, S., Ramamurthy, K., Ramakrishnan, S., 2019, Effect of occupant-induced indoor CO₂ concentration and bioeffluents on human physiology using a spirometric test, *Building and Environment*, 149, 58-67.
- Sinha, A., 2014, Carbon emissions and mortality rates: a causal analysis for India (1971-2010), *International Journal of Economic Practices and Theories*, 4, 486-492.
- Sisman, N., Kahya, E., Aras, N., Aras, H., 2007, Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey's different degree-day regions, *Energy Policy*, 35, 5151-5155.
- Susorova, I., Tabibzadeh, M., Rahman, A., Clack, H., Elnimeiri, M., 2013, The effect of geometry factors on fenestration energy performance and energy savings in office buildings, *Energy and Buildings*, 57, 6-13.
- Thalfeldt, M., Pikas, E., Kurnitski, J., Voll, H., 2013, Facade design principles for nearly zero energy buildings in a cold climate, *Energy and Buildings*, 67, 309-321.
- Vanhoudt, D., Desmedt, J., Van BaeL, J., Robeyn, N., Hoes, H., 2011, An aquifer thermal storage system in a Belgian hospital: Long-term experimental evaluation of energy and cost savings, *Energy and Buildings*, 43, 3657-3665.
- Vehviläinen, T., Lindholm, H., Rintamäki, H., Pääkkönen, R., Hirvonen, A., Niemi, O., Vinha, J., 2016, High indoor CO₂ concentrations in an office environment increases the transcutaneous CO₂ level and sleepiness during cognitive work, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13, 19-29.
- Wei, Y., Zhang, X., Shi, Y., Xia, L., Pan, S., Wu, J., Han, M., Zhao, X., 2018, A review of data-driven approaches for prediction and classification of building energy consumption, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1027-1047.
- Wong, S. L., Wan, K. K., Lam, T., 2010, Artificial neural networks for energy analysis of office buildings with daylighting, *Applied Energy*, 87, 551-557.
- Wu, X., Kumar, V., Ross Quinlan, J., Ghosh, J., Yang, Q., Motoda, H., Mclachlan, G. J., Ng, A., Liu, B., Yu, P., 2008, Top 10 algorithms in data mining, *Knowledge and Information Systems*, 14, 1-37.

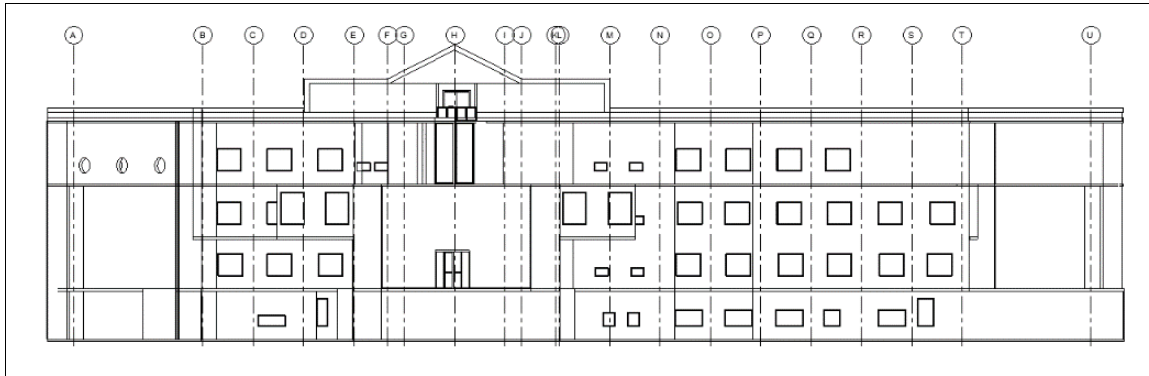
- Yalcintas, M., 2006, An energy benchmarking model based on artificial neural network method with a case example for tropical climates, *International Journal of Energy Research*, 30, 1158-1174.
- Yau, Y., Ng, W., 2011, A comparison study on energy savings and fungus growth control using heat recovery devices in a modern tropical operating theatre, *Energy Conversion and Management*, 52, 1850-1860.
- Yildiz, B., Bilbao, J. I., Sproul, A.B., 2017, A review and analysis of regression and machine learning models on commercial building electricity load forecasting, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1104-1122.
- Yokoyama, R., Wakui, T., Satake, R., 2009, Prediction of energy demands using neural network with model identification by global optimization, *Energy Conversion and Management*, 50, 319-327.
- Yu, F., Qin, Z., Liu, C., Wang, D., Chen, X., 2020, REIN the RobuTS: Robust DNN-based image recognition in autonomous driving systems, *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrate Circuits and Systems*, 40, 1258-1271.
- Zhang, Y., O'Neill, Z., Wagner, T., Augenbroe, G., 2013, An inverse model with uncertainty quantification to estimate the energy performance of an office building, *Proceedings of 13th international building performance simulation association conference*, 26-28 August, France, 25-28.
- Zhao, H.-X., Magoulès, F., 2012, A review on the prediction of building energy consumption, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3586-3592.

EKLER

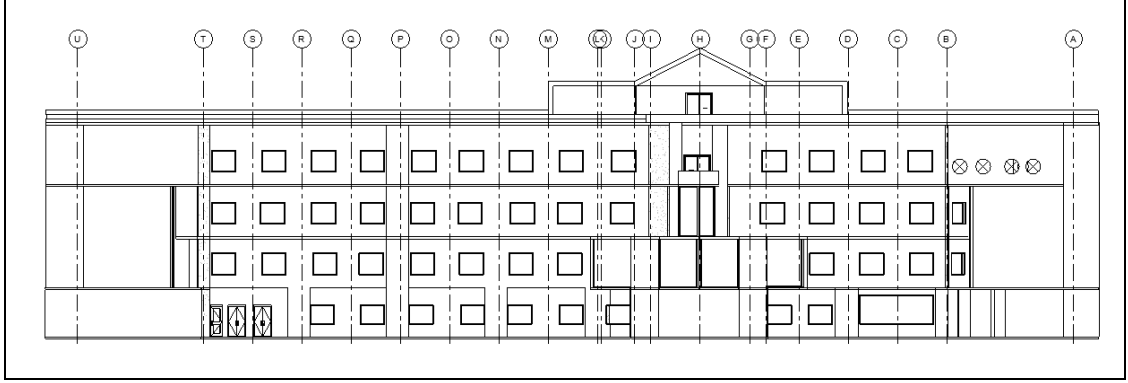
EK 1. Model görünüşleri ve kat planları sunulmuştur.



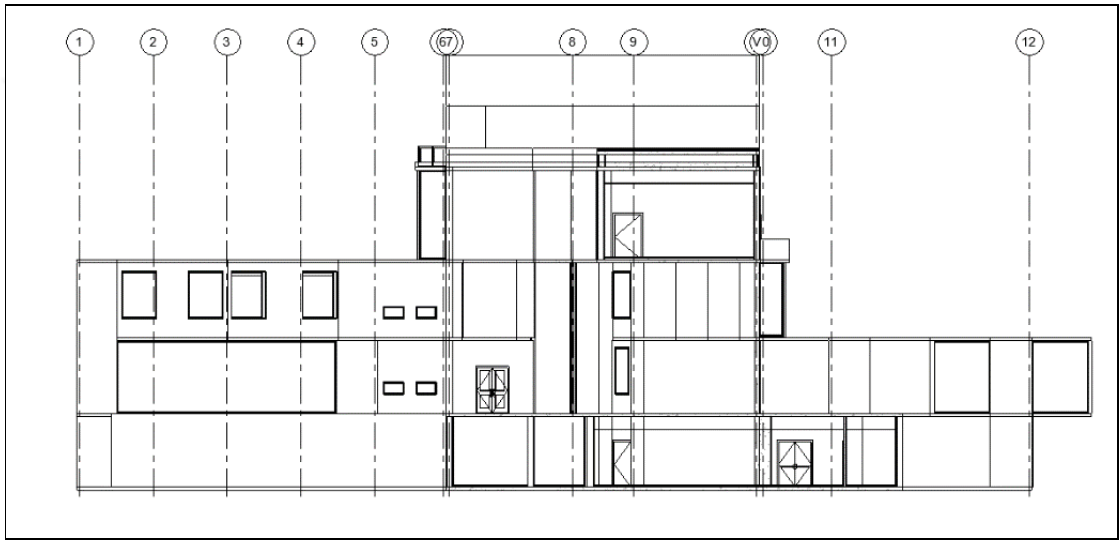
Şekil Ek.1. Özel hastane binası kuzey cephesinin 3D gösterimi.



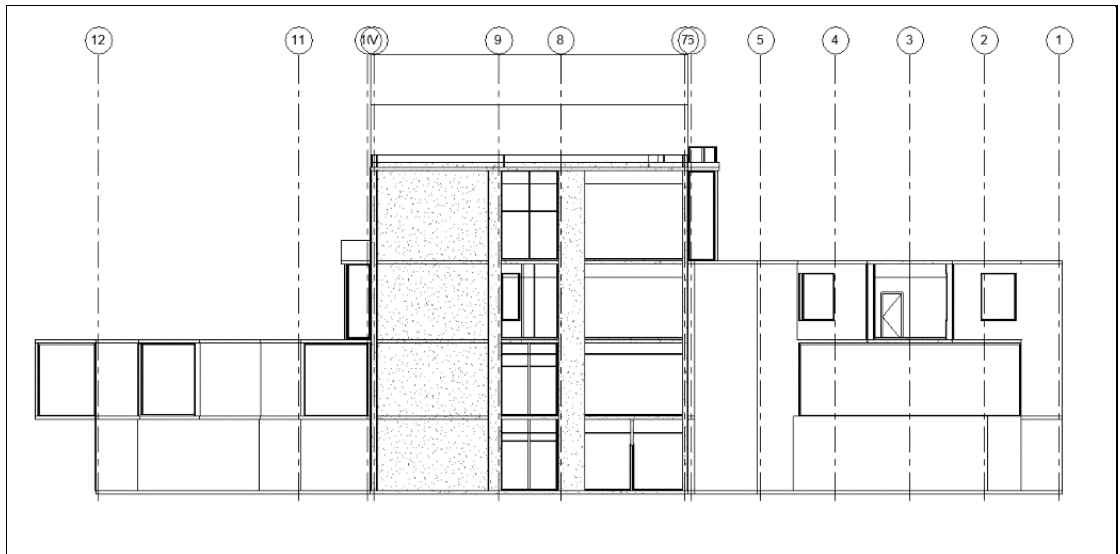
Şekil Ek.2. Özel hastane binası güney cephesi.



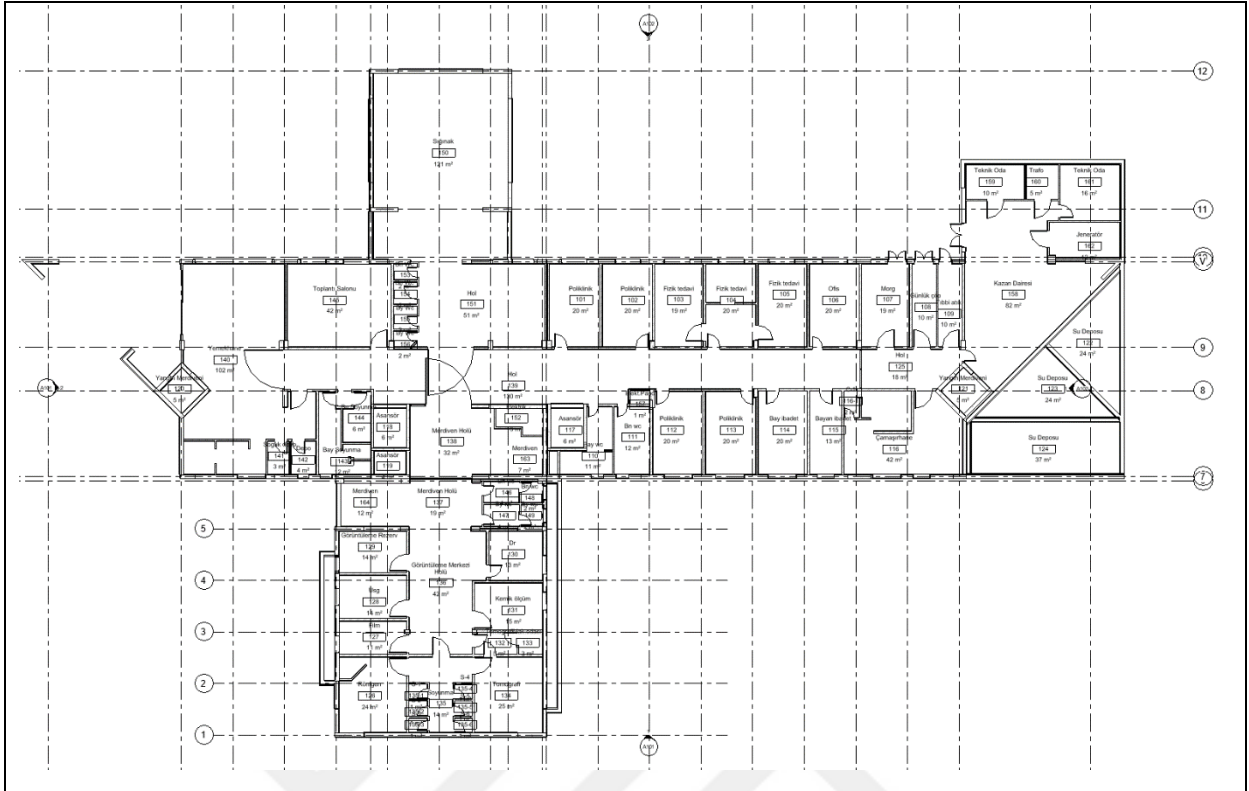
Şekil Ek.3. Özel hastane binası kuzey cephesi.



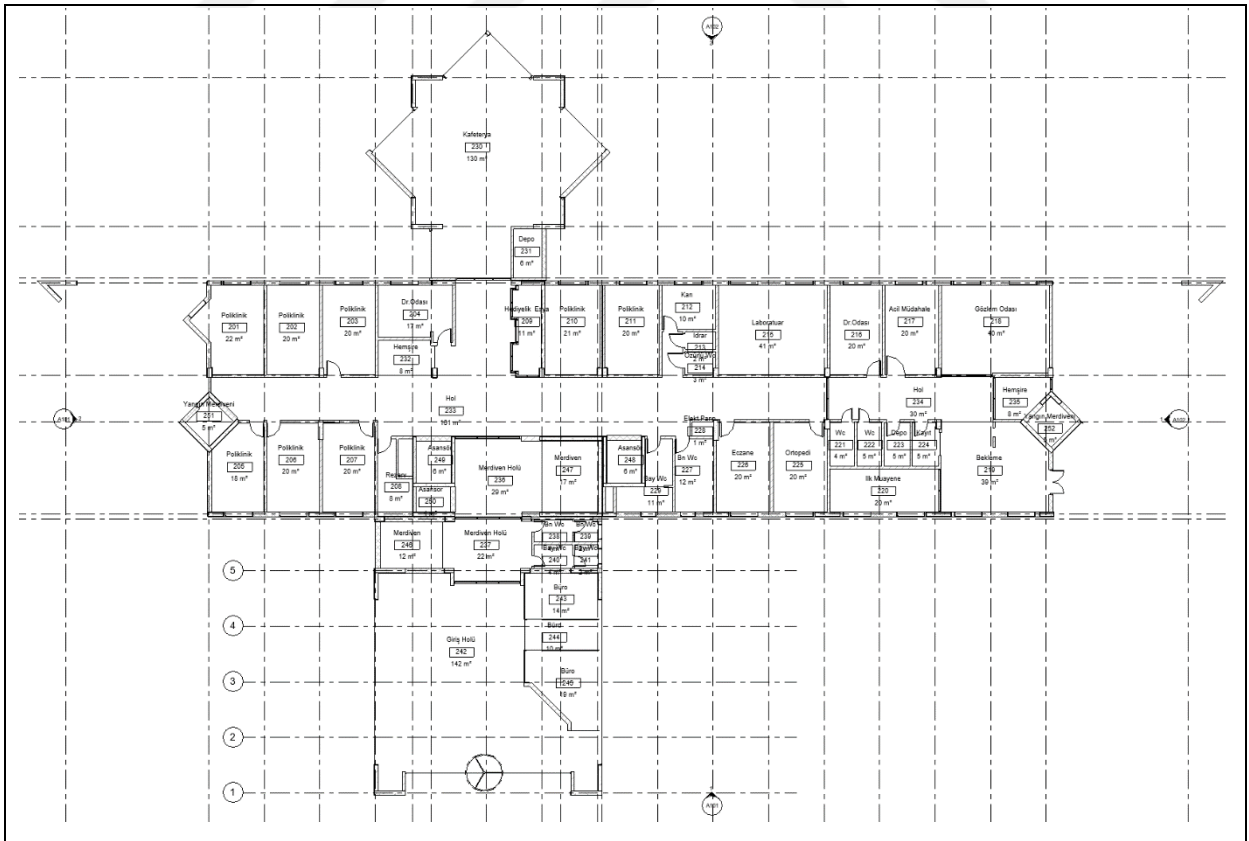
Şekil Ek.4. Özel hastane binası doğu cephesi.



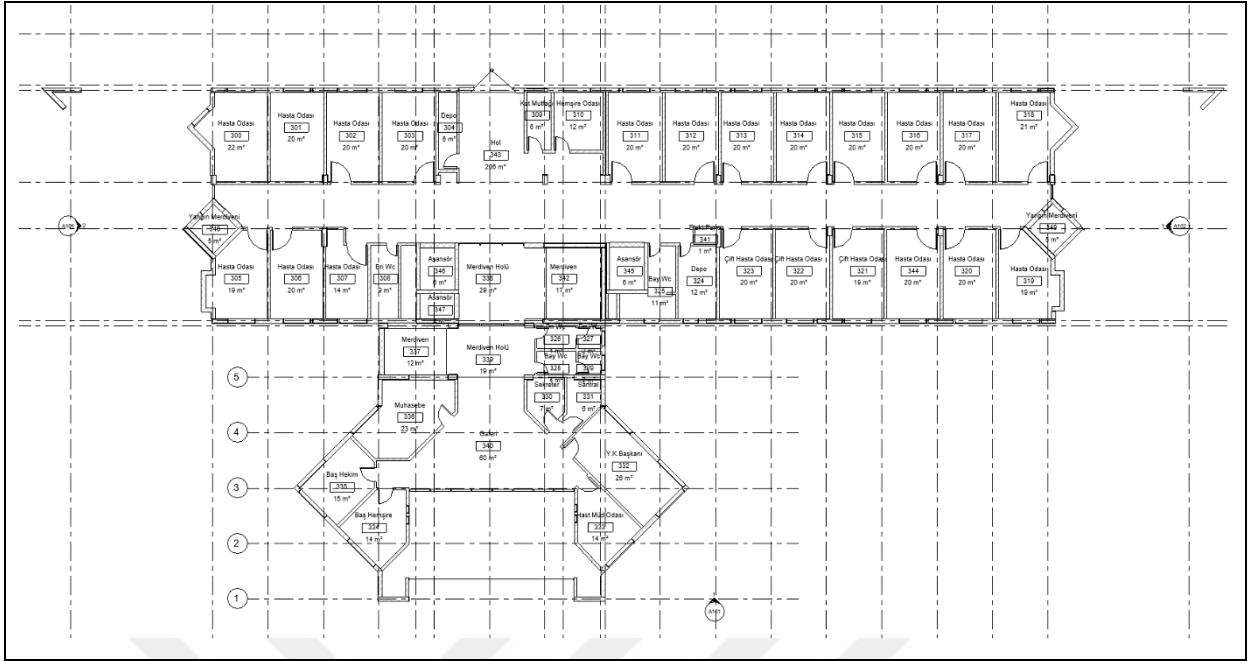
Şekil Ek.5. Özel hastane binası batı cephesi.



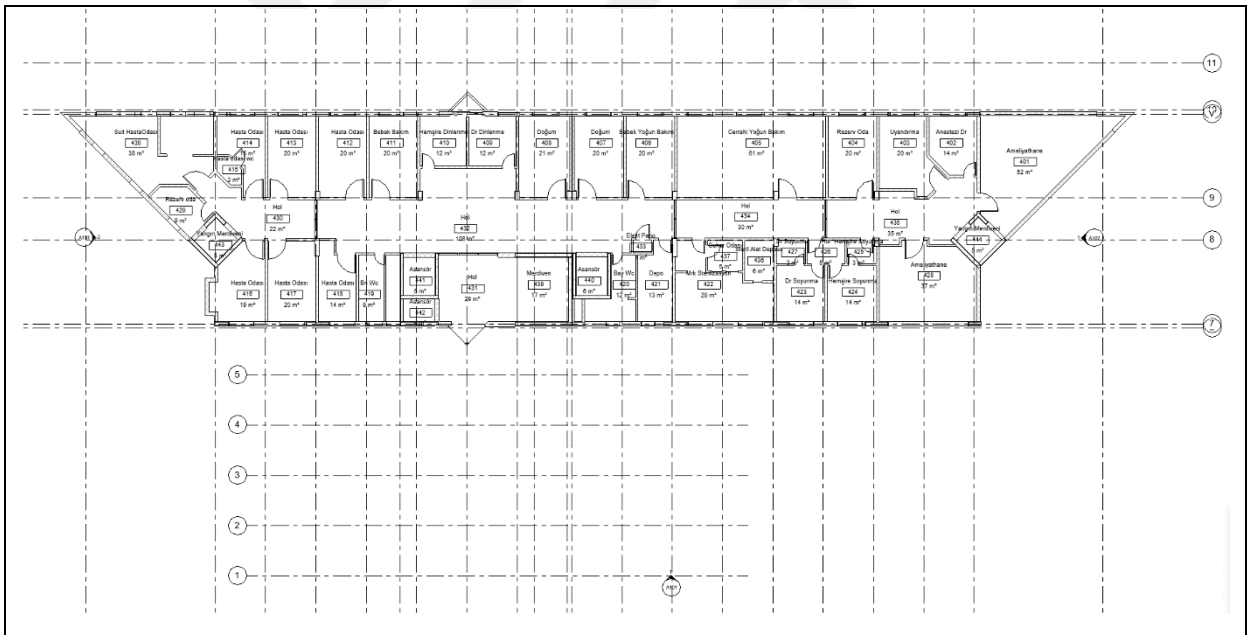
Şekil Ek.6. Özel hastane binası bodrum kat planı.



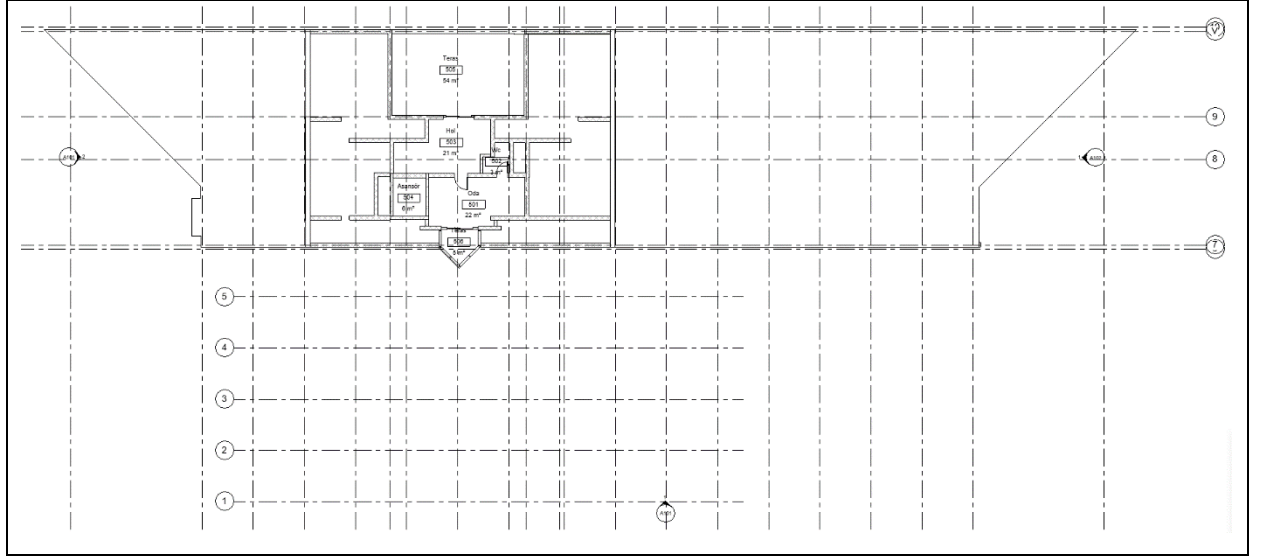
Şekil Ek.7. Özel hastane binası zemin kat planı.



Şekil Ek.8. Özel hastane binası 1.kat planı.



Şekil Ek.9. Özel hastane binası 2.kat planı.



Şekil Ek.10. Özel hastane binası çatı kat planı.

EK.2. Aksaray ilinde özel bir hastane için oluşturulan 233 alternatifin listesi ve sonuçları.

Tablo Ek.1.Bina dönme açılarına göre sonuçlar.

BDA=Binanın Dönme Açısı	Referans	BDA_45	BDA_90	BDA_135	BDA_180	BDA_225	BDA_270	BDA_315
Yıllık Enerji Tüketimleri (MJ / m ² / yıl)	1,661	1,688	1,700	1,700	1,652	1,701	1,720	1,710
Yıllık Elektrik Maliyetleri(\$)	114,898.4	117,313.0	117,895.4	116,568.9	114,488.2	117,743.9	118,582.2	117,179.1
Yıllık Yakıt Maliyetleri(\$)	43,518.8	44,024.1	44,446.9	44,904.9	43,198.2	44,565.8	45,214.9	45,201.6
Yıllık Enerji Maliyetleri(\$)	158,417.2	161,337.1	162,342.3	161,473.8	157,686.3	162,309.7	163,797.1	162,380.7
Yıllık Elektrik Tüketimleri (kWh)	826,607	843,978	848,168	838,625	823,656	847,078	853,11	843,015
Yıllık Yakıt Tüketimleri (MJ)	3,180,436	3,217,361	3,248,265	3,281,735	3,157,002	3,256,951	3,304,387	3,303,413
Yıllık Karbon Emisyonları (Ton)	81,3	82,4	82,9	83,9	80,8	83,4	84,4	84,4
Yaşam Döngüsü Elektrik Tüketimleri (kW)	24,798,213	25,319,349	25,445,043	25,158,756	24,709,674	25,412,346	25,593,288	25,290,462
Yaşam Döngüsü Yakıt Tüketimleri (MJ)	95,413,080	96,520,830	97,447,950	98,452,050	94,710,060	97,708,530	99,131,610	99,102,390
Yaşam Döngüsü Maliyetleri (\$)	2,157,767	2,197,537	2,211,230	2,199,403	2,147,812	2,210,786	2,231,047	2,211,755

Tablo Ek.2.Bina duvar konstrüksiyonlarına göre sonuçlar.

DK=Duvar Konstrüksiyon, U (W/m2.K)	Referans	DK1_31.1 cm SIP, U=0.152	DK2_36 cm ICF, U=0.1959	DK3_R13 Metal, U=0.982	DK4_R13 Wood, U=0.486	DK5_R13+R10 Metal, U=0.331	DK6_R2 CMU, U=1.4082	DK7_R38 Wood, U=0.1544	DK8_Yalıtımsız, U=1.91
Yıllık Enerji Tüketimleri (MJ / m ² / yıl)	1,661	1,658	1,657	1,714	1,695	1,664	1,720	1,657	1,759
Yıllık Elektrik Maliyetleri(\$)	114,898.4	115,120.6	114,843.4	115,992.6	116,289.1	114,895.3	115,279.8	115,115.8	116,532.3
Yıllık Yakıt Maliyetleri(\$)	43,518.8	43,307.7	43,354.6	45,798.5	44,760.6	43,661.6	46,393.4	43,238.4	47,931.3
Yıllık Enerji Maliyetleri(\$)	158,417.2	158,428.3	158,198.0	161,791.1	161,049.6	158,556.9	161,673.2	158,354.2	164,463.6
Yıllık Elektrik Tüketimleri (kWh)	826,607	828,206	826,212	834,479	836,612	826,585	829,351	828,171	838,362
Yıllık Yakıt Tüketimleri (MJ)	3,180,436	3,165,008	3,168,434	3,347,037	3,271,186	3,190,872	3,390,516	3,159,943	3,502,911
Yıllık Karbon Emisyonları (Ton)	81,3	80,8	80,8	85,4	83,4	81,3	86,5	80,8	89,5
Yaşam Döngüsü Elektrik Tüketimleri (kW)	24,798,213	24,846,177	24,786,354	25,034,379	25,098,360	24,797,547	24,880,524	24,845,142	25,150,848
Yaşam Döngüsü Yakıt Tüketimleri (MJ)	95,413,080	94,950,240	95,053,020	100,411,110	98,135,580	95,726,160	101,715,480	94,798,290	105,087,330
Yaşam Döngüsü Maliyetleri (\$)	2,157,767	2,157,918	2,154,782	2,203,726	2,193,625	2,159,671	2,202,122	2,156,909	2,240,132

Tablo Ek.3.Bina çatı konstrüksiyonlarına göre sonuçlar.

ÇK=Çatı Konstrüksiyon, U (W/m2.K)	Referans	ÇK1_26 cm SIP, U=0.1505	ÇK2_R10, U=0.4832	ÇK3_R15, U=0.3634	ÇK4_R19, U=0.3464	ÇK5_R38, U=0.1334	ÇK6_R60, U=0.0857	ÇK7_Yalıtımsız, U=4.264
Yıllık Enerji Tüketimleri (MJ / m ² / yıl)	1,661	1,557	1,598	1,580	1,583	1,558	1,552	1,879
Yıllık Elektrik Maliyetleri(\$)	114,898.4	111,149.9	112,053.7	111,558.3	111,737.2	111,201.0	111,066.5	123,435.4
Yıllık Yakıt Maliyetleri(\$)	43,518.8	39,579.3	41,317.9	40,609.8	40,708.4	39,591.3	39,331.6	51,565.3
Yıllık Enerji Maliyetleri(\$)	158,417.2	150,729.2	153,371.7	152,168.1	152,445.5	150,792.4	150,398.1	175,000.7
Yıllık Elektrik Tüketimleri (kWh)	826,607	799,639	806,142	802,578	803,865	800,007	799,039	888,025
Yıllık Yakıt Tüketimleri (MJ)	3,180,436	2,892,528	3,019,592	2,967,837	2,975,042	2,893,407	2,874,427	3,768,485
Yıllık Karbon Emisyonları (Ton)	81,3	74,2	77,2	75,7	76,2	74,2	73,7	96,2
Yaşam Döngüsü Elektrik Tüketimleri (kW)	24,798,213	23,989,179	24,184,257	24,077,331	24,115,938	24,000,222	23,971,735	26,640,735
Yaşam Döngüsü Yakıt Tüketimleri (MJ)	95,413,080	86,775,840	90,587,760	89,035,110	89,251,260	86,802,210	86,232,810	113,054,550
Yaşam Döngüsü Maliyetleri (\$)	2,157,767	2,053,045	2,089,041	2,072,646	2,076,425	2,053,906	2,048,535	2,383,657

Tablo Ek.4.Bina ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerine göre sonuçlar.

ISHS=Isıtma,Soğutma ve Havalandırma Sistemi	Referans	ISHS_Tip_1	ISHS_Tip_2	ISHS_Tip_3	ISHS_Tip_4	ISHS_Tip_5	ISHS_Tip_6	ISHS_Tip_7
Yıllık Enerji Tüketimleri (MJ / m ² / yıl)	1,661	1,108	1,512	1,118	1,018	1,416	1,424	1,544
Yıllık Elektrik Maliyetleri(\$)	114,898.4	145,816.7	108,487.0	147,301.4	134,330.0	104,285.4	95,595.6	96,651.7
Yıllık Yakıt Maliyetleri(\$)	43,518.8	4,501.9	38,230.0	4,501.9	4,001.7	34,867.0	38,331.8	44,039.9
Yıllık Enerji Maliyetleri(\$)	158,417.2	150,318.6	146,717.1	151,803.3	138,331.6	139,152.4	133,927.5	140,691.5
Yıllık Elektrik Tüketimleri (kWh)	826,607	1,049,041	780,482	1,059,722	966,403	750,255	687,738	695,336
Yıllık Yakıt Tüketimleri (MJ)	3,180,436	329,009	2,793,922	329,009	292,449	2,548,146	2,801,362	3,218,515
Yıllık Karbon Emisyonları (Ton)	81,3	8,2	71,6	8,2	7,7	65	71,6	82,4
Yaşam Döngüsü Elektrik Tüketimleri (kW)	24,798,213	31,471,230	23,414,469	31,791,660	28,992,081	22,507,635	20,632,152	20,860,071
Yaşam Döngüsü Yakıt Tüketimleri (MJ)	95,413,080	9,870,258	83,817,660	9,870,258	8,773,470	76,444,380	84,040,860	96,555,450
Yaşam Döngüsü Maliyetleri (\$)	2,157,767	2,047,353	1,998,396	2,067,574	1,884,088	1,895,356	1,824,202	1,916,345

Tablo Ek.5.Bina fiş yüküne göre sonuçlar.

FY=Fiş Yüğü	Referans	FY1_6.45 W/m2	FY2_10.76 W/m2	FY3_13.99 W/m2	FY4_17.22 W/m2	FY5_21.52 W/m2	FY6_27.98 W/m2
Yıllık Enerji Tüketimleri (MJ / m ² / yıl)	1661,000	1547,000	1587,000	1622,000	1663,000	1726,000	1827,000
Yıllık Elektrik Maliyetleri(\$)	1148984	902068	997632	1071928	1150714	1255049	1412503
Yıllık Yakıt Maliyetleri(\$)	43518	46515	451233	442664	435703	430428	42605
Yıllık Enerji Maliyetleri(\$)	1584172	1367225	1448866	1514591	1586417	1685477	1838553
Yıllık Elektrik Tüketimleri (kWh)	826607	64897	717721	771171	827852	902913	1016189
Yıllık Yakıt Tüketimleri (MJ)	3180436	3399452	3297697	3235067	3184200	3145651	3113654
Yıllık Karbon Emisyonları (Ton)	81,3	87	84,4	82,9	81,3	80,3	79,8
Yaşam Döngüsü Elektrik Tüketimleri (kW)	24798213	19469091	21531636	23135130	24835548	27087381	30485670
Yaşam Döngüsü Yakıt Tüketimleri (MJ)	95413080	101983560	98930910	97052010	95526000	94369530	93409620
Yaşam Döngüsü Maliyetleri (\$)	2157767	1862294	1973485	2063000	2160825	2295744	2504232

Tablo Ek.6.Bina işletme zamanlarına göre sonuçlar.

İŞZ=İşletme Zamanı	Referans	İŞZ_12/5	İŞZ_12/6	İŞZ_12/7
Yıllık Enerji Tüketimleri (MJ / m ² / yıl)	1,661	1,302	1,370	1,422
Yıllık Elektrik Maliyetleri(\$)	114,898.4	103,771.1	116,622.3	121,754.1
Yıllık Yakıt Maliyetleri(\$)	43,518.8	29,275.1	28,167.7	28,986.8
Yıllık Enerji Maliyetleri(\$)	158,417.2	133,046.2	144,790.0	150,740.9
Yıllık Elektrik Tüketimleri (kWh)	826,607	746,554	839,009	875,929
Yıllık Yakıt Tüketimleri (MJ)	3,180,436	2,139,482	2,058,551	2,118,407
Yıllık Karbon Emisyonları (Ton)	81,3	54,7	52,7	54,2
Yaşam Döngüsü Elektrik Tüketimleri (kW)	24,798,213	22,396,632	25,170,270	26,277,867
Yaşam Döngüsü Yakıt Tüketimleri (MJ)	95,413,080	64,184,460	61,756,530	63,552,210
Yaşam Döngüsü Maliyetleri (\$)	2,157,767	1,812,174	1,972,121	2,053,174

Tablo Ek.7.Bina aydınlatma etkinliklerine göre sonuçlar.

AE=Aydınlatma Etkinliği	Referans	AE1_3.23 W/m2	AE2_7.53 W/m2	AE3_11.84 W/m2	AE4_16.14 W/m2	AE5_20.45 W/m2
Yıllık Enerji Tüketimleri (MJ / m ² / yıl)	1,661	1,563	1,620	1,688	1,763	1,850
Yıllık Elektrik Maliyetleri(\$)	114,898.4	94,066.9	106,593.3	119,761.5	132,897.0	146,542.3
Yıllık Yakıt Maliyetleri(\$)	43,518.8	45,924.4	44,361.9	43,176.4	42,295.5	41,913.6
Yıllık Enerji Maliyetleri(\$)	158,417.2	139,991.3	150,955.2	162,937.8	175,192.5	188,455.8
Yıllık Elektrik Tüketimleri (kWh)	826,607	676,74	766,858	861,593	956,094	1,054,261
Yıllık Yakıt Tüketimleri (MJ)	3,180,436	3,356,237	3,242,050	3,155,409	3,091,031	3,063,121
Yıllık Karbon Emisyonları (Ton)	81,3	85,9	82,9	80,8	78,8	78,3
Yaşam Döngüsü Elektrik Tüketimleri (kW)	24,798,213	20,302,212	23,005,743	25,847,799	28,682,814	31,627,830
Yaşam Döngüsü Yakıt Tüketimleri (MJ)	95,413,080	100,687,110	97,261,500	94,662,270	92,730,930	91,893,630
Yaşam Döngüsü Maliyetleri (\$)	2,157,767	1,906,813	2,056,137	2,219,337	2,386,243	2,566,889

Tablo Ek.8.Bina hava sızmasına göre sonuçlar

HSS=Hava Sızması/saat başına	Referans	HSS_0.17 ACH	HSS_0.4 ACH	HSS_0.8 ACH	HSS_1.2 ACH	HSS_1.6 ACH	HSS_2.0 ACH
Yıllık Enerji Tüketimleri (MJ / m ² / yıl)	1,661	1,658	1,663	1,672	1,681	1,690	1,699
Yıllık Elektrik Maliyetleri(\$)	114,898.4	115,015.4	115,071.4	115,133.6	115,219.0	115,263.4	115,329.2
Yıllık Yakıt Maliyetleri(\$)	43,518.8	43,352.1	43,570.3	43,996.8	44,425.4	44,855.4	45,315.4
Yıllık Enerji Maliyetleri(\$)	158,417.2	158,367.5	158,641.7	159,130.4	159,644.4	160,118.8	160,644.7
Yıllık Elektrik Tüketimleri (kWh)	826,607	827,449	827,852	828,299	828,914	829,233	829,707
Yıllık Yakıt Tüketimleri (MJ)	3,180,436	3,168,255	3,184,200	3,215,366	3,246,687	3,278,116	3,311,734
Yıllık Karbon Emisyonları (Ton)	81,3	80,8	81,3	82,4	82,9	83,9	84,9
Yaşam Döngüsü Elektrik Tüketimleri (kW)	24,798,213	24,823,467	24,835,548	24,848,973	24,867,420	24,876,999	24,891,204
Yaşam Döngüsü Yakıt Tüketimleri (MJ)	95,413,080	95,047,650	95,526,000	96,460,980	97,400,610	98,343,480	99,352,020
Yaşam Döngüsü Maliyetleri (\$)	2,157,767	2,157,091	2,160,825	2,167,482	2,174,484	2,180,947	2,188,110

Tablo Ek.9.Bina doğu cephesindeki pencere/duvar oranı, gölgeleme ve cam tiplerine göre sonuçlar.

ET1= Enerji Tüketimleri, EM1= Elektrik MalİYetleri, EM2= Enerji MalİYetleri, ET2= Elektrik Tüketimleri, YT= Yaka Tüketimleri, NO= Karbon Emisyonları, YDE1= Yaka Doğusal Elektrik Tüketimleri, YDTT= Yaka Doğusal Yaka Tüketimleri, YDM= Yaka Doğusal MalİYetleri	ET1 (MJ / m ² / yıl)	EM1(\$)	YDM(\$)	EM2(\$)	ET2 (kW)	YT (MJ)	KE (tCO ₂)	YDGT (kW)	YYDT (MJ)	YDM (\$)
PD1 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Değişiklik yok	1,661	114,887,5	43,538,4	158,395,9	826,313	3,181,985	81,3	24,789,387	95,455,950	2,157,477
PD2 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 2,74	1,669	115,638,3	43,362,0	159,134,3	831,93	3,191,922	81,9	24,957,909	95,737,660	2,169,986
PD3 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,668	115,712,8	43,382,0	159,294,8	833,466	3,185,053	81,3	24,973,992	95,551,590	2,179,721
PD4 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,670	115,878,8	43,625,0	159,503,8	833,661	3,188,198	81,3	25,009,815	95,665,940	2,172,568
PD5 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 6,17	1,676	115,819,0	43,932,3	159,751,2	833,23	3,210,651	81,9	24,996,900	96,319,530	2,175,938
PD6 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,55	1,662	115,231,3	43,442,5	158,673,8	829,002	3,174,857	81,3	24,870,063	95,245,710	2,161,262
PD7 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 2,74	1,668	115,437,6	43,671,2	159,108,7	830,486	3,191,569	81,9	24,914,583	95,747,070	2,167,186
PD8 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,666	115,474,5	43,563,5	159,037,9	830,752	3,183,698	81,3	24,922,548	95,510,940	2,166,222
PD9 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,667	115,626,1	43,592,0	159,218,0	831,842	3,185,781	81,3	24,955,266	95,573,430	2,168,675
PD10 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 6,17	1,673	115,562,5	43,909,9	159,472,4	831,385	3,209,018	81,9	24,941,547	96,270,540	2,172,141
PD11 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,55	1,661	115,133,4	43,456,7	158,590,1	828,298	3,175,898	81,3	24,848,934	95,276,940	2,160,122
PD12 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 2,74	1,676	116,143,1	43,830,0	159,973,1	835,562	3,203,178	81,9	25,066,854	96,095,340	2,178,960
PD13 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,675	116,269,6	43,752,5	160,022,1	836,472	3,197,515	81,9	25,094,154	95,935,450	2,179,627
PD14 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,677	116,534,3	43,775,0	160,309,3	838,376	3,199,155	81,3	25,151,292	95,974,650	2,183,538
PD15 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 6,17	1,683	116,471,2	44,074,9	160,546,2	837,923	3,221,077	82,4	25,137,678	96,632,310	2,186,765
PD16 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 3,0% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,55	1,663	115,482,6	43,420,1	158,872,6	830,594	3,173,421	81,3	24,917,817	95,196,630	2,163,970
PD17 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 2,74	1,691	117,147,6	44,259,1	161,406,7	842,788	3,234,538	82,9	25,283,646	97,036,140	2,198,486
PD18 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,691	117,333,8	44,157,6	161,491,4	844,128	3,227,121	82,4	25,323,834	96,813,630	2,199,640
PD19 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,692	117,527,4	44,147,5	161,674,9	845,521	3,226,378	82,4	25,365,630	96,791,340	2,202,139
PD20 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 6,17	1,699	117,283,7	44,598,7	161,882,5	843,788	3,259,339	83,4	25,313,034	97,780,770	2,204,967
PD21 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,55	1,669	115,870,6	43,604,9	159,475,5	833,602	3,186,726	81,3	25,008,048	95,601,780	2,172,182
PD22 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 2,74	1,684	116,493,4	44,129,8	160,623,2	838,082	3,225,090	82,4	25,142,457	96,782,200	2,187,815
PD23 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,681	116,582,9	43,933,0	160,515,9	838,726	3,210,706	82,4	25,161,777	96,331,180	2,186,353
PD24 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,684	116,849,8	43,984,8	160,834,6	840,646	3,214,490	82,9	25,219,389	96,434,700	2,190,694
PD25 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 6,17	1,693	116,669,6	44,521,1	161,190,7	839,35	3,253,686	83,4	25,180,485	97,610,580	2,195,545
PD26 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,55	1,666	115,533,8	43,540,8	159,074,6	831,178	3,182,043	81,3	24,935,349	95,461,290	2,166,721
PD27 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 2,74	1,698	117,879,4	44,344,6	162,224,0	848,053	3,240,788	82,9	25,441,593	97,223,640	2,209,619
PD28 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,696	118,069,2	44,166,3	162,235,5	849,419	3,227,754	82,4	25,482,567	96,832,620	2,209,775
PD29 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,697	118,293,8	44,132,2	162,425,9	851,034	3,225,260	82,4	25,531,032	96,757,800	2,212,368
PD30 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 6,17	1,707	118,121,4	44,692,5	162,813,8	849,794	3,266,208	83,4	25,493,820	97,986,240	2,217,653
PD31 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 6,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,55	1,680	116,710,3	43,823,8	160,534,1	839,643	3,202,725	81,9	25,189,275	96,081,750	2,186,601
PD32 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 2,74	1,704	117,938,6	44,614,9	162,553,4	848,479	3,260,537	83,4	25,454,364	97,816,110	2,214,106
PD33 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,700	118,061,7	44,360,4	162,422,1	849,365	3,241,940	82,9	25,480,953	97,258,200	2,212,317
PD34 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,702	118,327,1	44,378,5	162,705,6	851,274	3,243,265	82,9	25,528,220	97,297,950	2,216,178
PD35 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 6,17	1,717	118,170,5	45,211,3	163,381,7	850,147	3,304,122	84,4	25,504,416	99,123,660	2,225,389
PD36 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 1/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,55	1,682	116,748,9	43,952,9	160,701,9	839,92	3,212,162	82,4	25,197,609	96,364,860	2,188,886
PD37 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 2,74	1,696	117,174,8	44,483,5	161,658,3	842,984	3,250,937	82,9	25,289,529	97,155,980	2,220,914
PD38 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,695	117,462,5	44,313,8	161,776,3	845,054	3,238,538	82,9	25,351,629	97,155,980	2,220,521
PD39 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,697	117,690,0	44,356,4	162,046,3	846,691	3,241,645	82,9	25,400,715	97,249,590	2,220,799
PD40 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 6,17	1,710	117,419,4	45,126,0	162,545,5	844,744	3,297,893	84,4	25,432,326	98,996,790	2,213,999
PD41 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu 2/3 Pencere Yıksaklığı -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,55	1,673	115,951,9	43,745,2	159,697,0	834,186	3,196,978	81,9	25,025,580	95,909,340	2,175,199
PD42 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 2,74	1,715	119,129,4	44,738,0	163,867,4	857,046	3,269,533	83,4	25,711,386	98,085,990	2,232,002
PD43 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,710	119,395,6	44,433,8	163,829,4	858,961	3,247,307	82,9	25,668,833	97,419,410	2,231,485
PD44 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,99	1,715	119,882,7	44,472,0	164,354,7	862,466	3,250,097	82,9	25,748,732	99,777,360	2,231,179
PD45 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 6,17	1,734	119,765,8	45,509,4	165,275,2	861,624	3,325,912	84,9	25,480,732	99,777,360	2,231,179
PD46 Pencere/Duvar oranı - Doğu uanınındaki duvarlar için 9,5% -- Pencere Gölgeleme - Doğu Değişiklik yok -- Pencere tipi - Doğu Sırtı Çift Cam U 1,55	1,692	117,622,3	44,104,6	161,726,9	846,204	3,223,247	82,4	25,286,108	96,697,410	2,202,847

Tablo Ek.10.Bina kuzey cephesindeki pencere/duvar oranı, gölgeleme ve cam tiplerine göre sonuçlar.

ET1=Enerji Tüketimlen, EM1= Elektrik Maliyetlen, EN2=Enerji Maliyetlen, ET2=Elektrik Tüketimlen, YT= Yaka Tüketimleni, NO= Karbon Emisyonlu, YDE1= Yasan Doğalgaz Elektrik Tüketimleni, YDTT= Yasan Doğalgaz Yaka Tüketimleni, YDN= Yasan Doğalgaz Maliyetleni	ET1 (MJ / m ² / yıl)	EM1(\$)	YM(\$)	EM2(\$)	ET2 (kWh)	YT (MJ)	KE (Tcm)	YDET (kW)	YDYT (MJ)	YDM (\$)
PK1 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0 -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,628	113,316.5	42,380.5	155,706.0	815,226	3,097,293	79.3	24,456,792	92,937,090	21,20,837
PK2 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,671	114,880.9	43,567.3	158,910.2	826,681	3,127,746	82.4	24,794,439	96,532,380	21,64,484
PK3 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,661	114,814.6	43,420.3	158,381.7	826,003	3,183,977	81.3	24,790,084	95,519,310	21,57,283
PK4 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,664	115,017.5	43,650.8	158,668.2	827,464	3,190,078	81.3	24,823,917	95,702,340	21,61,187
PK5 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,698	115,362.8	45,259.4	160,622.2	829,948	3,307,644	84.4	24,898,437	99,229,320	21,87,804
PK6 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,644	113,994.0	42,974.4	156,968.4	820,101	3,140,647	80.3	24,603,018	94,219,410	21,38,033
PK7 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,669	114,731.6	43,891.1	158,712.7	825,407	3,214,217	82.4	24,762,219	96,465,510	21,61,793
PK8 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,660	114,702.5	43,525.8	158,228.3	825,198	3,180,949	81.3	24,755,937	95,428,470	21,58,195
PK9 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,662	114,893.8	43,587.5	158,481.3	826,574	3,185,453	81.3	24,797,229	95,563,590	21,58,641
PK10 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,696	115,225.0	45,199.3	160,424.3	828,957	3,303,247	84.4	24,868,704	99,097,410	21,85,109
PK11 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,643	113,878.2	42,964.9	156,843.1	819,268	3,139,958	80.3	24,578,025	94,198,740	21,36,327
PK12 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,675	115,097.4	44,155.5	159,252.9	828,039	3,226,966	82.4	24,841,173	96,808,980	21,69,152
PK13 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,666	115,057.6	43,695.2	158,752.8	827,732	3,193,326	81.9	24,882,566	95,799,780	21,62,338
PK14 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,669	115,288.4	43,810.9	159,093.3	829,413	3,201,780	81.9	24,882,384	96,053,400	21,67,058
PK15 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,703	115,655.7	45,384.3	161,040.0	832,055	3,316,768	84.9	24,961,659	99,503,400	21,93,495
PK16 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,645	114,135.7	42,991.8	157,127.5	821,12	3,141,923	80.3	24,633,603	94,257,690	21,40,201
PK17 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,726	116,609.3	46,192.9	162,802.2	838,916	3,375,859	86.5	25,167,483	101,275,770	22,17,499
PK18 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,710	116,604.6	45,384.9	161,989.5	838,882	3,316,816	84.9	25,166,460	99,504,480	22,06,428
PK19 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,722	117,201.2	45,789.1	162,990.3	843,174	3,346,352	85.4	25,295,232	100,390,560	22,20,060
PK20 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,778	117,663.5	48,460.8	166,144.3	846,644	3,541,602	90.6	25,999,317	106,248,060	22,63,024
PK21 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,664	114,827.8	43,701.2	158,528.9	826,099	3,193,761	81.9	24,782,973	95,812,830	21,59,290
PK22 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,719	116,232.1	45,005.6	162,237.7	836,202	3,362,176	85.9	25,086,003	100,865,280	22,09,810
PK23 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,702	116,188.5	45,068.8	161,356.3	835,888	3,301,095	84.4	25,076,646	99,023,850	21,97,880
PK24 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,715	116,781.5	45,598.6	162,380.1	840,155	3,332,429	85.4	25,204,647	99,927,870	22,11,748
PK25 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,772	117,250.6	48,324.8	165,575.4	843,529	3,531,666	90	25,305,882	105,949,980	22,55,276
PK26 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,661	114,581.4	43,646.2	158,227.6	824,327	3,189,745	81.3	24,729,807	95,692,330	21,55,186
PK27 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,737	117,247.6	46,538.2	163,785.7	843,508	3,401,095	87	25,305,238	102,093,850	22,30,895
PK28 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,723	117,372.3	45,723.1	163,145.4	844,405	3,345,184	85.4	25,332,147	100,355,530	22,22,172
PK29 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,735	118,123.4	46,133.8	164,257.1	849,808	3,371,541	85.9	25,464,762	106,835,010	22,75,723
PK30 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,788	118,348.1	48,728.5	167,076.6	851,425	3,561,167	91.1	25,542,762	108,835,010	22,75,723
PK31 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,669	115,125.8	43,860.0	158,985.8	828,244	3,205,370	81.9	24,847,305	96,161,100	21,65,513
PK32 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,765	117,940.9	47,694.2	165,635.1	848,496	3,485,579	89	25,454,865	104,567,370	22,56,087
PK33 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,742	117,949.9	46,567.7	164,511.6	848,561	3,402,814	85.4	25,456,821	102,084,420	22,40,782
PK34 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,752	118,675.9	46,786.5	165,462.4	853,784	3,419,244	87.5	25,613,514	102,577,320	22,53,733
PK35 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,834	119,425.4	50,713.3	170,138.6	859,175	3,706,219	94.6	25,775,262	111,186,570	23,17,434
PK36 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,680	115,446.5	44,290.2	159,736.7	830,55	3,236,812	82.9	24,916,512	97,104,380	21,75,742
PK37 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,756	117,333.8	47,495.6	164,840.4	844,272	3,471,063	88.5	25,328,163	104,131,880	22,45,385
PK38 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,734	117,295.8	46,390.5	163,645.3	843,855	3,387,379	86.5	25,315,638	101,621,370	22,28,995
PK39 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,747	117,977.4	46,777.5	164,754.9	848,738	3,418,586	87.5	25,462,740	102,557,580	22,44,096
PK40 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,827	118,657.8	50,611.9	169,269.7	853,653	3,698,812	94.6	25,609,599	110,964,360	23,05,599
PK41 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,675	115,098.2	44,169.9	159,268.1	828,045	3,228,018	82.4	24,841,341	96,840,540	21,69,359
PK42 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,774	118,063.1	46,678.4	166,728.5	855,13	3,498,094	89.5	25,653,900	102,942,820	22,70,980
PK43 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,752	119,062.8	47,465.8	165,742.6	856,567	3,411,445	87	25,697,007	102,343,330	22,57,548
PK44 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,758	120,002.2	46,659.8	165,742.6	863,325	3,409,521	87	25,899,762	102,285,630	22,69,985
PK45 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,847	120,592.5	50,932.8	171,525.3	867,572	3,722,263	95.2	26,027,134	111,667,890	23,36,321
PK46 Pencere/Duvar oranı - Kuzey tarafındaki duvarlar için %0% -- Pencere Gölgeleme - Kuzey Dışışıklık yok -- Pencere tipi - Kuzey Dışışıklık yok	1,690	116,002.9	44,599.1	160,601.9	834,553	3,259,383	83.4	25,036,587	97,761,490	21,87,556

Tablo Ek.11.Bina güney cephesindeki pencere/duvar oranı, gölgeleme ve cam tiplerine göre sonuçlar.

ET1-Erapi Tüketime, EM1-Elektrik Malzemeleri, EM2-Erapi Malzemeleri, ET2-Elektrik Tüketime, YT-Yakıt Tüketime, NO-Karbon Emisyonlu, YDE1-Yasam Doğrudan Elektrik Tüketime, YDYT-Yasam Doğrudan Yakıt Tüketime, YDN= Yasam Doğrudan Malzemeli	ET1 (m ² / yıl)	EM1 (\$)	YM (\$)	EM2 (\$)	ET2 (kWh)	YT (MJ)	KE (ton)	YDET (kW)	YYDT (MJ)	YDM (\$)
PG1 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 9% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok	1.589	108.926,0	41.971,9	150.897,9	783,64	3.067,283	78,3	22.509,212	92.021,490	2.055,350
PG2 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok	1.650	112.416,8	43.848,6	156.265,4	808,754	3.204,537	81,9	24.432,608	96,136,110	2.128,460
PG3 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney 1/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 2,74	1.646	112.830,9	43.491,9	156.324,0	811,741	3.178,472	81,3	24.562,299	95,334,160	2.129,258
PG4 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney 1/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,99	1.663	113.850,9	43.984,3	157.815,2	818,927	3.214,457	82,4	24.567,819	96,433,710	2.149,573
PG5 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney 1/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 6,17	1.688	113.948,5	45.229,7	159.178,2	819,774	3.305,467	84,4	24.593,205	99,164,010	2.168,137
PG6 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney 1/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1.597	109.781,5	42.078,5	151.860,1	789,795	3.075,176	78,8	23.693,859	92,255,280	2.068,455
PG7 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 2,74	1.628	111.029,5	43.241,6	154.271,1	798,773	3.160,177	80,8	23.693,199	94,805,310	2.171,358
PG8 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,99	1.620	111.204,1	42.770,6	153.980,0	800,029	3.126,146	79,8	24.000,879	93,764,380	2.097,331
PG9 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Değişiklik yok	1.630	111.802,7	43.054,6	154.857,3	804,336	3.146,508	80,3	24.200,892	97,936,060	2.135,874
PG10 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 6,17	1.664	112.130,8	44.678,7	156.809,5	806,696	3.265,202	83,4	24.200,892	97,936,060	2.135,874
PG11 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1.594	109.432,7	42.078,1	151.510,7	787,285	3.075,142	78,8	23.618,559	92,254,260	2.063,697
PG12 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 2,74	1.685	115.200,5	44.654,8	159.855,3	828,781	3.263,455	83,4	24.863,418	97,903,650	2.177,358
PG13 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,99	1.679	115.482,9	44.217,9	159.700,8	830,812	3.231,523	82,4	24.924,372	96,945,690	2.175,252
PG14 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1.671	116.094,9	43.607,4	159.701,4	835,209	3.186,911	81,3	25.056,255	95,607,330	2.175,252
PG15 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 6,17	1.697	116.149,4	44.881,7	161.026,6	835,575	3.280,037	83,9	25.067,250	98,401,110	2.193,312
PG16 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 30% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1.615	110.947,3	42.574,3	153.521,6	798,182	3.111,409	79,3	23.945,466	93,342,270	2.097,087
PG17 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney 1/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 2,74	1.701	117.243,4	44.700,8	161.944,1	843,478	3.266,815	83,4	25.304,325	98,004,450	2.205,808
PG18 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney 1/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,99	1.688	117.959,6	43.831,3	161.790,9	848,63	3.203,269	81,9	25.458,912	96,098,070	2.203,718
PG19 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney 1/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Değişiklik yok	1.695	119.305,9	43.698,6	163.004,6	858,316	3.193,577	81,9	25.749,483	95,807,310	2.220,248
PG20 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney 1/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 6,17	1.747	119.088,3	46.401,4	165.489,7	856,75	3.391,100	86,5	25.702,509	101,733,000	2.254,103
PG21 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney 1/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1.645	112.825,4	43.441,8	156.267,1	811,693	3.174,805	81,3	24.350,799	95,244,150	2.128,483
PG22 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 2,74	1.700	114.930,4	45.489,5	160.419,9	826,837	3.324,460	84,9	24.805,122	99,733,800	2.185,030
PG23 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,99	1.686	115.268,9	44.663,8	159.932,7	829,273	3.264,115	83,4	24.878,184	97,923,450	2.178,412
PG24 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Değişiklik yok	1.678	115.632,3	44.136,0	159.788,6	832,04	3.225,541	82,4	24.961,209	96,766,290	2.176,461
PG25 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 6,17	1.728	115.628,3	46.644,3	162.272,6	831,858	3.408,550	87	24.955,746	102,265,500	2.210,286
PG26 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1.612	110.673,3	42.558,0	153.231,3	796,211	3.110,218	79,3	23.886,318	93,306,540	2.087,132
PG27 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1.747	122.908,7	45.061,9	167.970,6	884,235	3.293,206	84,4	26.527,050	98,796,180	2.287,888
PG28 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 2,74	1.734	123.827,6	44.075,8	167.903,5	890,846	3.221,143	82,4	26.725,389	96,634,290	2.286,972
PG29 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,99	1.746	125.727,3	44.020,3	169.747,7	904,513	3.217,087	82,4	27.135,396	96,512,610	2.312,090
PG30 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 6,17	1.805	125.645,5	47.021,4	172.666,9	903,924	3.436,410	88	27.117,729	103,092,300	2.351,858
PG31 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 65% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1.673	115.761,0	43.840,4	159.601,4	832,813	3.203,398	81,9	24.984,384	96,118,140	2.173,897
PG32 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney 1/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 2,74	1.748	121.466,8	45.594,5	167.061,2	873,862	3.332,129	85,4	26.215,848	99,963,870	2.275,505
PG33 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney 1/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,99	1.728	122.247,4	44.305,8	166.553,1	879,477	3.237,947	82,9	26.384,322	97,138,410	2.268,581
PG34 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney 1/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Değişiklik yok	1.738	123.865,2	44.251,4	168.116,5	891,116	3.233,971	82,9	26.638,489	97,019,130	2.289,874
PG35 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney 1/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 6,17	1.813	123.509,6	48.161,4	171.670,9	888,538	3.519,722	90	26.656,743	106,591,660	2.338,297
PG36 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney 1/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1.678	115.305,3	44.255,0	159.560,3	829,534	3.234,440	82,9	24.886,032	97,027,200	2.173,339
PG37 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 2,74	1.712	116.361,0	45.615,2	161.976,2	837,13	3.333,440	85,4	25.133,884	100,009,200	2.206,247
PG38 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,99	1.696	117.154,7	44.474,5	161.629,2	842,84	3.250,281	82,9	25.895,185	97,018,430	2.201,518
PG39 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Değişiklik yok	1.698	118.195,0	44.247,9	162.442,9	850,324	3.233,721	82,9	25.909,714	97,011,630	2.212,600
PG40 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 6,17	1.762	117.475,2	47.734,2	165.209,3	845,145	3.488,501	89	25.534,350	104,655,030	2.250,288
PG41 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney 2/3 Pencere Yüksekliği - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1.633	111.991,3	43.158,3	155,148,6	805,693	3.154,091	80,8	24.170,781	94,622,730	2.113,262
PG42 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 2,74	1.811	129.300,2	46.034,3	175,334,5	930,217	3.364,270	85,9	27.906,513	100,928,100	2.388,188
PG43 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,99	1.797	130.959,1	44.709,2	175,665,3	942,113	3.267,434	83,4	28.623,905	96,023,020	2.392,690
PG44 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1.814	133.449,6	44.713,1	178,163,0	960,072	3.267,715	84,4	28.802,145	98,601,450	2.426,779
PG45 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Şeffaflık Cam U 6,17	1.887	133.409,2	48.726,5	181,225,7	953,232	3.561,022	91,1	28.596,957	106,830,660	2.468,434
PG46 Pencere/Duvar oranı - Güney tarafındaki duvarlar için 95% - Pencere Gölgeleme - Güney Değişiklik yok - Pencere tipi - Güney Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1.697	119.679,7	43.639,1	163,318,8	861,005	3.189,227	81,3	25.830,147	95,676,810	2.224,557

Tablo Ek.12.Bina batı cephesindeki pencere/duvar oranı, gölgeleme ve cam tiplerine göre sonuçlar.

NO	ETI – Enerji Tüketimi, EMİ – Elektrik Maliyetleri, YM – Yalıtımlı Maliyetleri, ET2 – Elektrik Tüketimi, YT – Yalıtımlı Tüketimi, KE – Kabin Emisyonu, YDET – Yalıtımlı Elektrik Tüketimi, YDYT – Yalıtımlı Doğal Yalıtımlı Tüketimi, YDM – Yalıtımlı Doğal Yalıtımlı Tüketimi	ETI (MJ / m ² / yıl)	EMİ(S)	YM(S)	EM2(S)	ET2 (kWh)	YT (MJ)	KE (Ton)	YDET (kW)	YDYT (MJ)	YDM (S)
PB1	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 0% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Dışıklık yok	1,654	114,172,5	43,423,8	157,598,3	821,399	3,173,401	81,3	24,641,982	95,204,730	21,46,614
PB2	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Şeffaf Çift Cam U 2,74	1,692	116,882,9	44,388,3	161,270,6	840,879	3,243,982	82,9	25,225,257	97,313,460	21,96,633
PB3	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,99	1,690	116,966,9	44,333,3	161,300,4	841,489	3,234,126	82,9	25,244,664	97,023,780	21,95,699
PB4	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışıklık yok	1,689	117,029,7	44,199,6	161,229,2	841,194	3,230,186	82,4	25,258,403	96,905,580	21,96,699
PB5	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Şeffaf Tek Cam U 6,17	1,698	117,098,5	44,627,3	161,725,7	842,435	3,261,444	83,4	25,273,650	97,044,320	22,02,633
PB6	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1,681	116,222,0	44,088,3	160,310,3	836,13	3,222,056	82,4	25,083,891	96,661,680	21,83,554
PB7	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Şeffaf Çift Cam U 2,74	1,686	116,404,4	44,252,6	160,657,0	837,442	3,234,061	82,9	25,123,527	97,021,830	21,88,276
PB8	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Şeffaf Çift Cam U 1,99	1,685	116,497,8	44,154,5	160,652,2	838,113	3,226,891	82,4	25,145,602	96,800,730	21,88,210
PB9	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışıklık yok	1,684	116,559,5	44,113,6	160,673,1	838,558	3,223,900	82,4	25,167,237	96,715,000	21,88,494
PB10	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Şeffaf Tek Cam U 6,17	1,693	116,634,6	44,552,6	161,187,2	839,098	3,255,988	83,4	25,172,940	97,073,640	21,95,496
PB11	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1,679	115,951,9	44,051,9	160,003,8	834,186	3,219,396	82,4	25,025,589	96,581,880	21,79,279
PB12	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Şeffaf Çift Cam U 2,74	1,696	117,490,4	44,356,3	161,846,7	845,255	3,241,637	82,9	25,357,647	97,246,110	22,04,472
PB13	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Şeffaf Çift Cam U 1,99	1,694	117,624,6	44,219,4	161,844,0	846,22	3,231,632	82,9	25,386,606	96,948,980	22,04,442
PB14	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Dışıklık yok	1,693	117,724,3	44,150,6	161,874,9	846,938	3,226,610	82,4	25,408,125	96,798,300	22,04,864
PB15	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Şeffaf Tek Cam U 6,17	1,704	117,881,5	44,658,5	162,540,0	848,068	3,263,725	83,4	25,442,048	97,911,730	22,13,923
PB16	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 30% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1,688	116,726,9	44,246,0	160,972,9	839,762	3,233,580	82,9	25,192,848	97,007,400	21,92,578
PB17	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışık Emisyonlu Çift Cam U 2,74	1,727	120,183,4	44,975,1	165,158,6	864,629	3,286,866	83,9	25,938,870	98,605,980	22,49,589
PB18	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,99	1,721	120,290,7	44,659,5	164,950,2	865,401	3,263,798	83,4	25,962,024	97,913,990	22,46,750
PB19	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışıklık yok	1,720	120,404,9	44,564,8	164,969,7	866,222	3,256,875	83,4	25,986,627	97,706,250	22,47,015
PB20	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Şeffaf Tek Cam U 6,17	1,740	120,630,0	45,426,7	166,256,7	869,281	3,319,870	84,9	26,078,415	99,596,100	22,64,547
PB21	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1,700	118,124,3	44,355,7	162,490,0	849,815	3,242,326	82,9	25,494,462	97,260,780	22,13,242
PB22	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Şeffaf Çift Cam U 2,74	1,713	118,682,6	44,829,1	163,331,8	852,142	3,280,213	83,9	25,564,554	98,406,390	22,24,708
PB23	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Şeffaf Çift Cam U 1,99	1,709	118,682,6	44,829,1	163,331,8	853,831	3,261,632	83,4	25,614,942	97,848,980	22,24,441
PB24	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışıklık yok	1,709	118,797,3	44,551,6	163,348,9	854,657	3,255,514	83,4	25,639,713	97,677,420	22,24,943
PB25	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Şeffaf Tek Cam U 6,17	1,725	119,056,3	45,319,7	164,376,0	856,52	3,312,047	84,9	25,695,612	99,361,410	22,38,932
PB26	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1,692	116,943,1	44,374,4	161,317,5	841,317	3,242,966	82,9	25,239,513	97,280,980	21,97,272
PB27	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Şeffaf Çift Cam U 2,74	1,747	122,787,6	45,102,4	167,890,0	883,364	3,296,169	84,4	26,500,917	98,885,070	22,86,792
PB28	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Şeffaf Çift Cam U 1,99	1,743	123,044,7	44,810,9	167,846,6	885,214	3,274,203	83,9	26,556,417	98,226,090	22,86,199
PB29	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Dışıklık yok	1,744	123,374,7	44,705,7	168,080,4	887,588	3,267,176	83,4	26,627,634	98,015,280	22,89,584
PB30	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Şeffaf Tek Cam U 6,17	1,765	123,727,9	45,688,5	169,416,4	890,129	3,338,999	85,4	26,703,867	100,169,970	23,07,583
PB31	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 65% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1,715	120,101,7	44,414,0	164,515,7	864,041	3,245,860	82,9	25,921,230	97,375,800	22,40,832
PB32	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Şeffaf Çift Cam U 2,74	1,762	123,505,4	45,615,6	169,121,0	888,528	3,333,670	85,4	26,655,852	100,010,100	23,03,559
PB33	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,99	1,760	123,989,9	45,313,6	169,303,5	892,013	3,311,604	84,4	26,760,402	99,348,120	23,06,044
PB34	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışıklık yok	1,759	124,185,1	45,224,6	169,409,7	893,418	3,305,100	84,4	26,802,540	99,153,000	23,07,491
PB35	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Şeffaf Tek Cam U 6,17	1,785	124,307,5	46,478,2	170,785,6	894,298	3,396,710	87	26,828,952	101,901,300	23,36,234
PB36	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı 1/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1,723	120,444,3	44,714,4	165,158,7	866,506	3,267,808	83,4	25,995,174	98,034,240	22,49,590
PB37	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Şeffaf Çift Cam U 2,74	1,741	120,885,8	44,656,1	166,351,8	869,682	3,322,744	84,9	26,155,422	99,033,280	22,65,803
PB38	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Şeffaf Çift Cam U 1,99	1,737	121,386,8	45,169,6	166,356,4	871,847	3,301,076	84,4	26,187,259	98,691,430	22,67,059
PB39	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışıklık yok	1,737	121,666,6	45,105,3	166,441,9	872,925	3,296,381	84,4	26,187,259	98,691,430	22,67,059
PB40	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Şeffaf Tek Cam U 6,17	1,759	121,316,3	46,164,2	167,680,5	874,218	3,373,768	86,5	26,226,537	101,213,040	22,83,941
PB41	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı 2/3 Pencere Yalıtılmış – Pencere tipi - Batı Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1,710	118,552,6	44,716,1	163,268,7	852,896	3,267,938	83,4	25,586,889	98,038,140	22,23,849
PB42	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Şeffaf Çift Cam U 2,74	1,794	126,824,0	46,059,0	172,883,0	912,403	3,366,076	85,9	27,372,827	100,982,180	23,54,799
PB43	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Şeffaf Çift Cam U 1,99	1,789	127,526,3	45,662,1	172,918,4	915,513	3,337,071	84,4	27,465,990	100,112,130	23,55,870
PB44	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Dışıklık yok	1,789	127,526,3	45,662,1	172,918,4	915,513	3,337,071	84,4	27,465,990	100,112,130	23,55,870
PB45	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Şeffaf Tek Cam U 6,17	1,821	127,761,5	47,072,0	174,833,5	919,147	3,420,109	88	27,574,422	103,203,270	23,81,367
PB46	Pencere/Duvar oranı - Batı tarafındaki duvarlar için 95% – Pencere Gölgeleme - Batı Dışıklık yok – Pencere tipi - Batı Dışık Emisyonlu Çift Cam U 1,55	1,749	123,661,0	44,891,3	168,552,3	889,647	3,280,740	83,9	26,689,419	98,422,200	22,95,811

EK.3. Isıl geçirgenlik katsayıları (U) ve güneş ısı kazanım katsayılarına (SHGC) karşılık gelen Enerji tüketimleri (E), Toplam maliyetler (M), Karbondioksit salınımları (K) ve Yaşam döngüsü maliyetleri (YD) sunulmuştur.

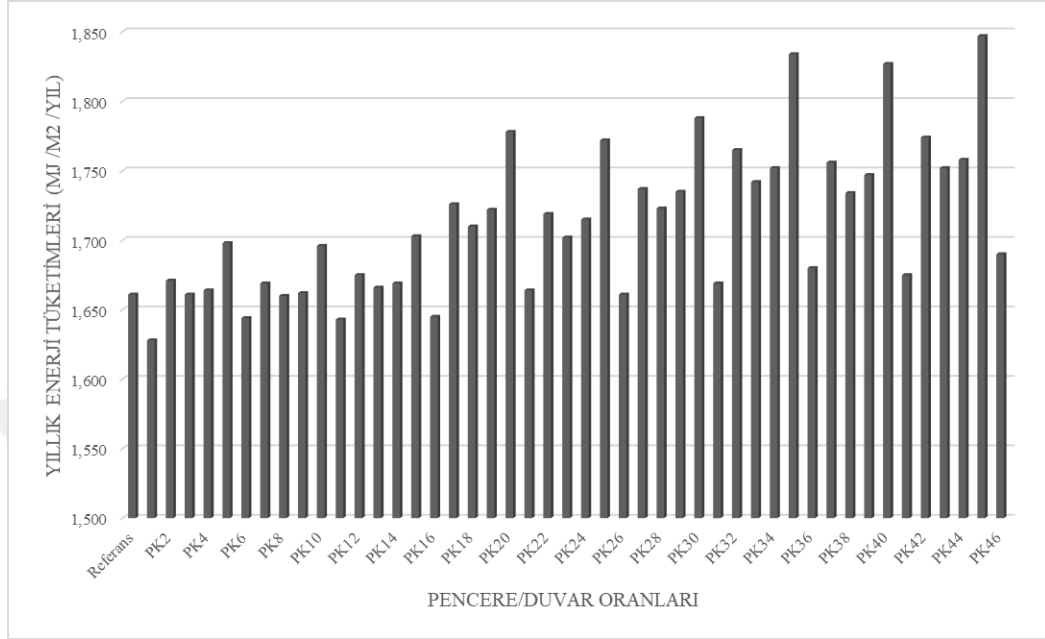
Tablo Ek.13.Seçeneklerin ısı geçirgenlik ve güneş ısı kazanım katsayılarına göre sonuçları.

SEÇENEK	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	SHGC	E	M	K	YD
	W/m2.K	W/m2.K	W/m2.K	W/m2.K	W/m2.K	W/m2.K	W/m2.K	W/m2.K	W/m2.K	-	MJ/m2/yıl	\$	Ton	\$
S1	0,2497	0,3495	1,6896	1,361	1,2908	0,2499	2,1944	3,6886	3,6886	0,86	1611	153955	78,8	2096870
S2	0,1589	0,2993	1,0625	3,6842	1,8135	0,4063	3,7021	3,6898	3,6898	0,86	1637	156333	80,3	2129253
S3	0,2487	0,3967	2,0668	2,2826	0,85	0,4063	2,3256	3,6911	3,6911	0,81	1633,8	156457	79,3	2130945
S4	3,3775	0,4396	1,6166	2,9167	0,929	0,3857	2,5572	3,6912	3,6912	0,81	1615	156291	76,7	2128681
S5	1,5583	0,4493	1,0539	2,4275	1,88	0,4082	3,1796	2,4887	2,4887	0,76	1621	155035	78,8	2111579
S6	0,1769	0,4522	1,3289	3,4146	0,3596	0,7059	1,8737	2,1354	2,1354	0,7	1688,3	160077	83,4	2180254
S7	0,4694	0,3967	1,1905	2,4108	4,3599	0,6278	2,0441	2,2687	2,2687	0,76	1957,2	180901	102	2463871
S8	0,5343	0,5779	1,9709	1,6229	3,8651	0,2756	2,6119	1,7356	1,7356	0,65	1703,6	162398	83,4	2211859
S9	0,3275	0,5445	1,4433	0,8226	3,7475	0,27	1,6466	3,6898	3,6898	0,86	1776,1	168789	87,5	2298911
S10	0,1846	1,9487	1,108	2,4138	3,15	0,15	1,817	2,313	2,313	0,76	1675,5	159891	81,9	2177713
S11	0,1286	1,4269	1,1789	2,1993	1,6133	0,116	3,8042	2,313	2,313	0,13	1590,9	151078	78,8	2057684
S12	2,5405	0,2204	2,2448	1,5791	1,2052	0,11	2,044	3,2983	3,2983	0,86	1672,8	161049	80,3	2193485
S13	0,9165	5,8817	1,4778	0,7457	1,361	0,1	2,3279	1,4554	1,4554	0,62	1595,2	153877	76,2	2095800
S14	2,024	0,6723	1,2718	0,8057	2,9582	0,11	3,35	2,0063	2,0063	0,6	1528,8	148316	72,1	2020063
S15	0,876	0,6825	0,8554	1,0687	1,3967	0,116	2,0838	2,0063	2,0063	0,48	1538,5	148150	73,7	2017806
S16	1,5867	0,5602	3,0172	1,4128	1,1072	0,15	5,6212	2,0953	2,0953	0,65	1596,4	155149	75,2	2113132
S17	1,3207	0,4376	1,4464	1,3301	0,9198	0,27	6,558	5,5473	5,5473	0,86	1613,1	155962	76,7	2124204
S18	0,5299	1,4917	1,6204	1,0411	0,7892	0,2756	2,697	2,6384	2,6384	0,76	1478,3	144938	68,6	1974056
S19	0,7399	0,4646	2,8846	0,8144	0,6132	0,7059	3,1286	4,6629	4,6629	0,86	1706,7	159383	87	2170794
S20	0,4841	0,9237	1,3381	0,8985	0,5507	0,4082	4,1165	2,8519	2,8519	0,76	1619,1	153058	80,8	2084643
S21	1,0502	1,1407	1,1684	0,8985	0,5507	0,3857	1,9361	2,0713	2,0713	0,65	1863,1	171832	97,2	2340352
S22	0,3688	1,7352	1,1519	1,1504	0,4599	0,4063	5,3089	2,9191	2,9191	0,76	1607,9	153214	78,8	2086771
S23	1,1206	1,4563	0,9662	0,6524	0,4485	0,2499	6,8703	5,5617	5,5617	0,86	1868,7	171168	98,7	2331304
S24	0,5363	1,6013	1,6598	1,4427	0,3861	0,4063	2,9639	2,9191	2,9191	0,13	1736,2	157096	93,6	2139651
S25	0,6365	1,228	0,7594	1,3683	0,3463	0,4063	4,2812	4,8293	4,8293	0,86	1869,3	171352	98,7	2333810
S26	0,5103	0,616	1,7857	1,1015	0,2839	0,3857	2,1065	2,8567	2,8567	0,6	1555,5	149474	75,2	2035831
S27	0,5181	0,9683	2,1127	0,9255	0,2668	0,4082	3,3216	2,8567	2,8567	0,49	1604,7	151368	80,3	2061637
S28	0,7305	2,2621	1,1905	0,6983	0,1703	0,6278	4,2812	5,905	5,905	0,86	1856,8	171747	96,2	2339190
S29	0,7465	1,8709	1,5936	0,6189	0,176	0,2756	2,9639	5,905	5,905	0,7	1867,4	171420	98,2	2334736
S30	0,2497	1,4269	1,6896	1,3301	1,6133	0,2499	3,1796	3,6886	3,6886	0,86	1788,9	166750	91,6	2271139
S31	0,1769	0,2204	1,6896	1,2337	1,2052	0,2499	2,3279	1,4554	1,4554	0,62	1666,3	158180	82,4	2154409
S32	0,1769	0,2204	0,8554	0,8144	0,2481	0,2499	1,817	2,0063	2,0063	0,6	1665	157549	82,9	2145811
S33	1,5583	1,4269	1,4778	1,0411	3,8651	0,4063	2,3279	2,0063	2,0063	0,31	1864,8	169383	99,8	2306993
S34	0,1769	0,2204	0,2839	0,6524	0,2481	0,3857	1,6466	1,533	1,533	0,68	1664,5	160126	80,3	2180913
S35	0,7254	0,6825	1,1905	0,511	3,7475	0,2756	2,3279	1,9873	1,9873	0,7	1785,5	167959	90	2287599
S36	0,239	1,1407	0,9676	0,2895	0,6132	0,116	4,1165	3,2968	3,2968	0,86	1712,1	162840	84,4	2217875
S37	0,239	0,6941	0,9094	0,2668	0,5507	0,11	1,9361	1,7356	1,7356	0,65	1416	141519	62,9	1927486
S38	0,231	0,5601	1,1015	0,193	0,4996	0,1	2,7822	3,6898	3,6898	0,86	1453,9	144826	65	1972532
S39	0,53	0,49	1,3059	0,1646	0,4599	0,11	5,3089	2,313	2,313	0,13	1343,6	133014	60,9	1811650
S40	0,22	0,5639	1,75	0,2668	0,3861	0,15	6,8703	3,2983	3,2983	0,86	1432,4	143373	63,4	1952734
S41	0,12	1,5796	1,75	0,193	0,3463	0,27	2,9639	1,4554	1,4554	0,26	1432,6	138971	67,5	1892788
S42	1,87	0,8455	0,3633	0,2668	0,2839	0,2756	4,2812	1,4554	1,4554	0,41	1547,2	149951	73,2	2042336
S43	0,51	1,6893	0,3747	0,193	0,2668	0,6278	2,1065	2,0063	2,0063	0,48	1630,5	153594	81,9	2091952
S44	0,5	0,3282	0,3633	0,1646	0,4485	0,7059	3,3216	2,0063	2,0063	0,26	1887,5	169597	103	2309904
S45	0,22	0,2365	0,3747	0,5961	0,3861	0,4082	2,1065	5,5617	5,5617	0,86	1933,5	175465	104	2389835
S46	0,12	0,5255	1,05	0,4201	0,3463	0,3857	4,2812	3,2116	3,2116	0,76	1509,6	147705	70,1	2011747
S47	0,197	0,428	1,75	0,2725	0,2839	0,4082	2,9639	2,8519	2,8519	0,76	1573,4	151358	75,7	2061491
S48	0,1044	0,417	1,75	0,1816	0,4485	0,3857	6,8703	2,0713	2,0713	0,65	1499,5	146508	70,1	1995434
S49	0,393	0,524	0,3861	0,5961	0,4599	0,4063	5,3089	5,2298	5,2298	0,86	1615,3	153813	79,3	2094938
S50	0,329	0,571	0,4144	0,6472	0,4996	0,4063	2,7822	2,9191	2,9191	0,76	1578,4	151428	76,2	2062450
S51	0,4834	0,377	0,4315	0,5961	0,5507	0,4063	1,9361	2,9214	2,9214	0,13	1516,2	143490	75,2	1954330
S52	0,373	0,283	0,3861	0,6472	0,6132	0,3857	4,1165	4,8293	4,8293	0,86	1546,3	150241	72,6	2046280
S53	0,3465	0,673	0,4031	0,5961	0,687	0,4063	3,1286	2,8567	2,8567	0,6	1589,7	151342	78,3	2061280

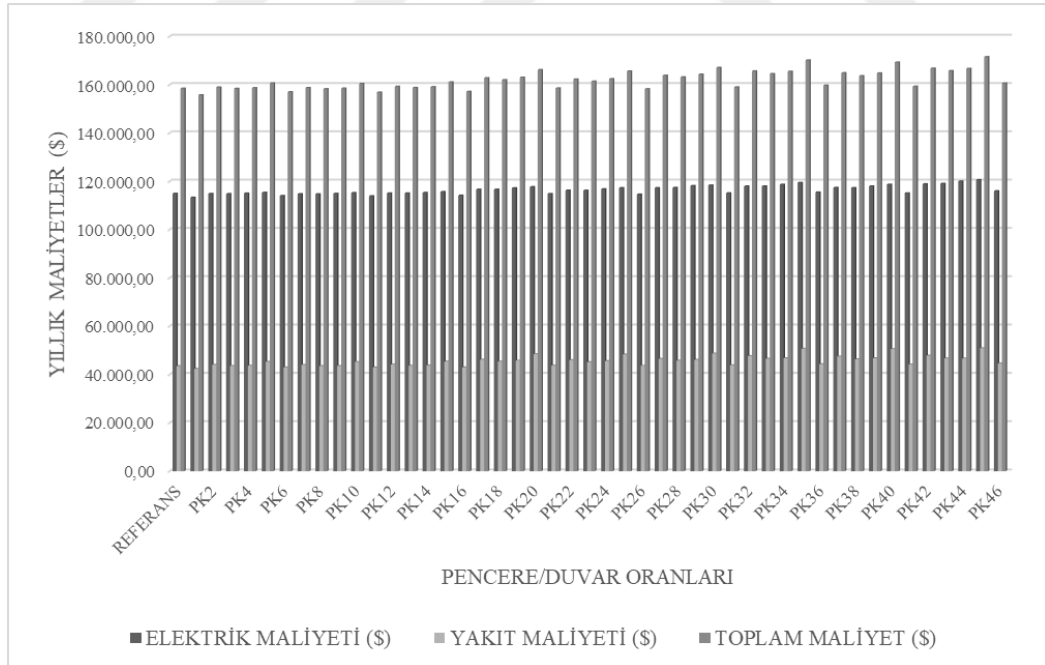
Tablo Ek.13. (devam):

SEÇENEK	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	SHGC	E	M	K	YD
	W/m2.K	W/m2.K	W/m2.K	W/m2.K	W/m2.K	W/m2.K	W/m2.K	W/m2.K	W/m2.K	-	MJ/m2/yl	\$	Ton	\$
S54	0,2562	0,418	0,3633	0,6472	0,7892	0,4063	3,6907	2,8567	2,8567	0,49	1573,4	149499	77,8	2036180
S55	0,2215	0,3316	0,3633	0,5961	0,9198	0,2499	2,697	5,905	5,905	0,86	1602,9	153076	78,3	2084889
S56	0,1672	0,2816	0,4031	0,5166	1,1072	0,4063	6,558	5,905	5,905	0,73	1614,9	153261	79,8	2087417
S57	0,1334	0,3689	0,3861	0,4201	1,3967	0,4063	5,6212	5,905	5,905	0,62	1626,8	153613	81,3	2092210
S58	0,1135	0,2902	1,75	0,3577	2,186	0,3857	2,0838	5,905	5,905	0,19	1472,2	140885	71,6	1918848
S59	0,0857	0,4102	1,75	0,3066	2,9582	0,4082	3,35	5,905	5,905	0,39	1580,4	148730	79,3	2025698
S60	0,1743	0,3844	1,05	0,2725	1,2052	0,7059	2,3279	1,9873	1,9873	0,76	1699,2	161760	83,4	2203173
S61	0,373	0,8822	1,6896	0,2441	1,6133	0,6278	2,044	1,9873	1,9873	0,5	1731,2	162534	87,5	2213714
S62	0,2562	0,7256	1,0625	0,2214	1,2908	0,2756	3,8042	1,9873	1,9873	0,17	1333,9	132693	59,9	1807275
S63	0,3038	0,9324	2,0668	0,1987	1,8135	0,27	1,817	1,9873	1,9873	0,22	1457,3	141871	68,6	1932289
S64	0,1743	0,3479	1,6166	0,1816	0,85	0,15	3,8042	1,9873	1,9873	0,16	1353,4	134876	60,4	1837006
S65	0,3038	0,2918	1,0539	0,1646	0,929	0,116	2,044	1,9873	1,9873	0,29	1394,6	138158	62,9	1881711
S66	0,1482	0,4869	1,6166	0,1533	1,88	0,11	3,8042	1,9873	1,9873	0,13	1360,8	134713	61,4	1834790
S67	0,1144	0,2124	1,0625	1,58	0,3596	0,1	2,044	1,9873	1,9873	0,22	1424,9	140318	65,5	1911127
S68	0,387	0,3218	1,6896	3,6842	0,2481	0,11	3,8042	1,9873	1,9873	0,65	1535,5	150813	70,6	2054078
S69	0,2333	0,5281	1,6166	2,2826	3,7475	0,116	1,817	1,9873	1,9873	0,6	1756,5	166579	87	2268804
S70	0,197	0,2438	1,0539	2,4275	1,6133	0,15	3,8042	1,9873	1,9873	0,57	1610,8	156191	76,2	2127321
S71	0,124	0,1545	1,3289	3,4146	1,2052	0,27	1,817	1,9873	1,9873	0,41	1586,7	153187	75,7	2086411
S72	0,4538	0,9718	1,1905	2,4108	2,9582	0,2756	1,6466	1,9873	1,9873	0,45	1485,4	144286	70,1	1965180
S73	0,364	3,3013	1,9709	1,6929	2,186	0,27	2,6119	1,9873	1,9873	0,65	1615,4	155095	78,3	2112393
S74	4,8351	2,313	1,4433	0,8226	1,3967	0,15	1,6466	1,533	1,533	0,68	1727,3	164328	84,9	2238149
S75	4,2684	1,2593	1,108	2,1993	1,1072	0,116	2,6119	1,533	1,533	0,61	1675,2	160722	80,8	2189031
S76	0,1724	0,1868	1,1789	1,5791	0,9198	0,11	2,441	1,533	1,533	0,53	1357,5	136852	58,8	1863924
S77	0,5429	0,3844	2,2448	0,7457	0,7892	0,1	1,8737	1,533	1,533	0,26	1387	137467	62,4	1872305
S78	0,2375	0,2747	2,0302	0,8057	0,687	0,11	2,0441	1,9773	1,9773	0,65	1408,6	141366	61,9	1925408
S79	0,1892	1,4142	1,4778	1,0687	0,6132	0,116	3,1796	3,6886	3,6886	0,86	1518,3	149316	69,6	2033680
S80	0,1506	0,5057	1,2718	1,2585	0,5507	0,15	2,5572	3,6911	3,6911	0,81	1457,9	145435	65	1980828
S81	0,51	1,0333	0,8554	1,5926	0,4996	0,27	2,3256	2,4887	2,4887	0,76	1482,2	146668	67	1997615
S82	0,3	0,9844	2,4823	1,4128	0,4599	0,2756	3,7021	2,2688	2,2688	0,76	1479,3	146197	67	1991198
S83	0,53	0,7846	0,7987	1,0411	0,3861	0,4082	2,5572	3,1915	3,1915	0,86	1650,3	157295	80,8	2142362
S84	0,22	0,3294	2,8846	1,2337	0,3463	0,3857	3,1796	2,2687	2,2687	0,76	1515,1	148693	70,1	2025198
S85	0,12	0,5421	1,3381	0,8144	0,2839	0,4063	2,5572	1,7356	1,7356	0,65	1548,5	149078	74,2	2030439
S86	1,87	0,5208	1,1684	0,8985	0,2668	0,3857	2,3256	3,5315	3,5315	0,86	1644,7	158361	78,8	2156881
S87	0,51	0,6248	1,2331	0,7559	0,1987	0,4063	3,7021	3,6898	3,6898	0,86	1633,2	156556	79,3	2132293
S88	0,52	0,4174	1,1519	0,6524	0,1703	0,4063	2,1944	2,313	2,313	0,76	1579,5	152685	75,2	2079565
S89	0,22	1,23	0,9662	1,4427	0,176	0,2499	3,7021	2,313	2,313	0,13	1608,6	148413	83,9	2021391
S90	0,12	0,65	1,81	1,3683	0,4996	0,4063	2,1944	3,2983	3,2983	0,86	1616,6	154490	78,8	2104159
S91	0,2497	1,5	1,6598	1,015	0,4315	0,4063	3,7021	1,4554	1,4554	0,62	1625,8	153466	81,3	2090202
S92	0,1589	0,48	0,7594	0,9255	0,3804	0,3857	2,5572	1,4554	1,4554	0,36	1467,6	142658	69,1	1943001
S93	0,2487	0,49	1,9231	0,7949	0,3122	0,4082	3,1796	1,4554	1,4554	0,26	1496,3	143133	72,6	1949478
S94	0,1769	0,79	1,7857	0,6983	0,2839	0,7059	1,8737	2,0063	2,0063	0,6	1599,7	151947	78,8	2069519
S95	2,024	0,61	2,1127	0,6189	0,2157	0,6278	2,0441	2,0063	2,0063	0,31	1561,7	148033	77,2	2016212
S96	0,3981	0,96	1,1905	0,4315	1,25	0,27	1,6466	5,5473	5,5473	0,86	1631,1	156478	78,8	2131235
S97	0,393	0,44	1,4778	0,3917	0,28	0,11	2,044	2,8519	2,8519	0,76	1471,6	145825	66,5	1986133
S98	0,329	1,13	1,3053	0,2895	2,01	0,1	2,3279	2,0713	2,0713	0,65	1555,5	151076	73,2	2057649
S99	0,452	0,57	1,5662	0,2668	1,77	0,11	3,35	5,5617	5,5617	0,86	1641,4	158255	78,8	2155437
S100	0,323	0,5602	1,5662	0,193	1,19	0,116	2,0838	1,9873	1,9873	0,76	1448	144116	65	1962866
S101	0,1769	0,2204	0,2839	0,1646	0,2157	0,1	3,8042	1,9873	1,9873	0,17	1351,7	133995	60,9	1825005
S102	1,5583	1,4269	0,9094	0,6524	1,8135	0,4063	5,6212	1,533	1,533	0,53	1656,9	155614	83,4	2119457
S103	0,5343	0,513	1,7885	1,4427	0,85	0,4082	3,35	1,533	1,533	0,26	1573,2	149174	77,8	2031750
S104	0,1846	2,1839	0,6813	0,7949	2,9582	0,27	1,6466	1,9873	1,9873	0,39	1529,1	147143	73,7	2004086
S105	2,024	1,4269	0,6018	0,4769	1,1072	0,11	3,1796	1,9873	1,9873	0,29	1518,7	145412	73,7	1980514
S106	0,7923	0,2204	0,545	0,3066	0,687	0,15	2,1944	1,9873	1,9873	0,49	1438	141746	65,5	1930578
S107	0,7399	0,6723	0,4996	0,2214	0,5507	0,11	3,1796	5,905	5,905	0,39	1523,5	146367	73,7	1993522
S108	0,8566	0,7362	0,4599	0,193	0,3861	0,15	3,7021	5,905	5,905	0,62	1534,6	148004	73,7	2015817
S109	0,6365	0,5602	0,4258	0,2895	0,4996	0,6278	1,8737	2,8567	2,8567	0,39	1698	158729	86,5	2161892
S110	0,5103	0,4376	0,6189	0,4315	0,6132	0,2756	2,3256	4,8293	4,8293	0,86	1485,5	146025	68	1988860

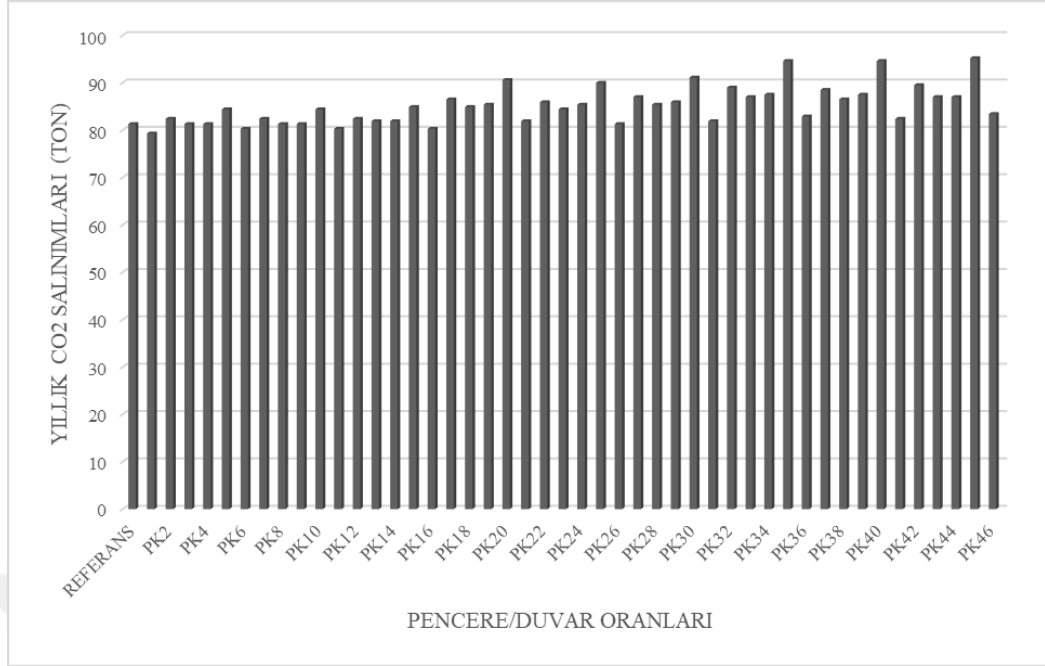
EK.4. Alternatiflerin enerji, maliyet, karbondioksit salınımları ve yaşam döngüsü maliyetlerinin şekilleri.



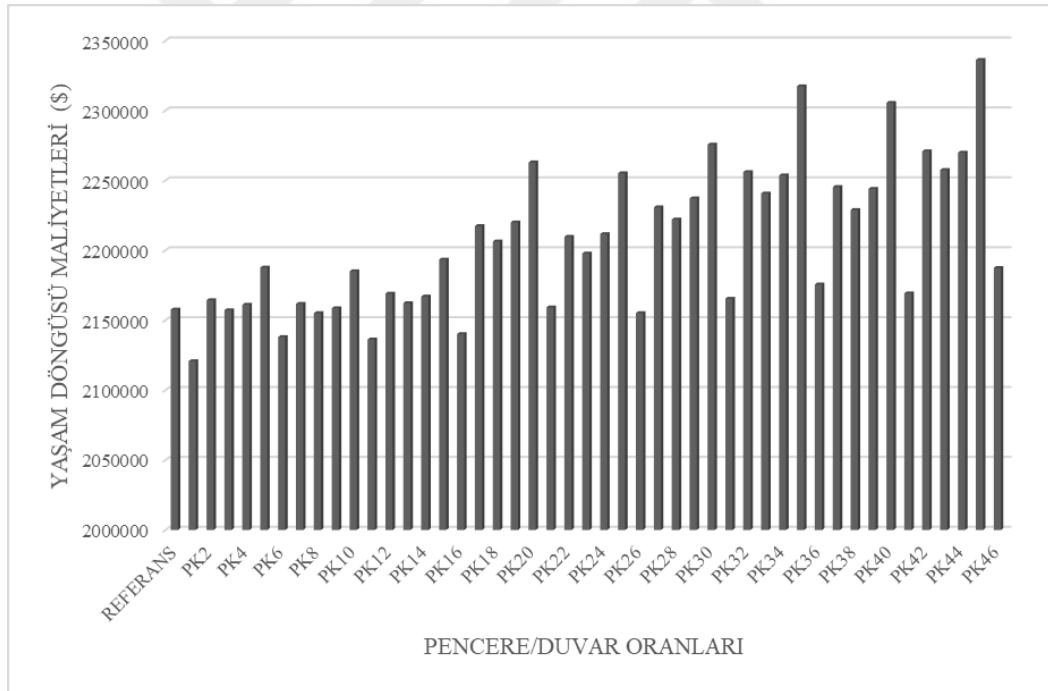
Şekil Ek.11. Kuzey cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık enerji tüketimleri.



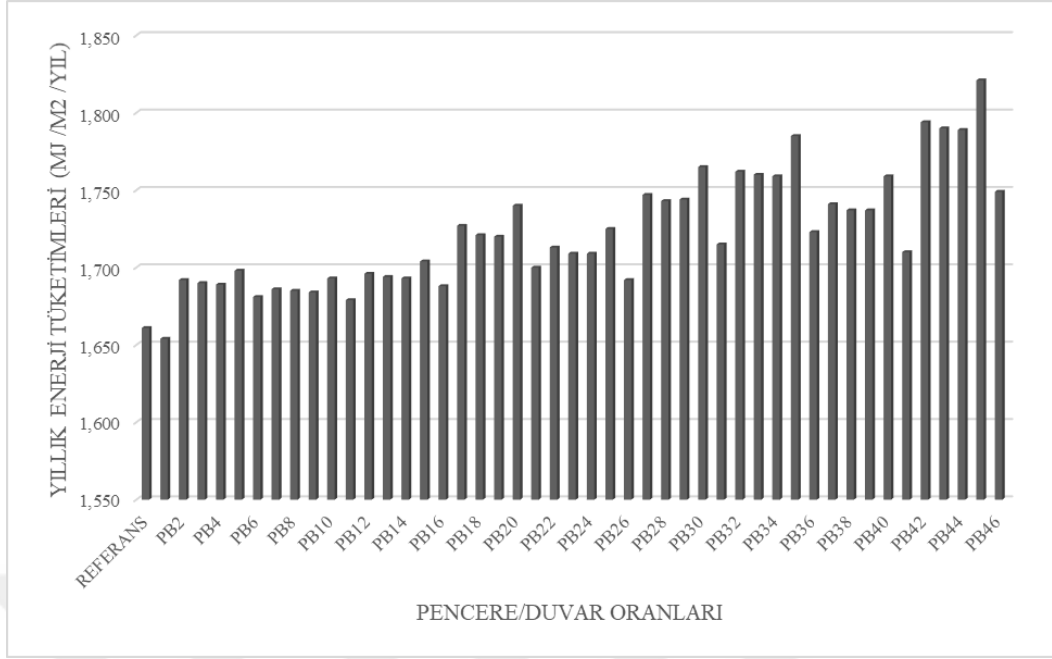
Şekil Ek.12. Kuzey cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık maliyetleri.



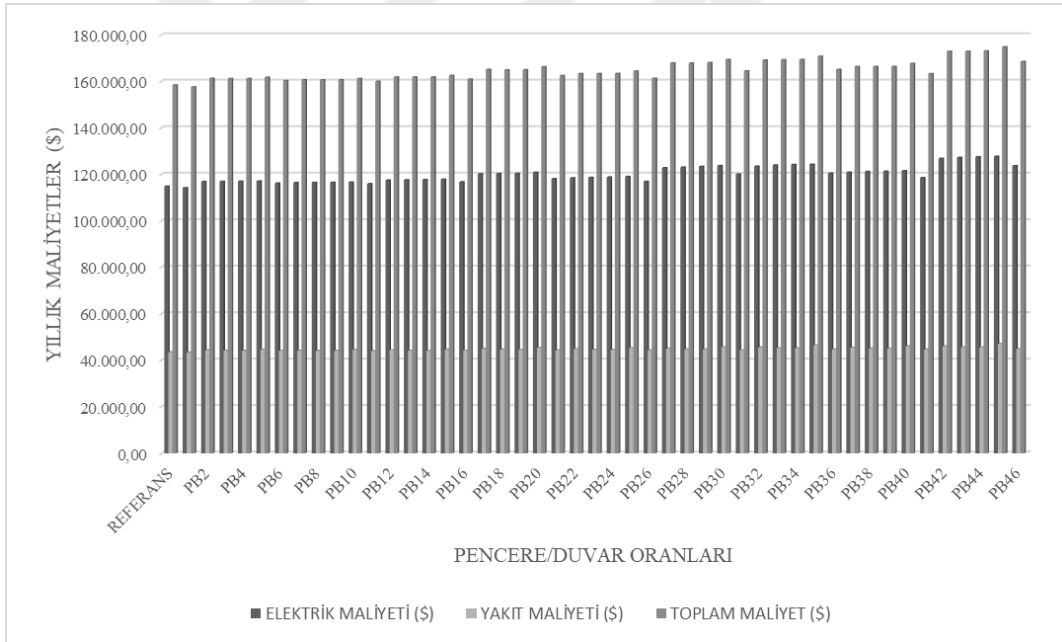
Şekil Ek.13. Kuzey cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık CO₂ salınımları.



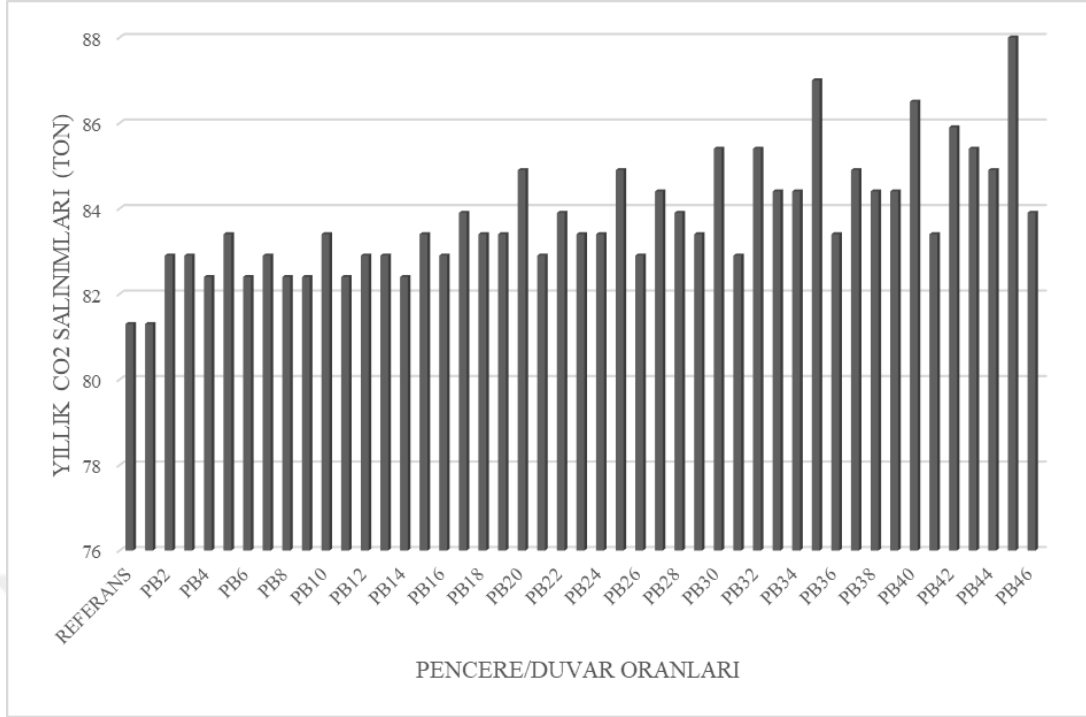
Şekil Ek.14. Kuzey cephesinde pencere/duvar oranlarına göre alternatiflerin yaşam döngüsü maliyetleri.



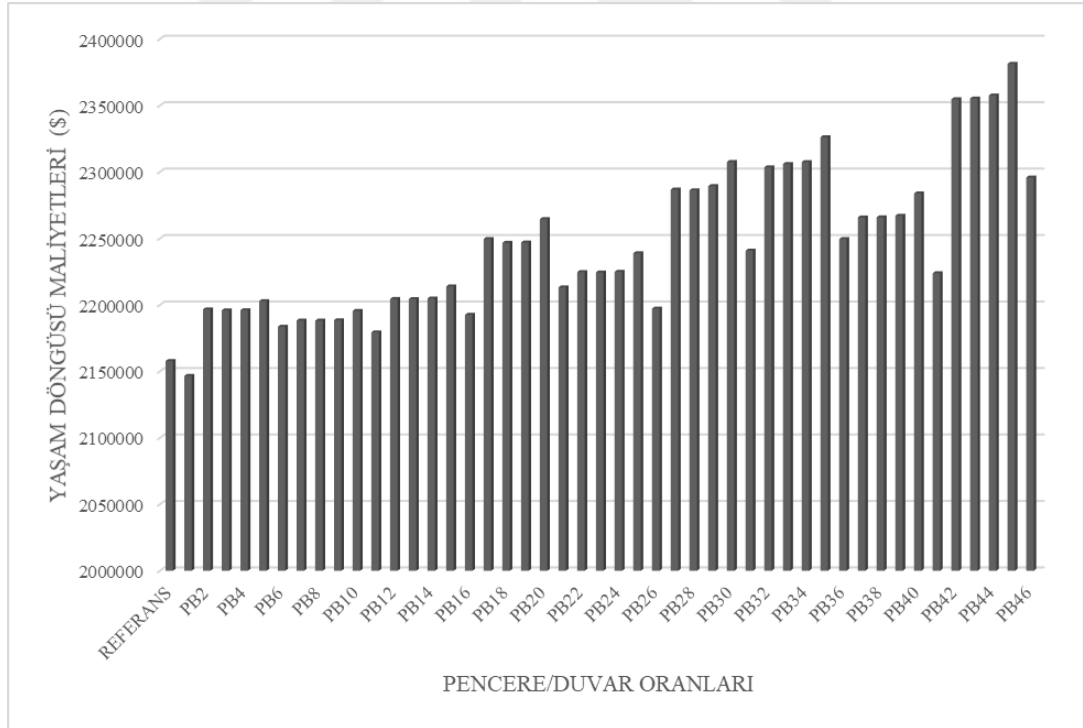
Şekil Ek.15. Batı cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık enerji tüketimleri.



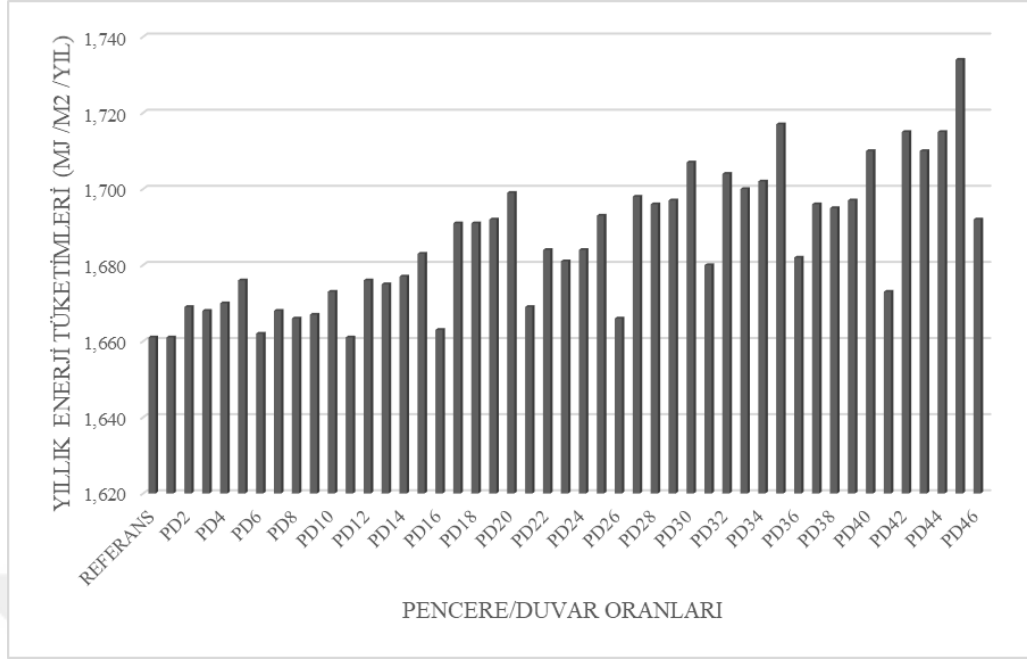
Şekil Ek.16. Batı cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık maliyetleri.



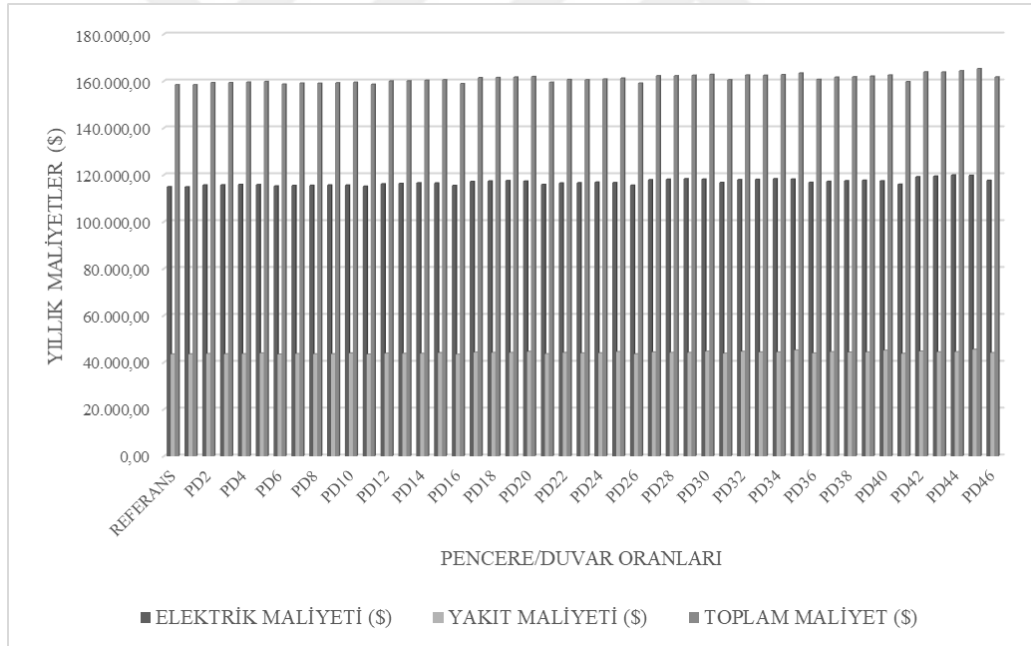
Şekil Ek.17. Batı cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık CO₂ salınımları.



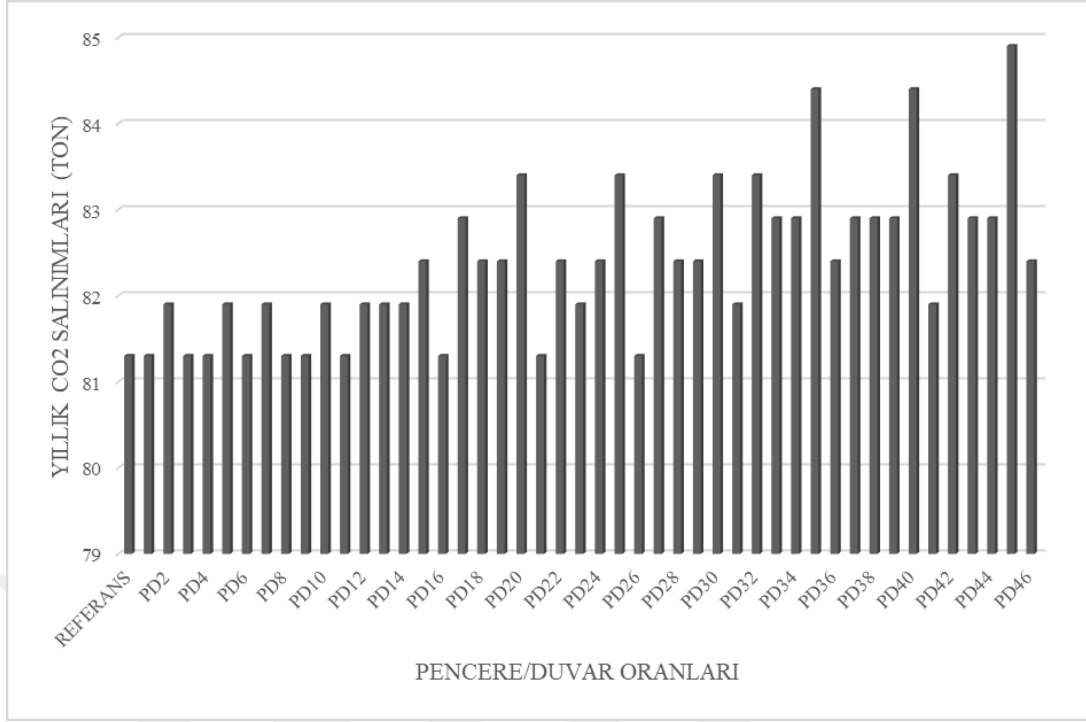
Şekil Ek.18. Batı cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yaşam döngüsü maliyetleri.



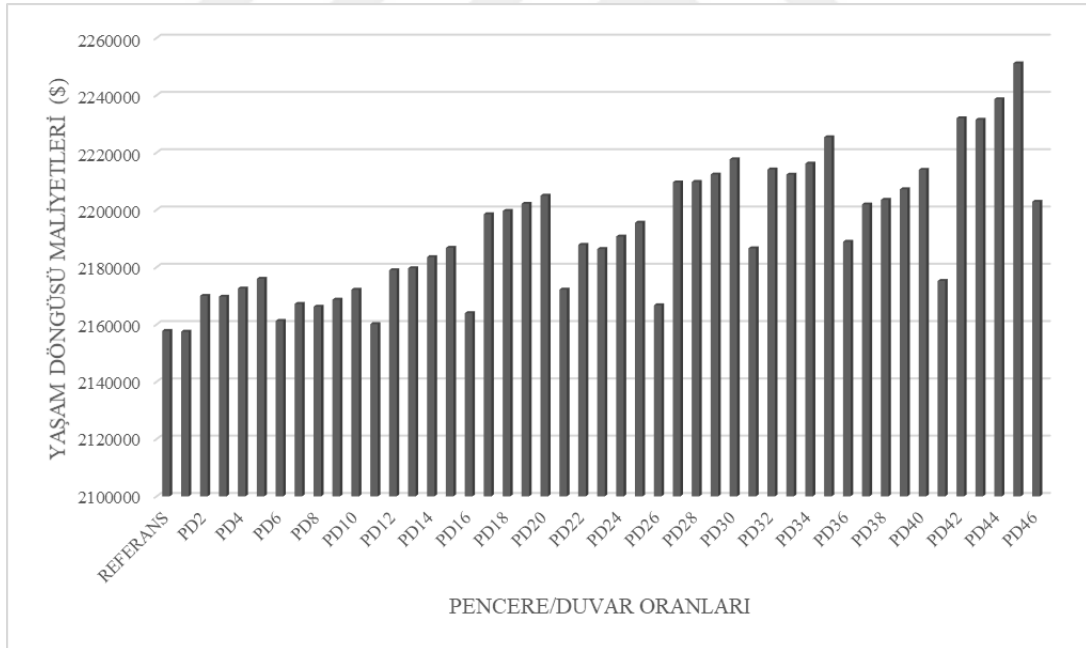
Şekil Ek.19. Doğu cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık enerji tüketimleri.



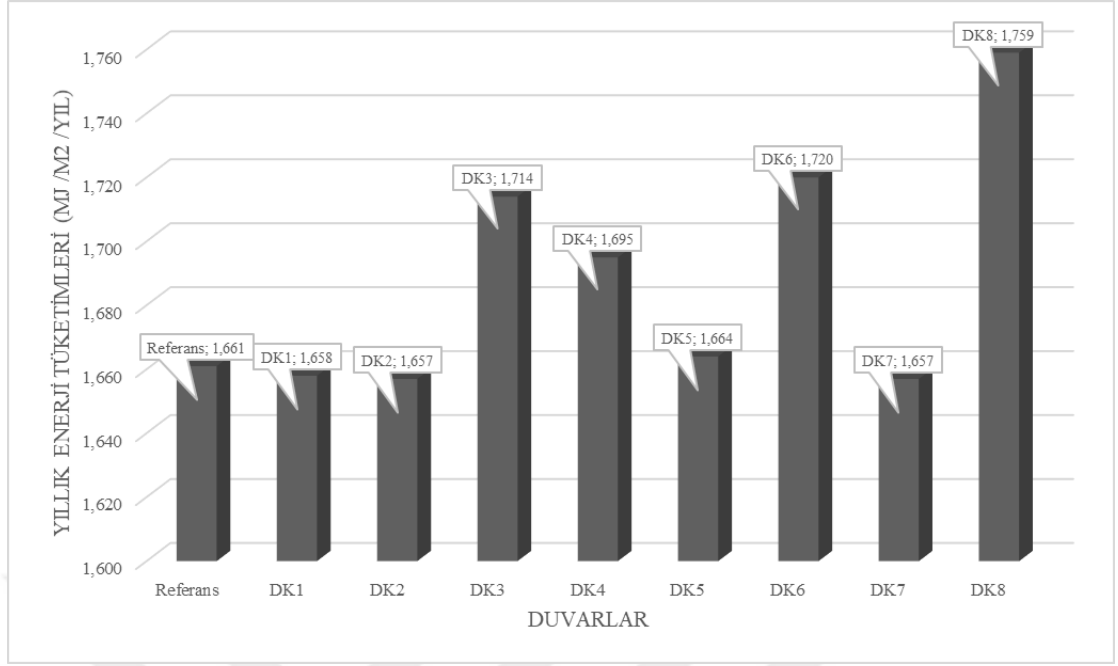
Şekil Ek.20. Doğu cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık maliyetleri.



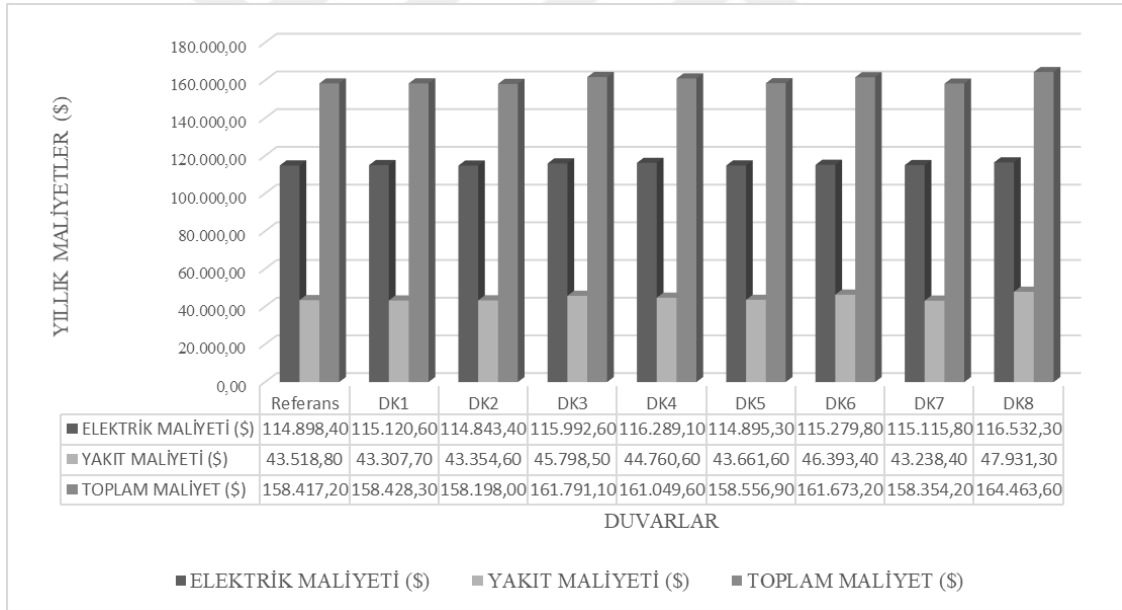
Şekil Ek.21. Doğu cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yıllık CO₂ salınımları.



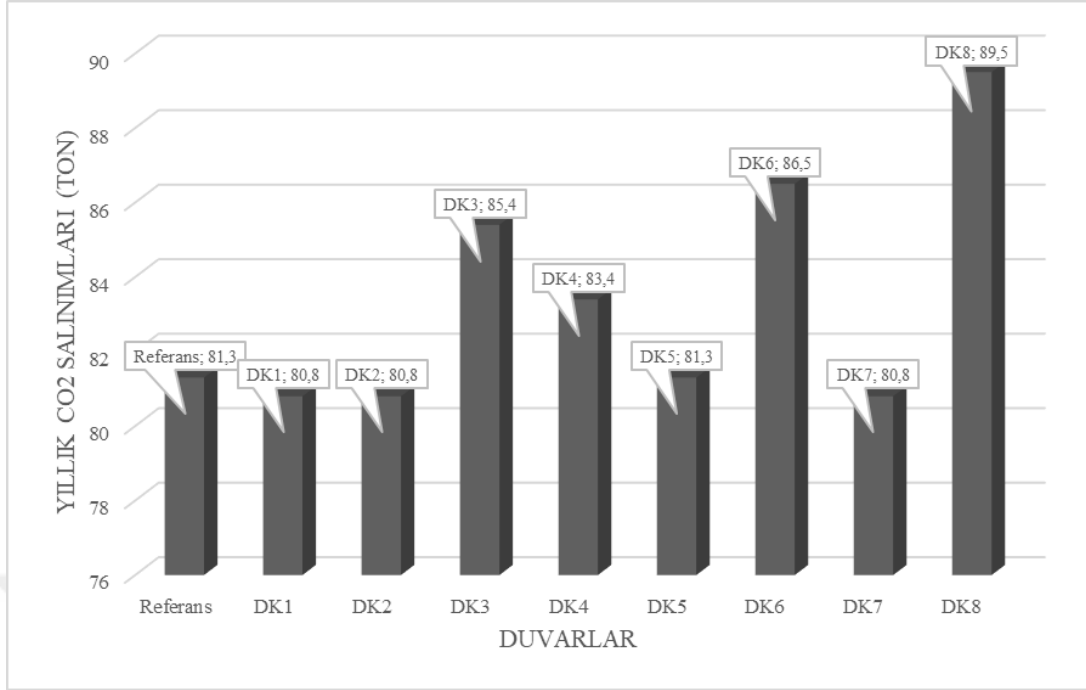
Şekil Ek.22. Doğu cephesinde pencere/duvar oranlarına göre yaşam döngüsü maliyetleri.



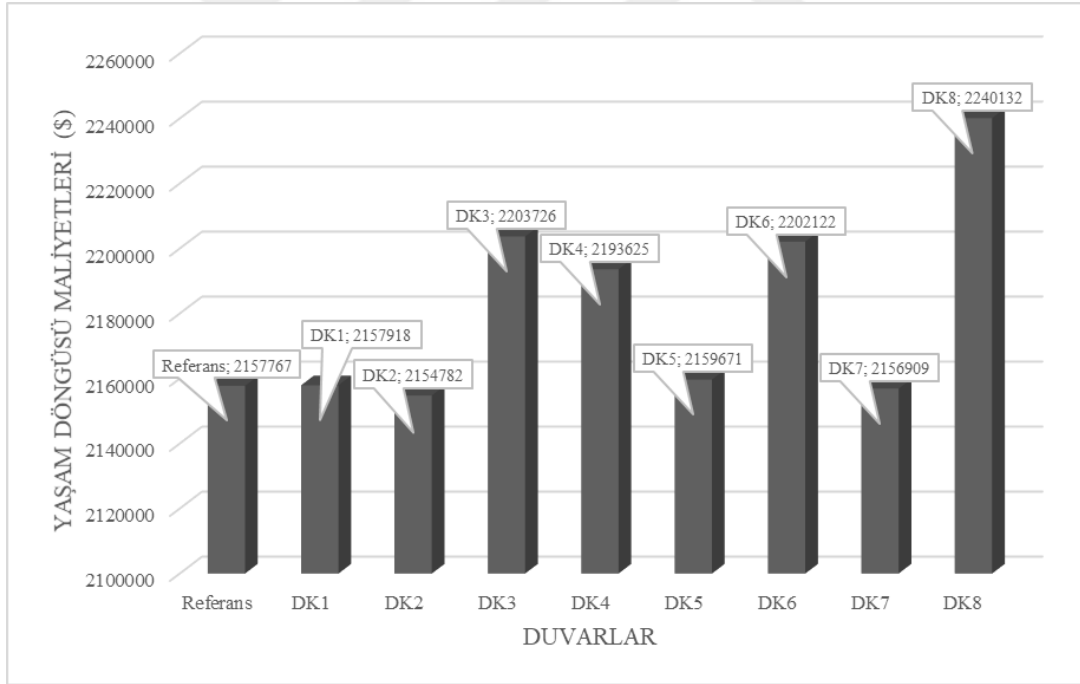
Şekil Ek.23. Duvarlara göre yıllık enerji tüketimleri.



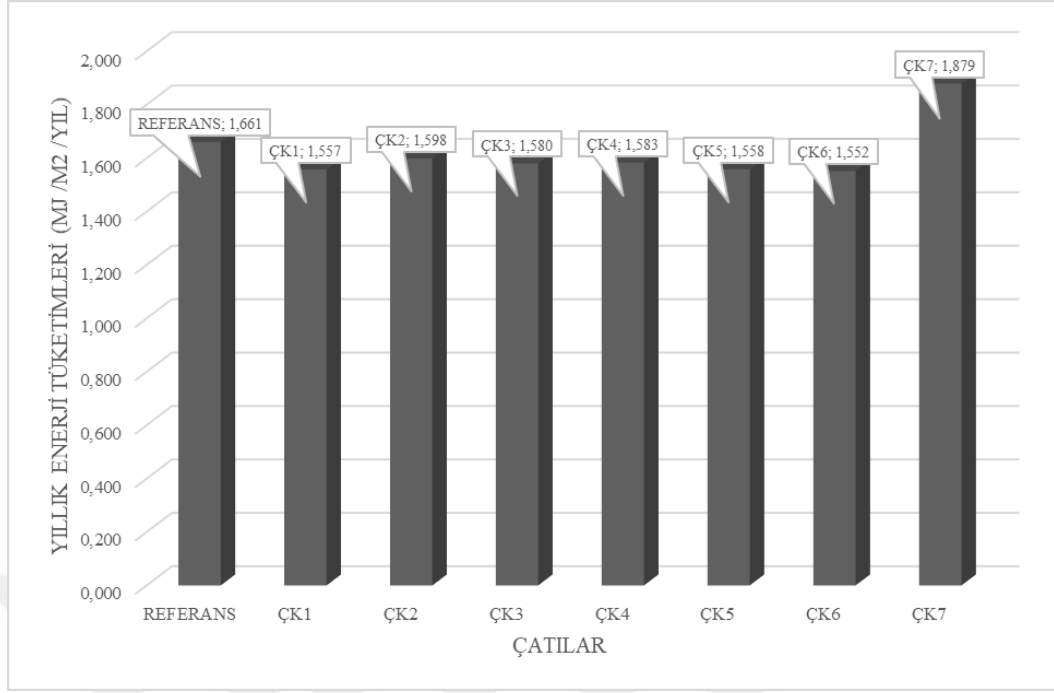
Şekil Ek.24. Duvarlara göre yıllık maliyetleri.



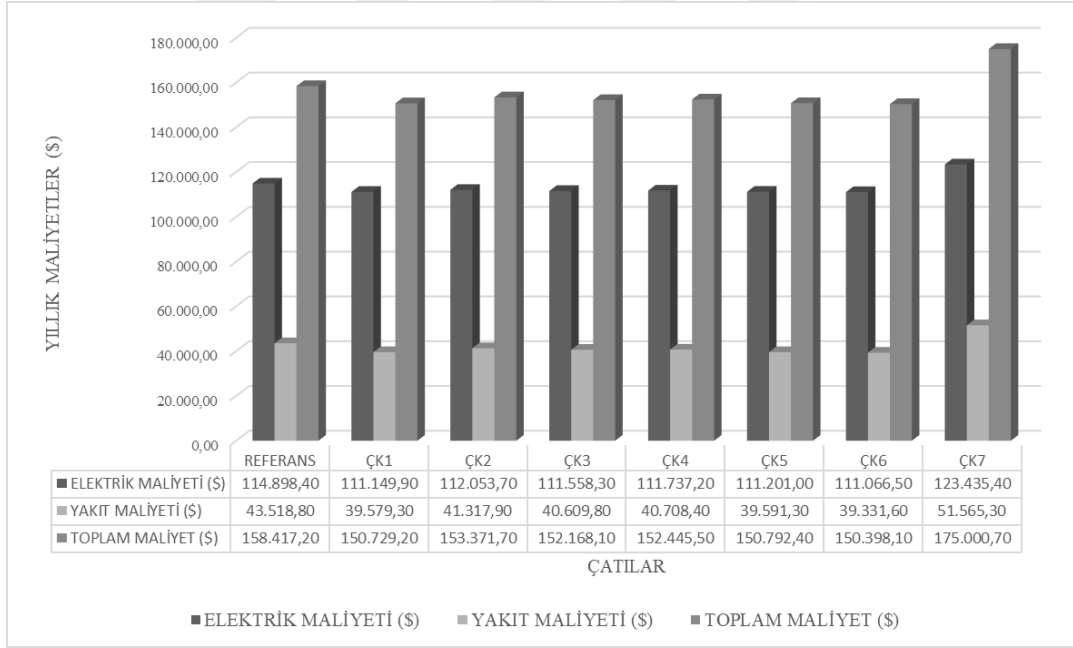
Şekil Ek.25. Duvarlara göre yıllık CO₂ salınımları.



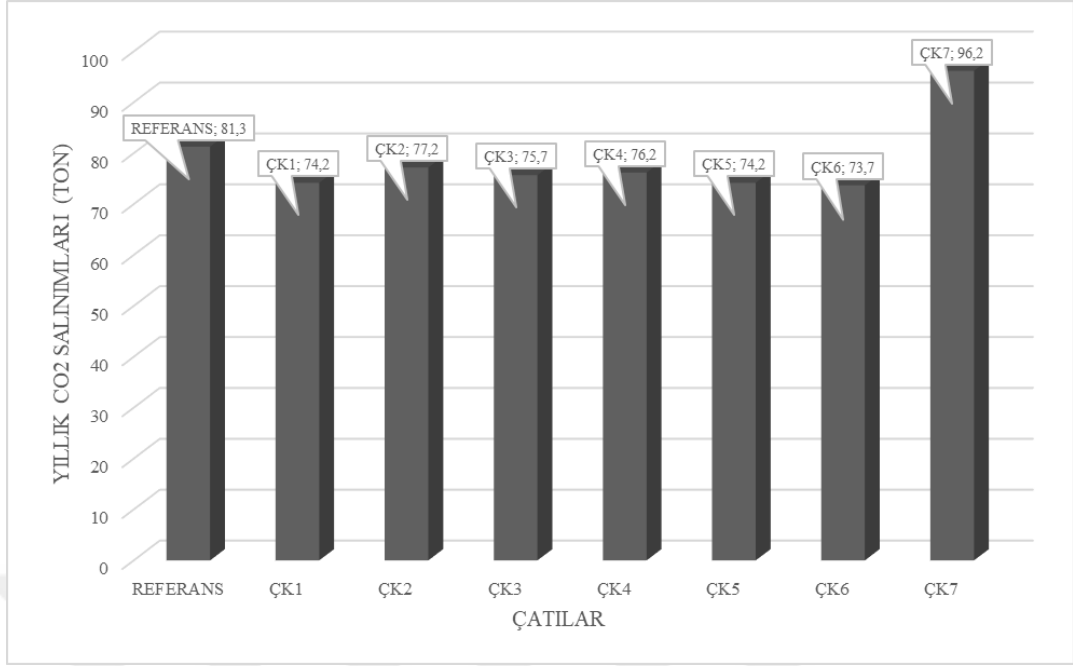
Şekil Ek.26. Duvarlara göre yaşam döngüsü maliyetleri.



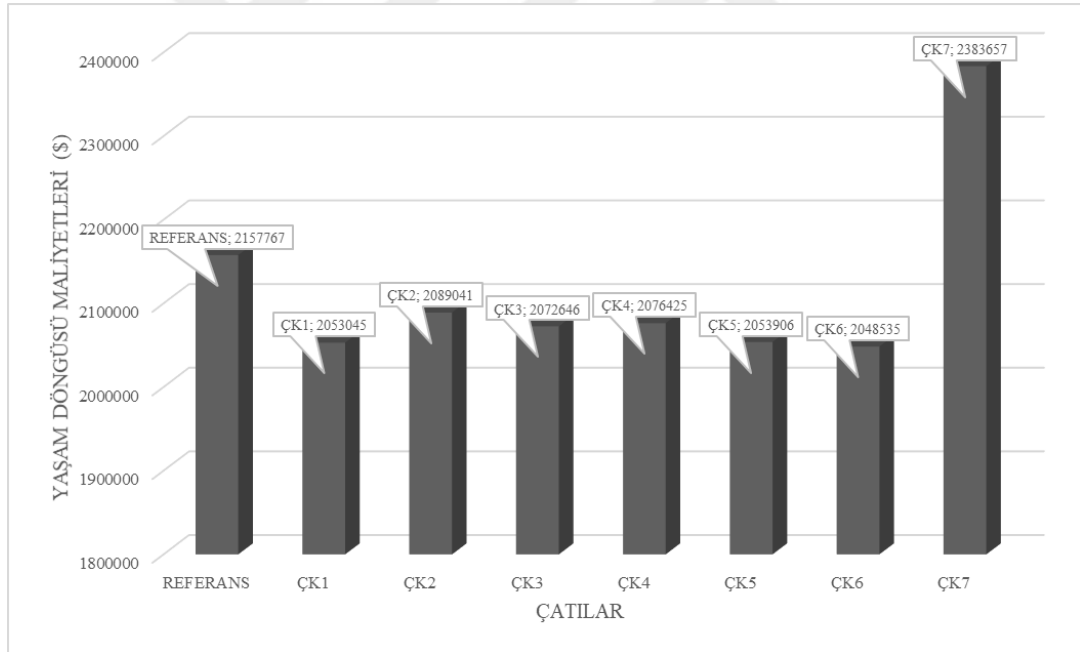
Şekil Ek.27. Çatılara göre yıllık enerji tüketimleri.



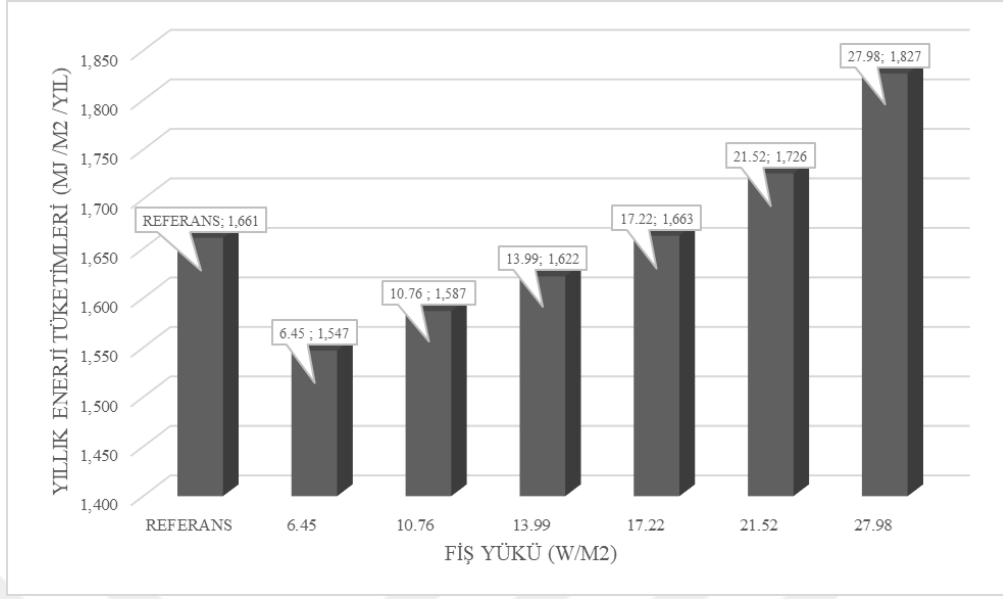
Şekil Ek.28. Çatılara göre yıllık maliyetleri.



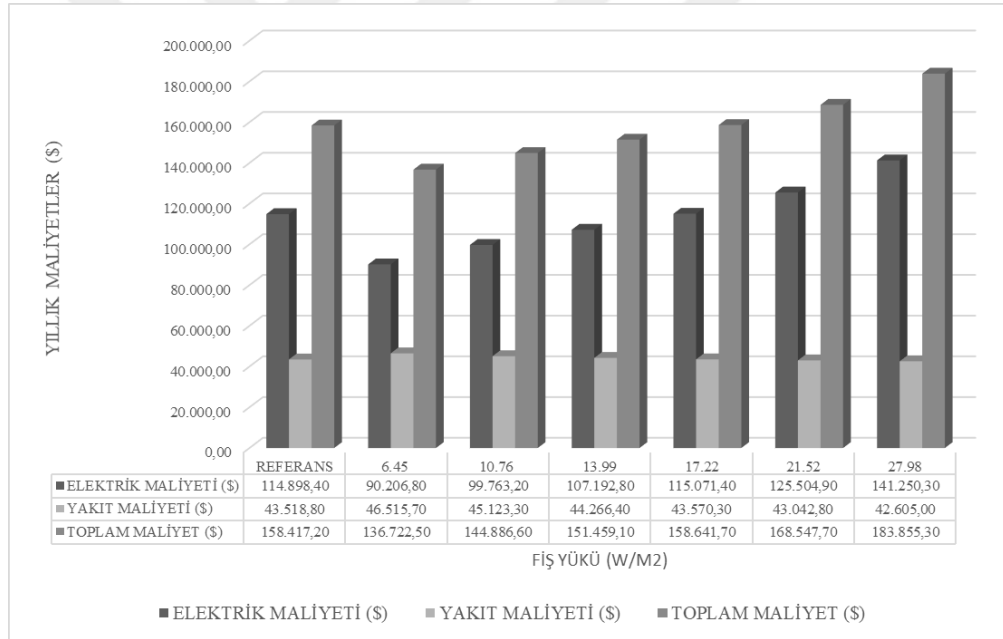
Şekil Ek.29. Çatılara göre yıllık CO₂ salınımları.



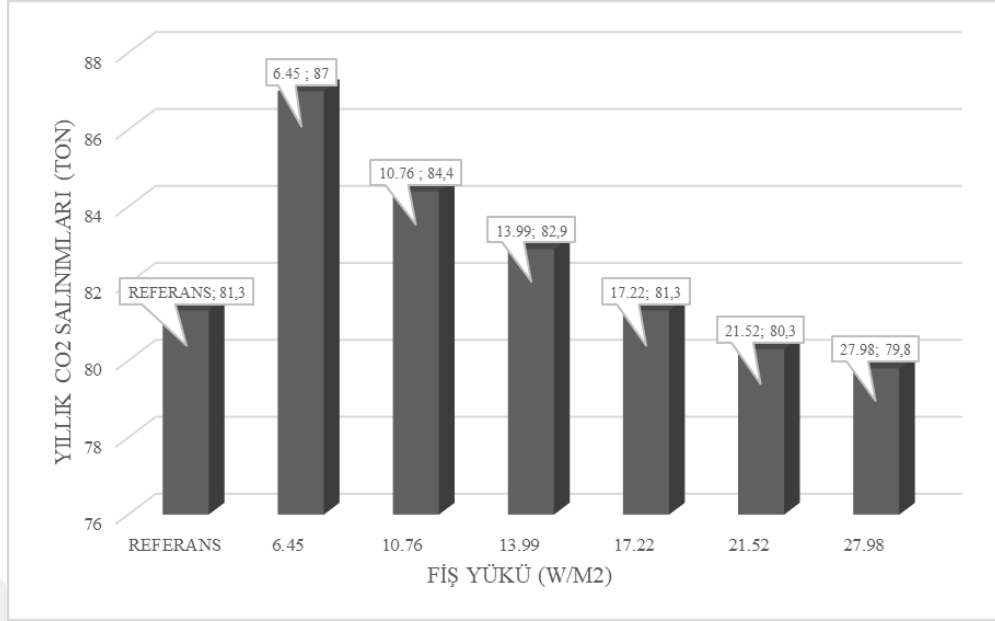
Şekil Ek.30. Çatılara göre yaşam döngüsü maliyetleri.



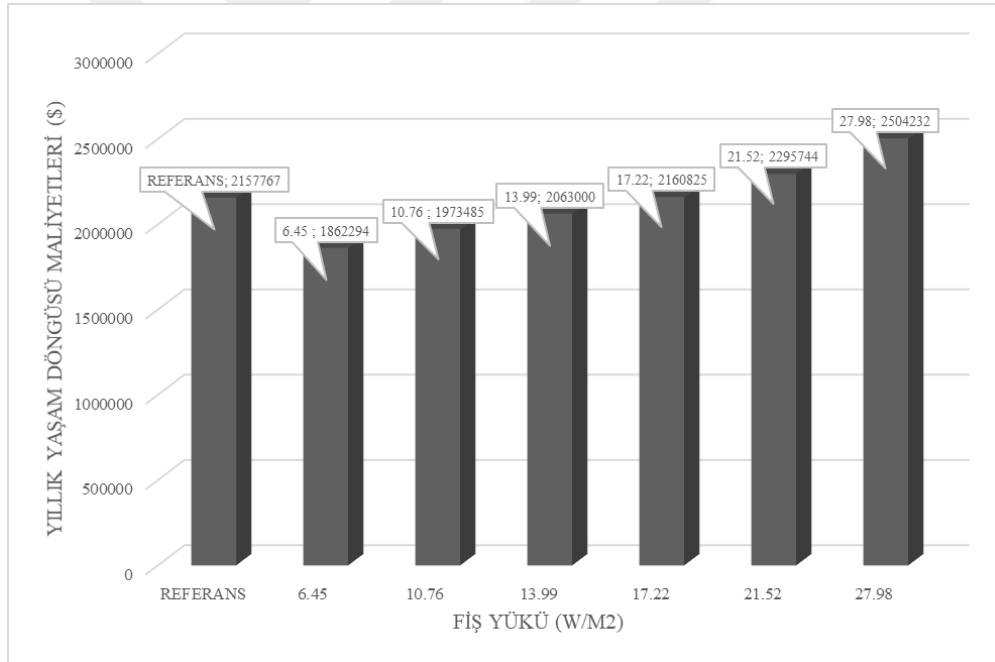
Şekil Ek.31. Fiş yüküne göre yıllık enerji tüketimleri.



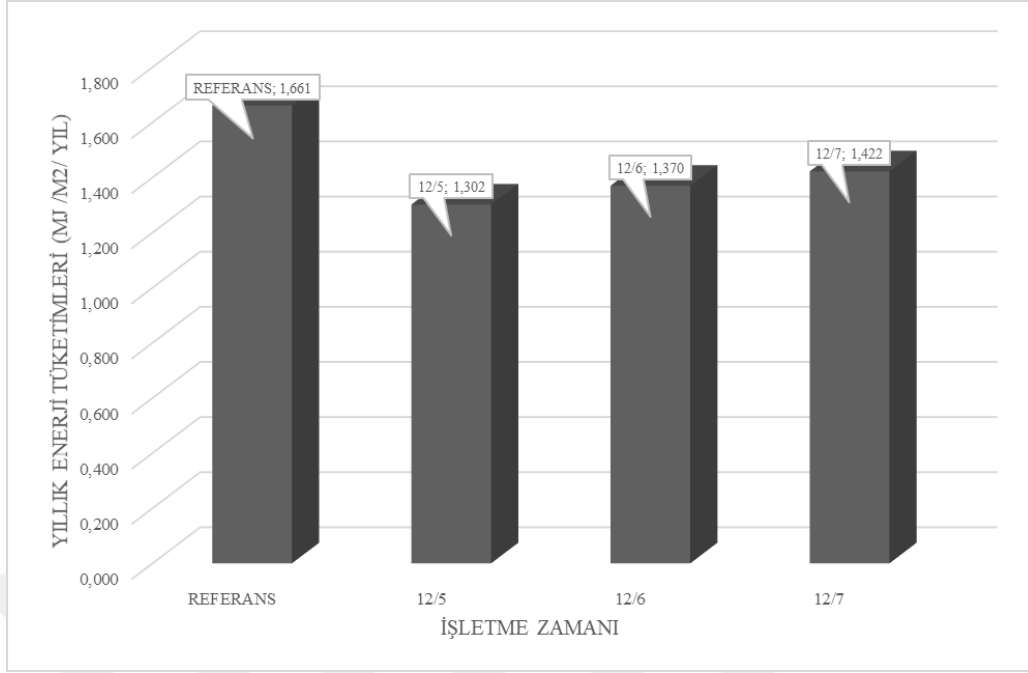
Şekil Ek.32. Fiş yüküne göre yıllık maliyetleri.



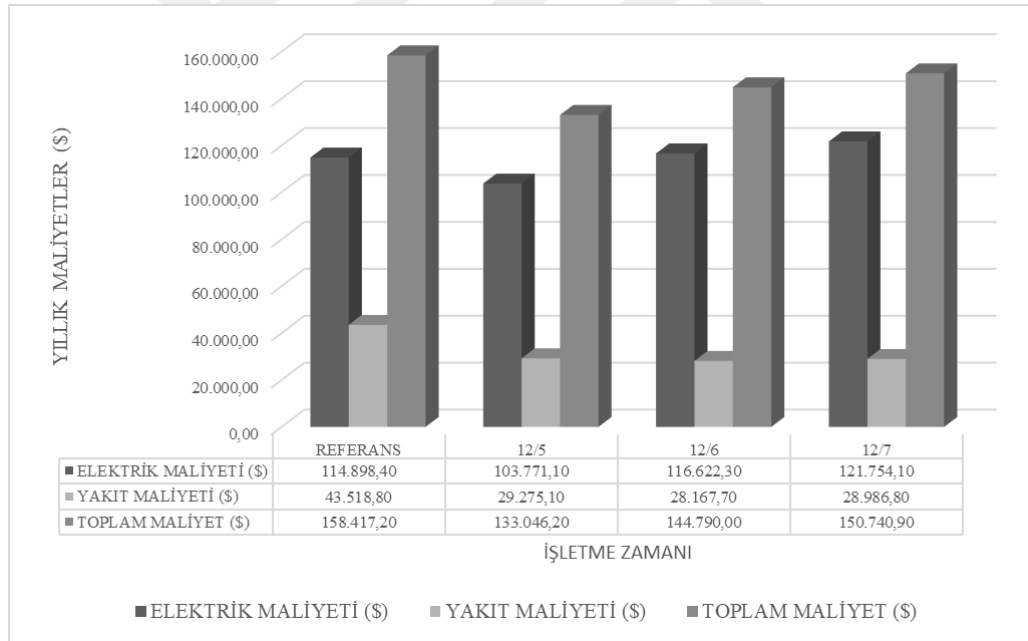
Şekil Ek.33. Fış yüküne göre yıllık CO₂ salınımları.



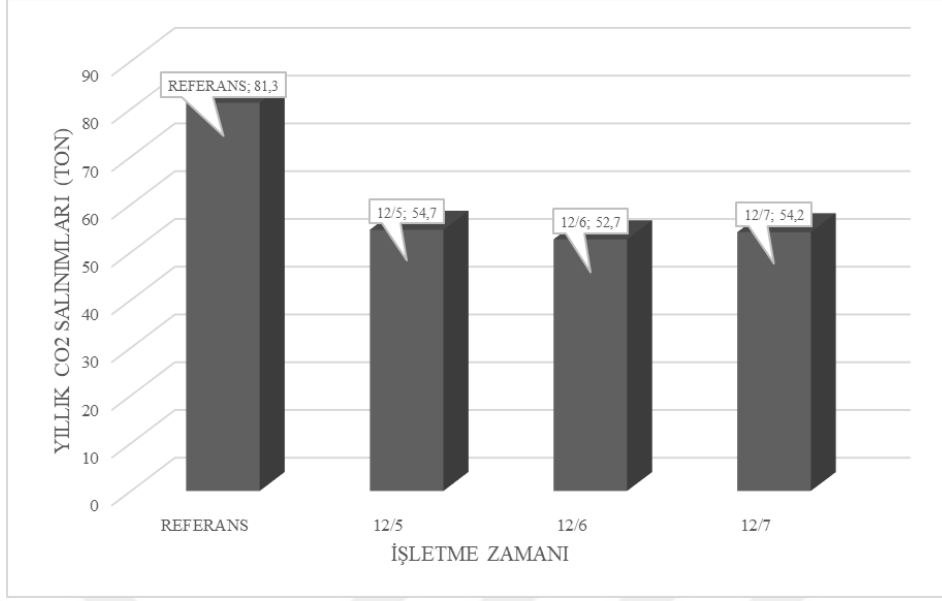
Şekil Ek.34. Fış yüküne göre yaşam döngüsü maliyetleri.



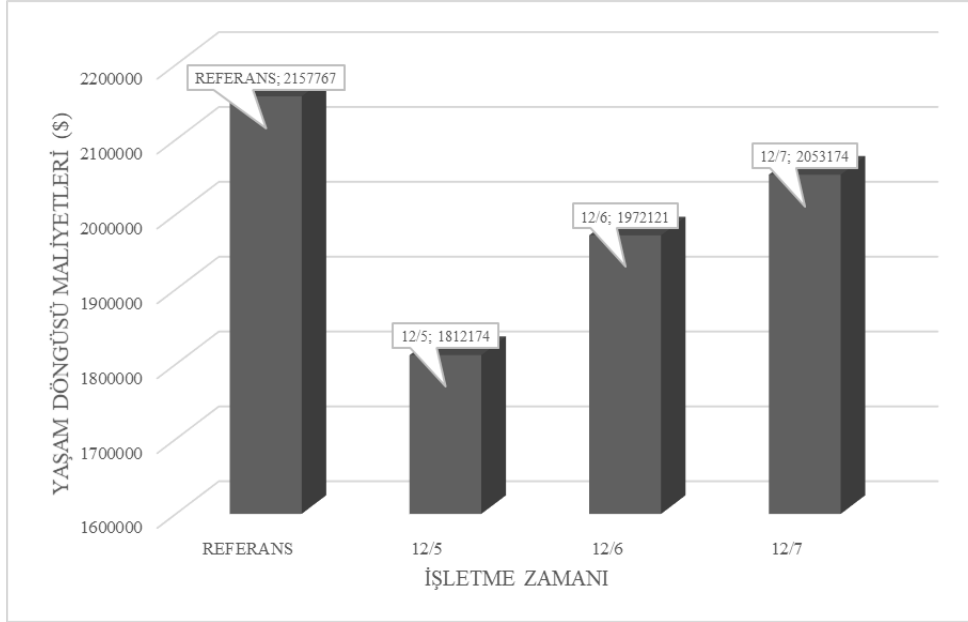
Şekil Ek.35. İşletme zamanlarına göre yıllık enerji tüketimleri.



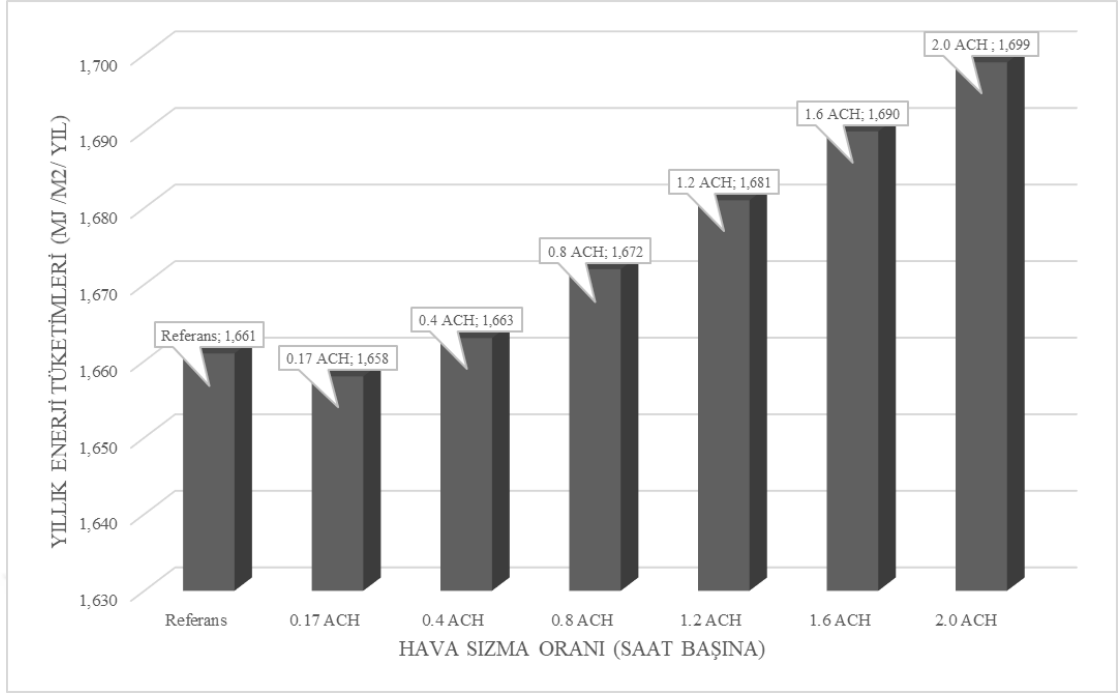
Şekil Ek.36. İşletme zamanlarına göre yıllık maliyetleri.



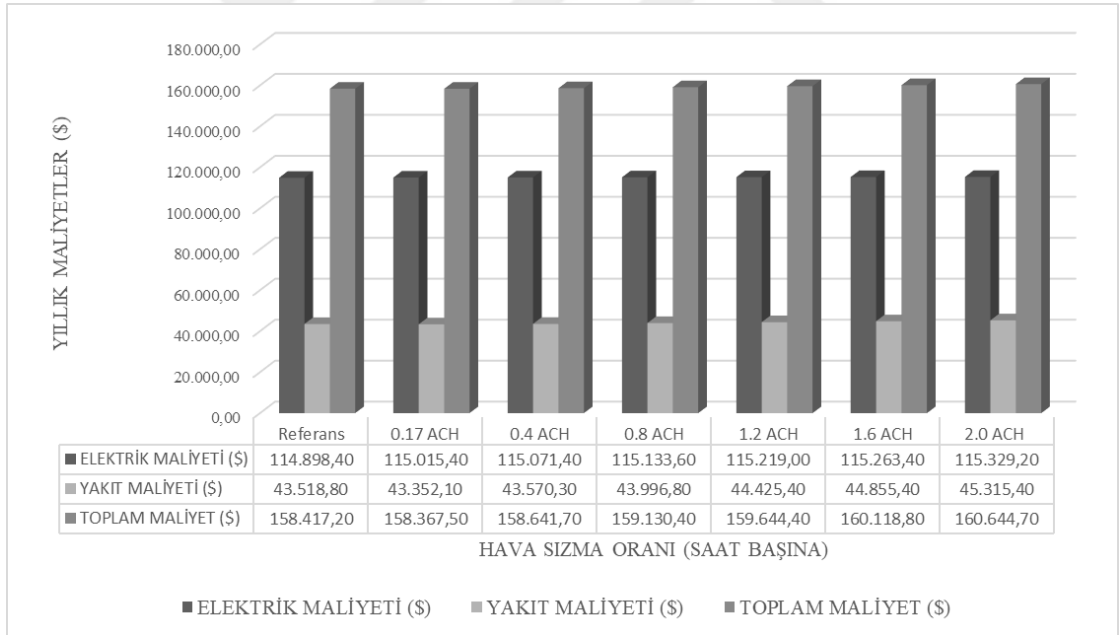
Şekil Ek.37. İşletme zamanlarına göre yıllık CO₂ salınımları.



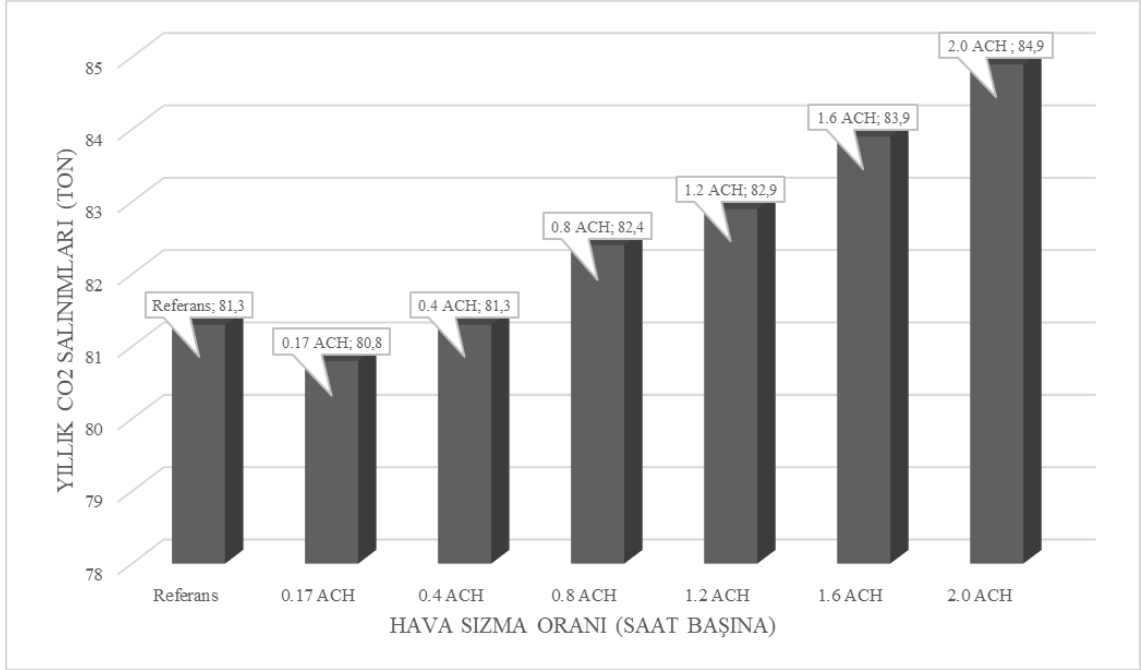
Şekil Ek.38. İşletme zamanlarına göre yaşam döngüsü maliyetleri.



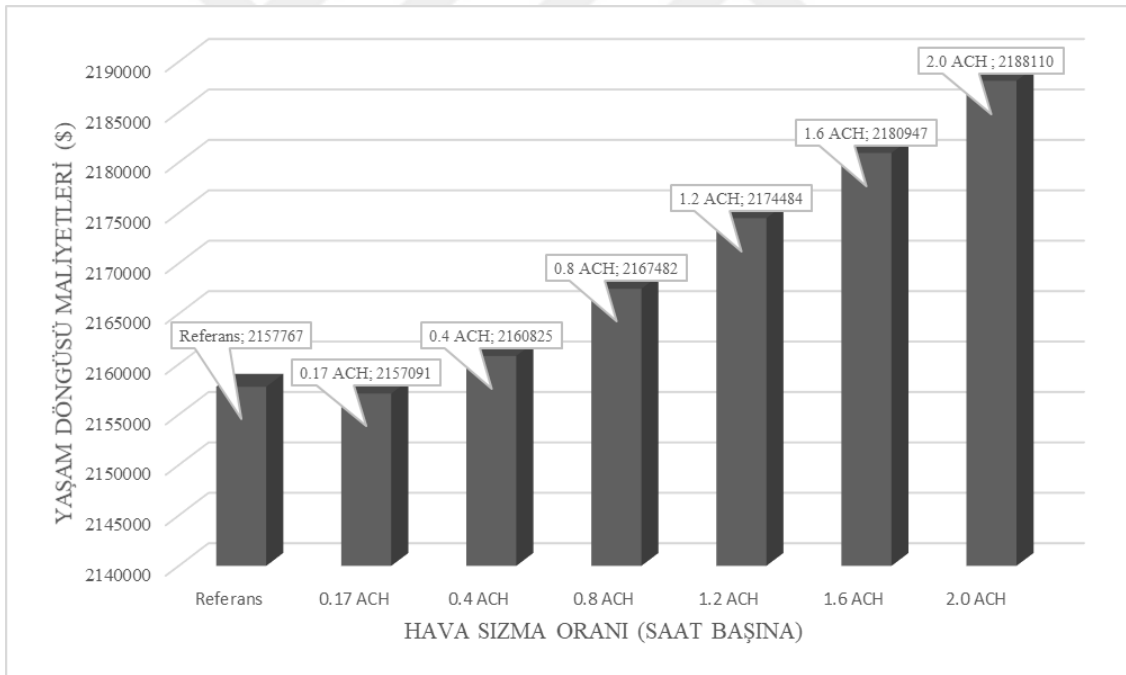
Şekil Ek.39. Hava sızma oranlarına göre yıllık enerji tüketimleri.



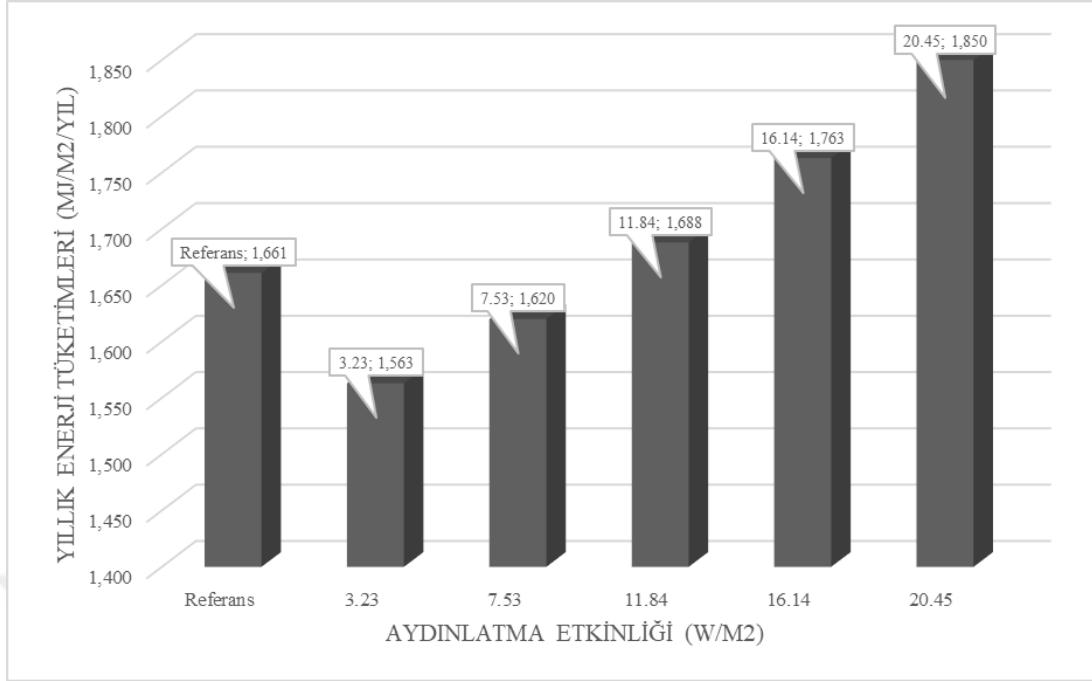
Şekil Ek.40. Hava sızma oranlarına göre yıllık maliyetleri.



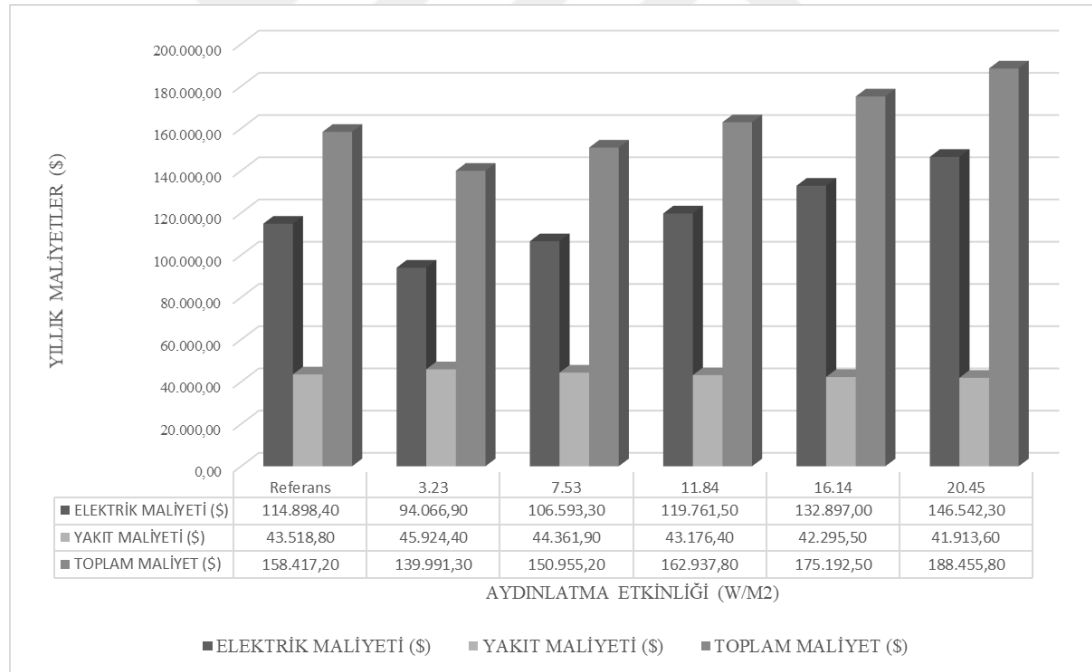
Şekil Ek.41. Hava sızma oranlarına göre yıllık CO₂ salınımları.



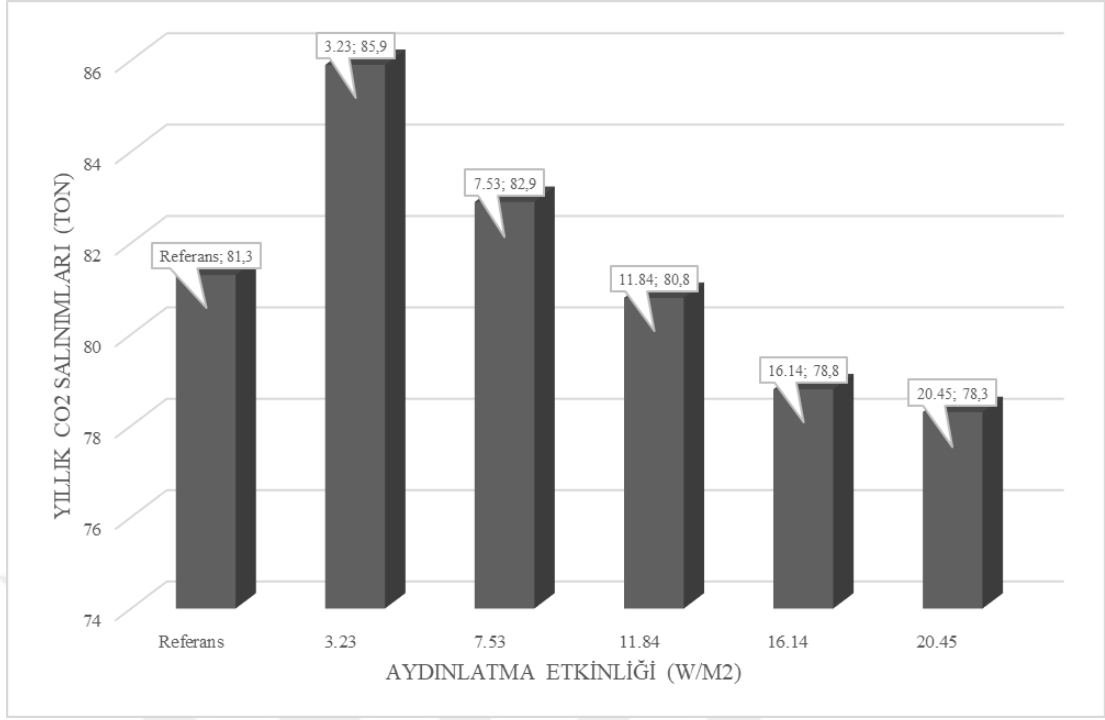
Şekil Ek.42. Hava sızma oranlarına göre yaşam döngüsü maliyetleri.



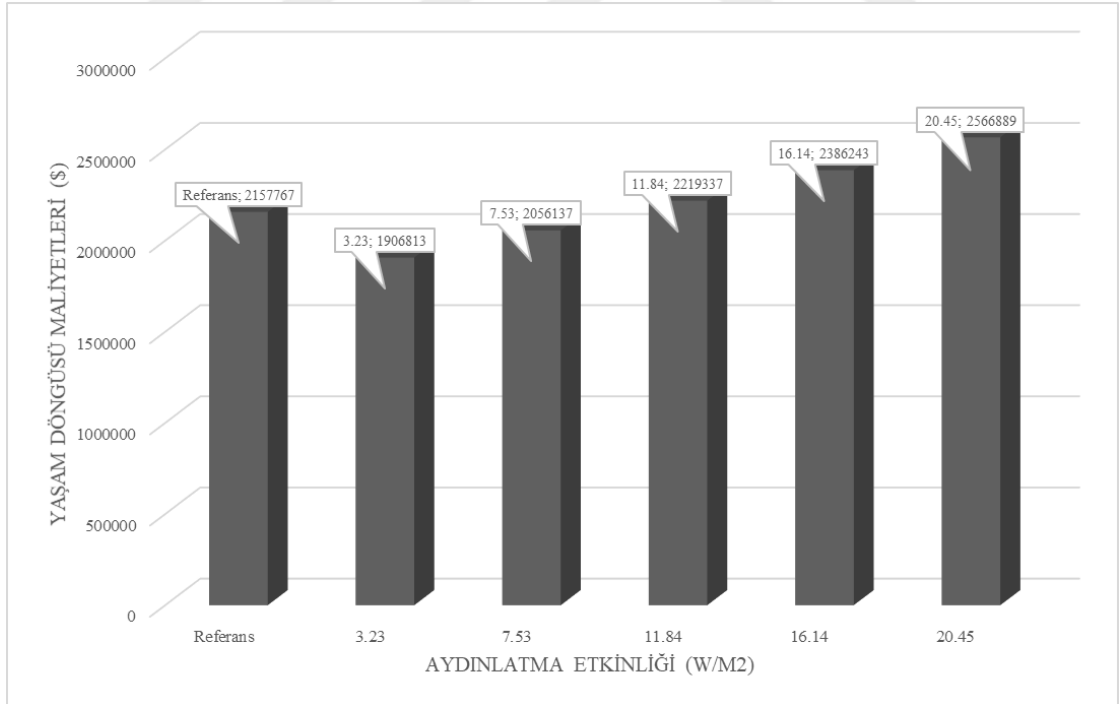
Şekil Ek.43. Aydınlatma etkinliklerine göre yıllık enerji tüketimleri.



Şekil Ek.44. Aydınlatma etkinliklerine göre yıllık maliyetleri.

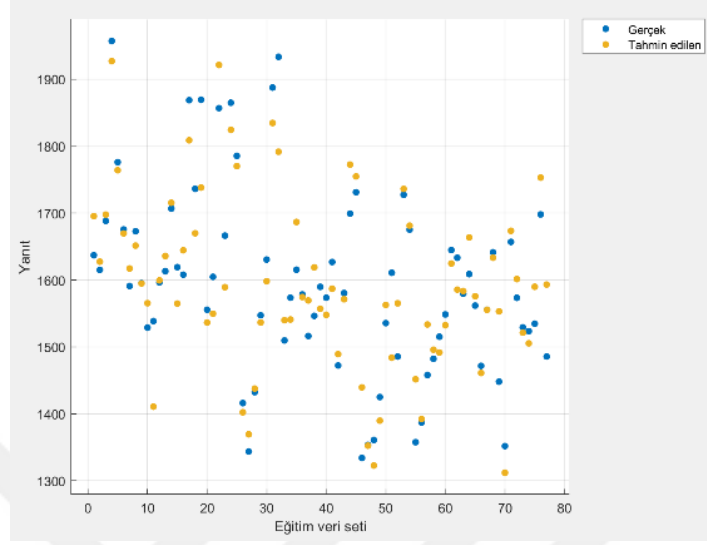


Şekil Ek.45. Aydınlatma etkinliklerine göre yıllık CO₂ salınımları.

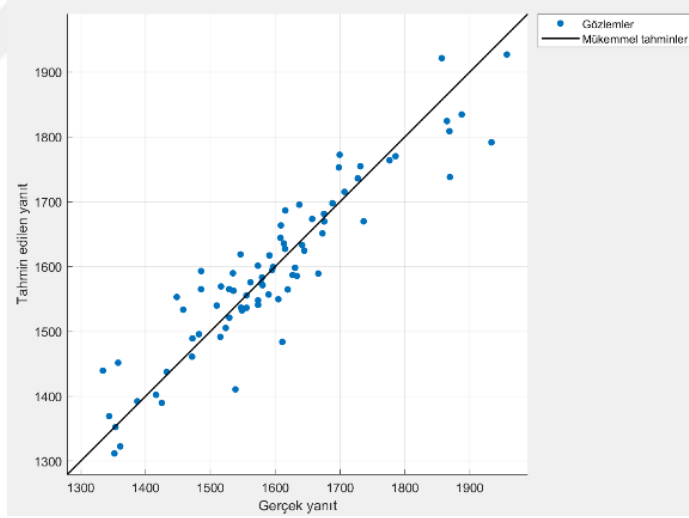


Şekil Ek.46. Aydınlatma etkinliklerine göre yaşam döngüsü maliyetleri.

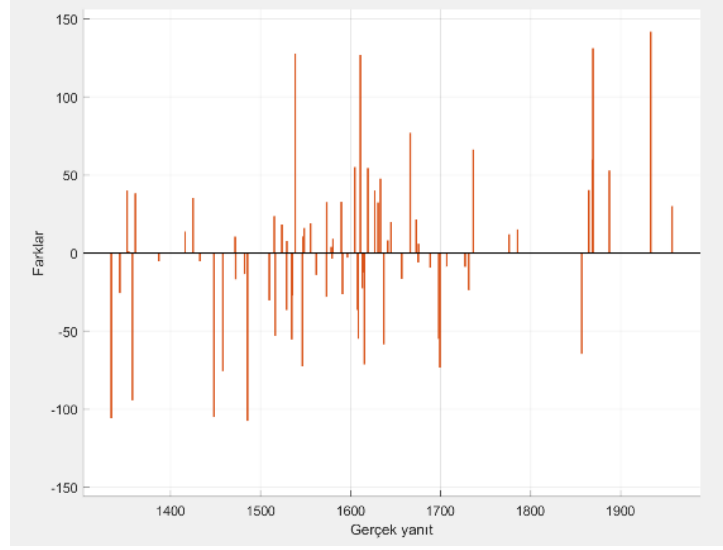
EK 5. Regresyon modellerin çıktıları.



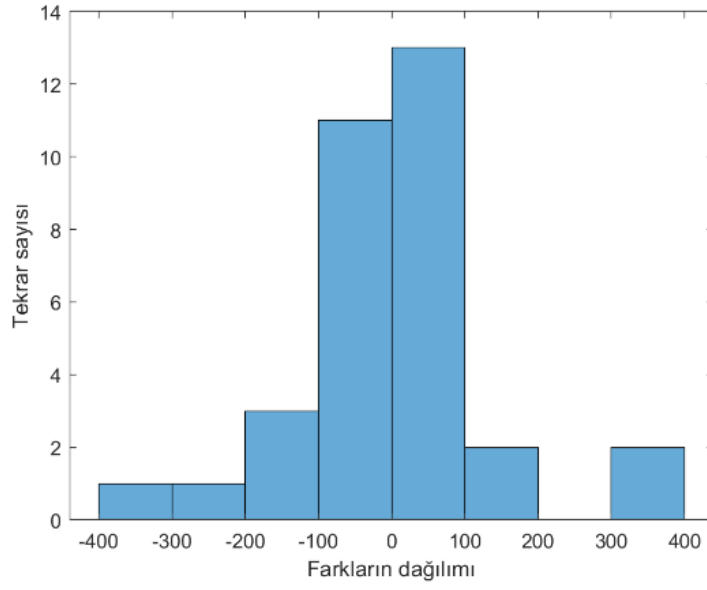
Şekil Ek.47. Enerji modeli eğitim veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



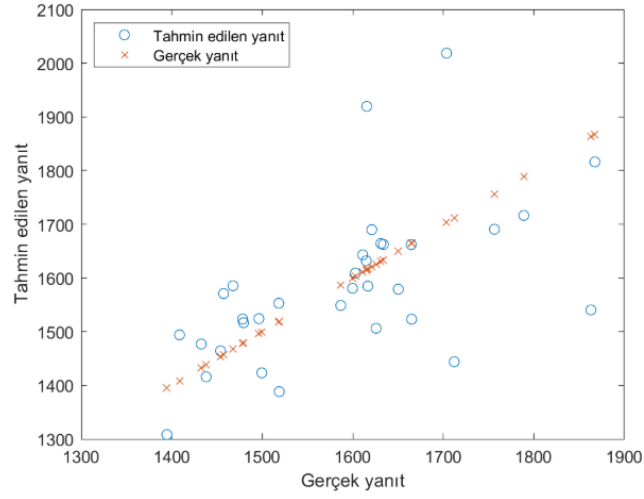
Şekil Ek.48. Enerji modeli eğitim veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



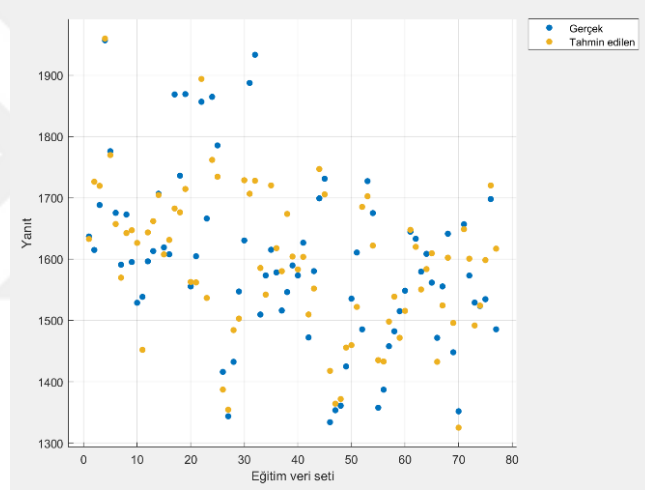
Şekil Ek.49. Enerji modeli eğitim veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



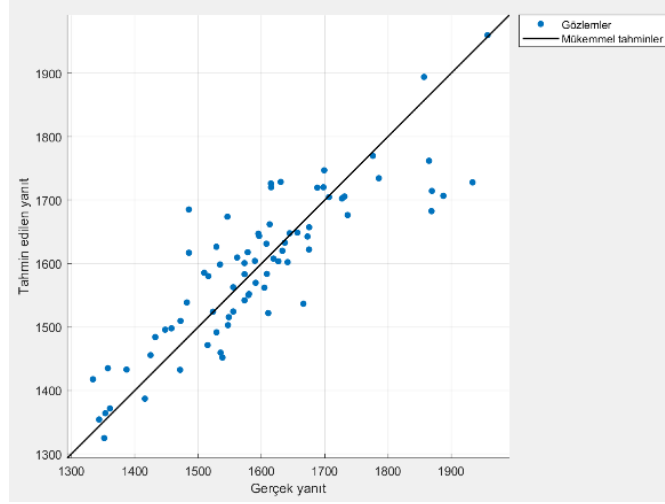
Şekil Ek.50. Enerji modeli test veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



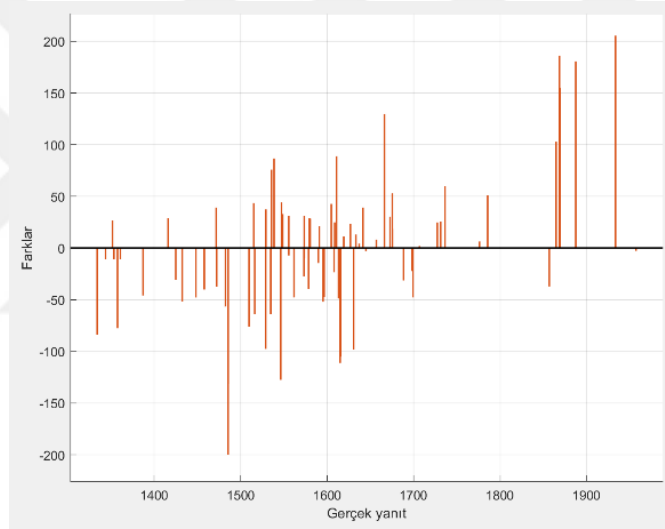
Şekil Ek.51. Enerji modeli test veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



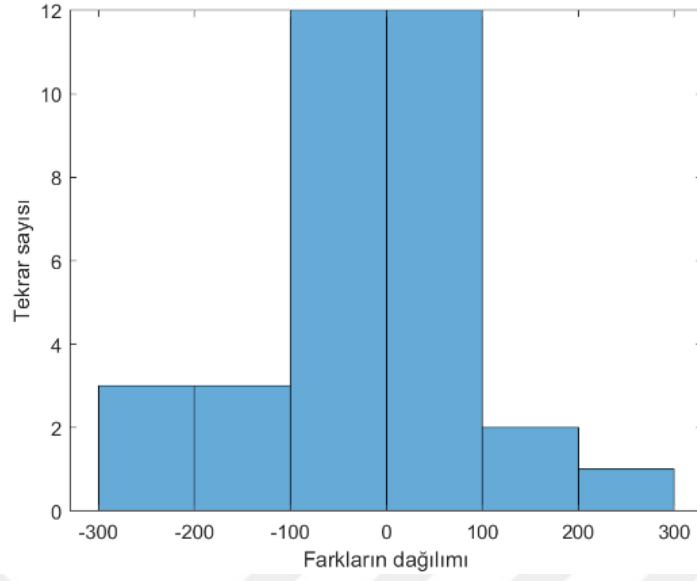
Şekil Ek.52. Enerji modeli eğitim veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



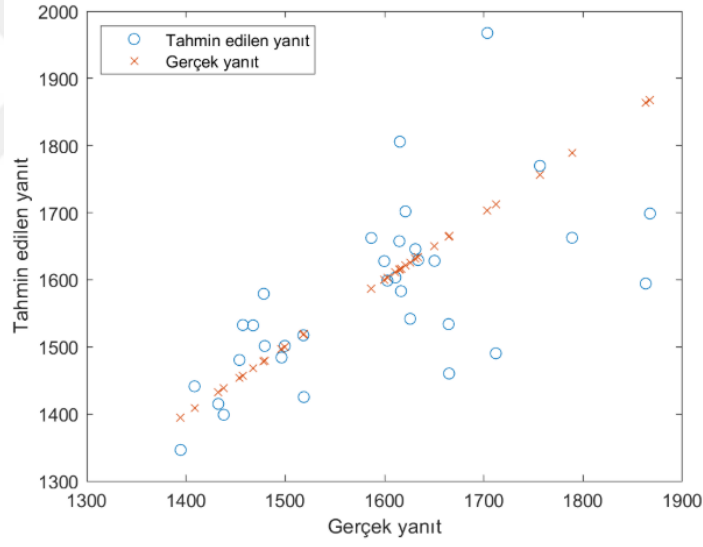
Şekil Ek.53. Enerji modeli eğitim veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



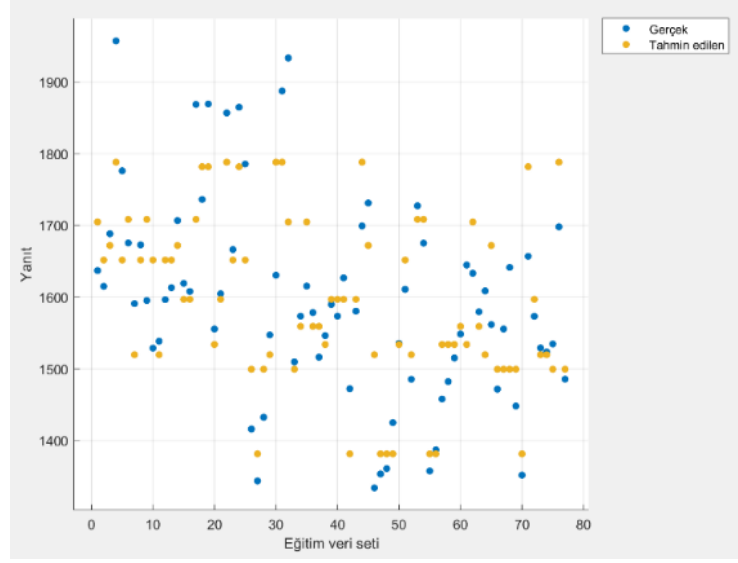
Şekil Ek.54. Enerji modeli eğitim veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



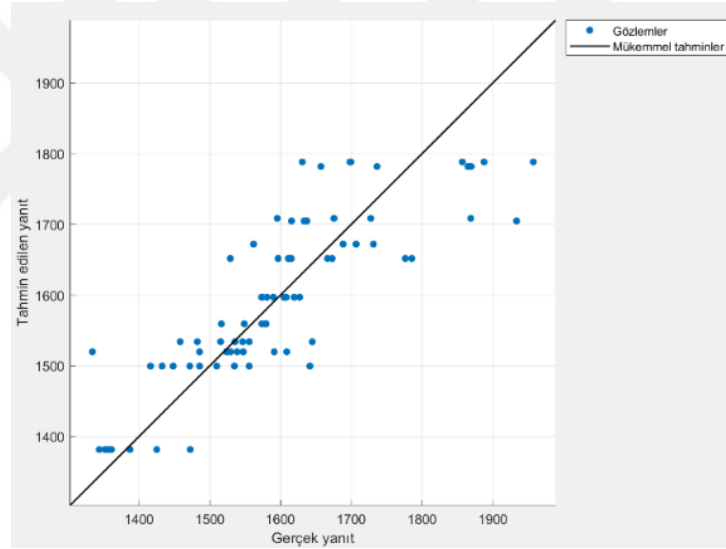
Şekil Ek.55. Enerji modeli test veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



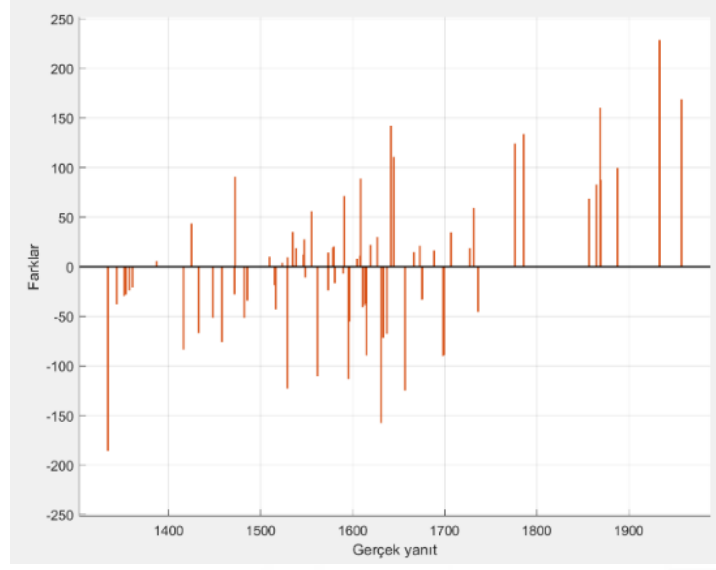
Şekil Ek.56. Enerji modeli test veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



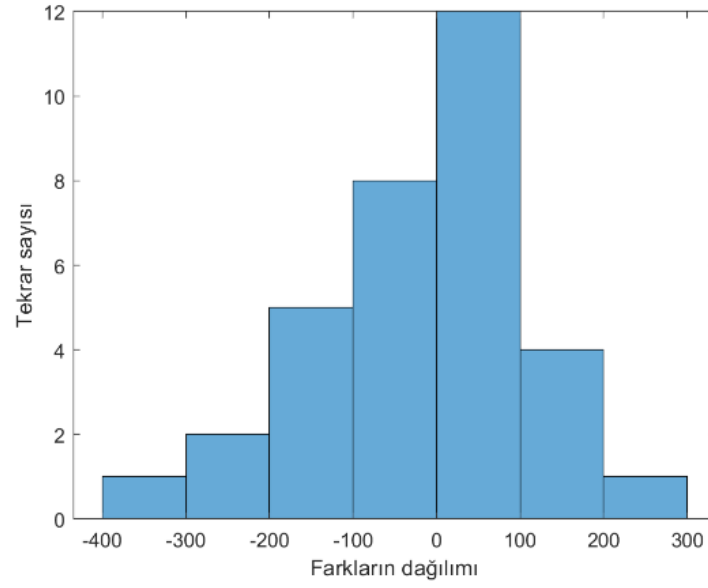
Şekil Ek.57. Enerji modeli eğitim veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



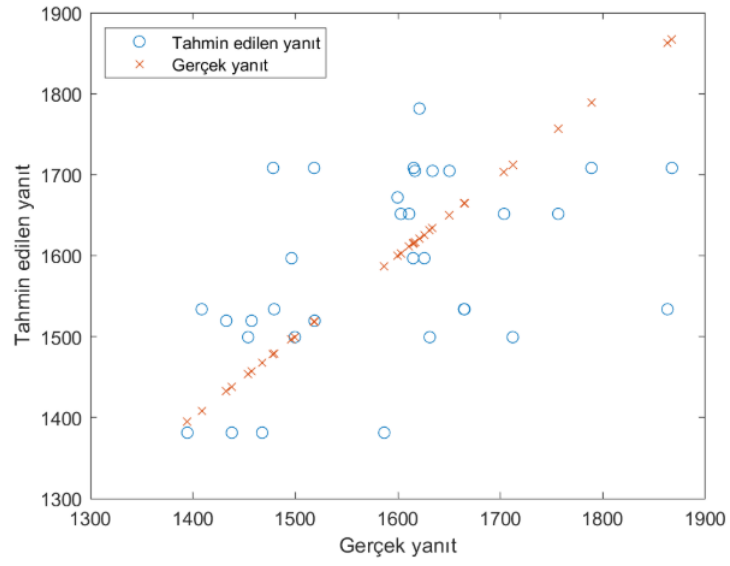
Şekil Ek.58. Enerji modeli eğitim veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



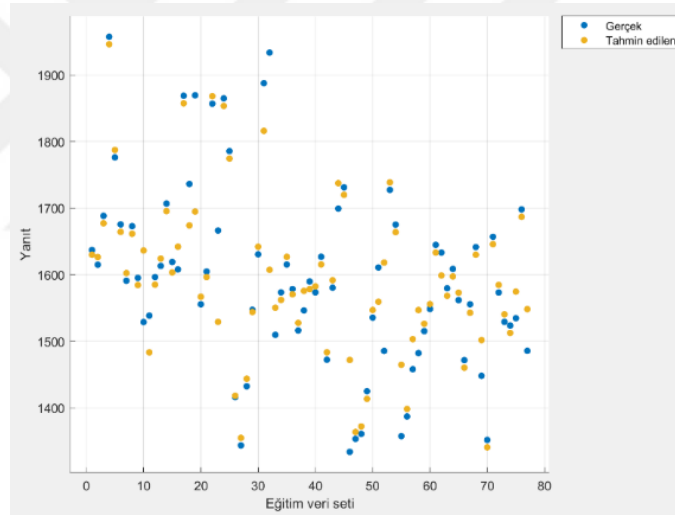
Şekil Ek.59. Enerji modeli eğitim veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



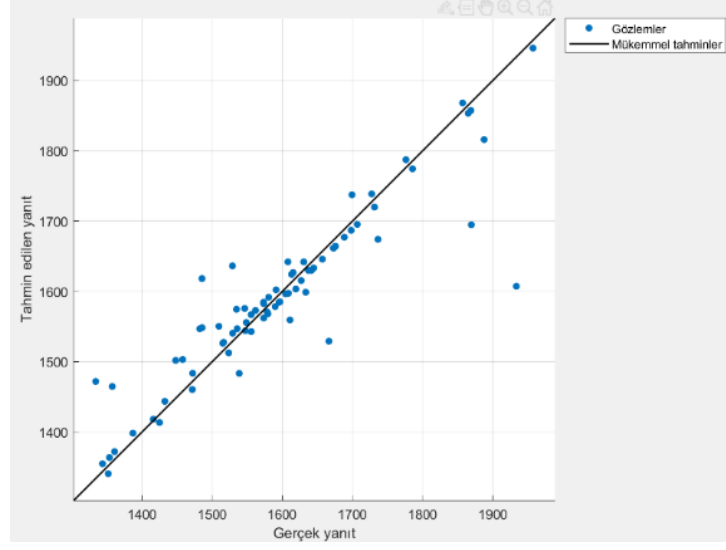
Şekil Ek.60. Enerji modeli test veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



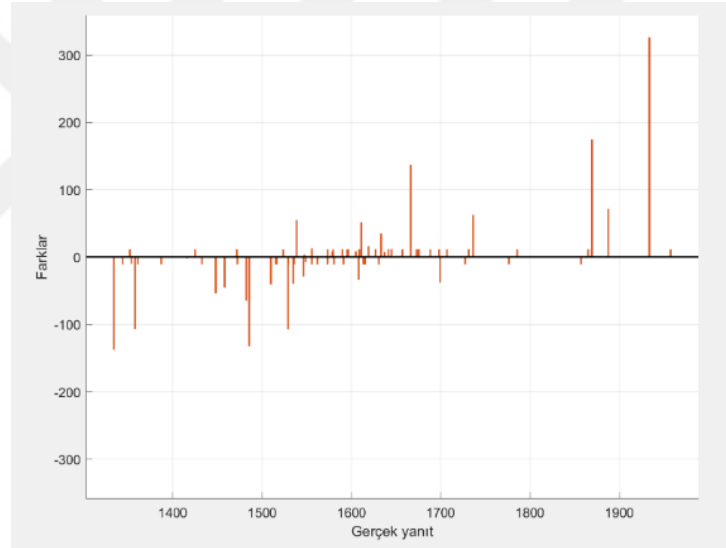
Şekil Ek.61. Enerji modeli test veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



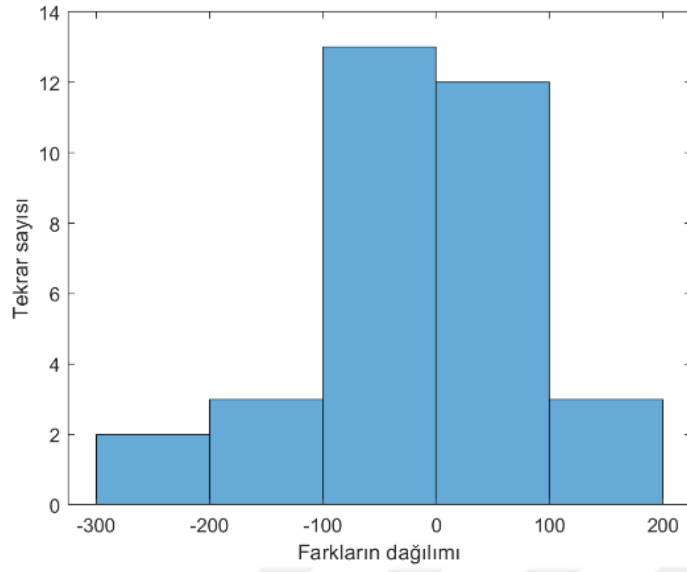
Şekil Ek.62. Enerji modeli eğitim veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



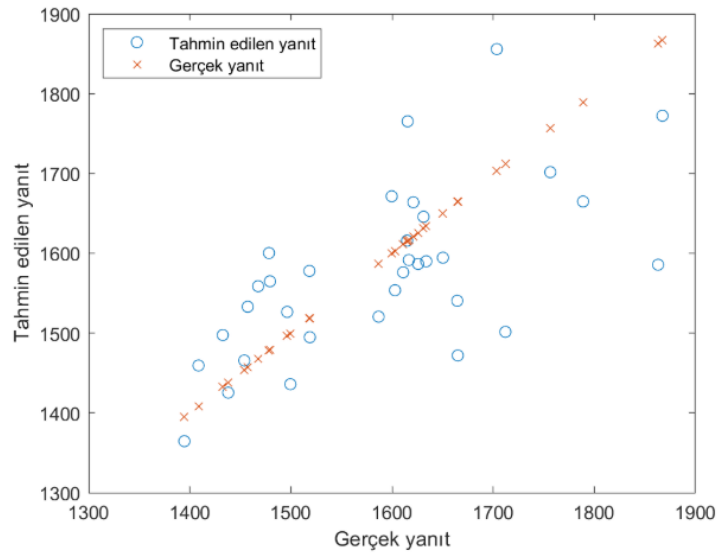
Şekil Ek.63. Enerji modeli eğitim veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



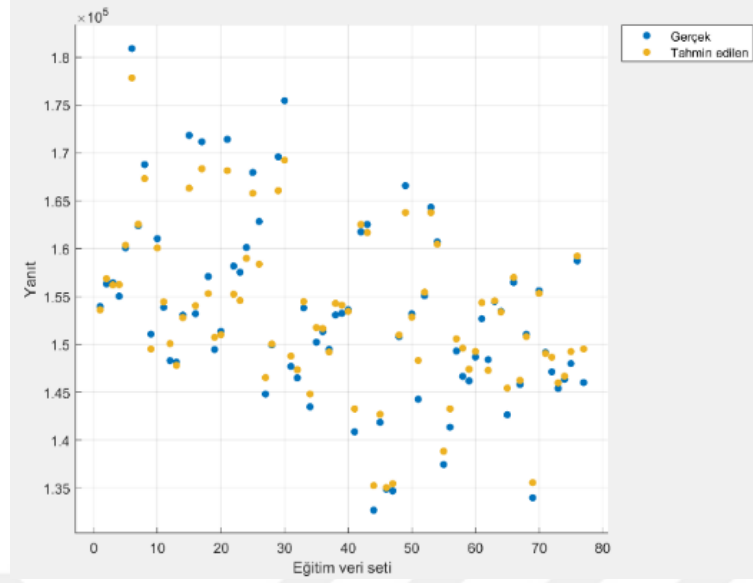
Şekil Ek.64. Enerji modeli eğitim veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



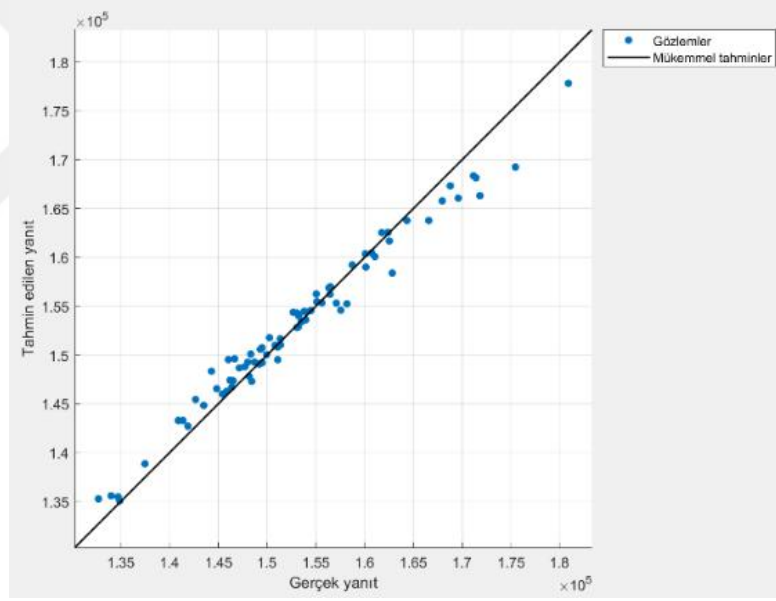
Şekil Ek.65. Enerji modeli test veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



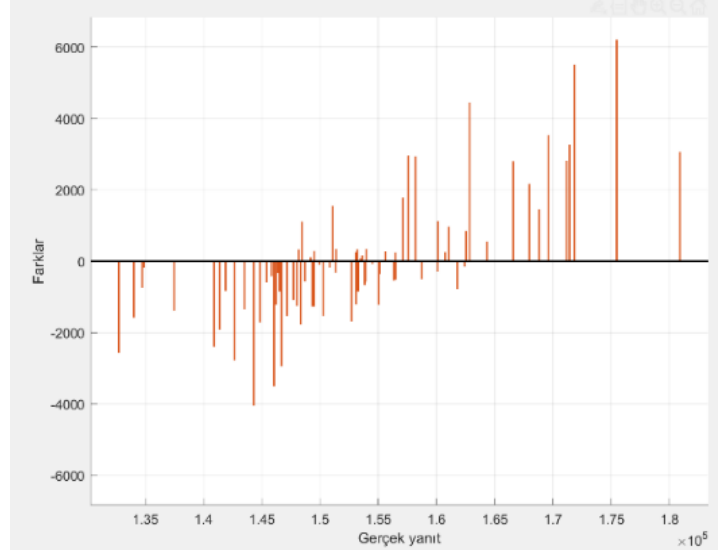
Şekil Ek.66. Enerji modeli test veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



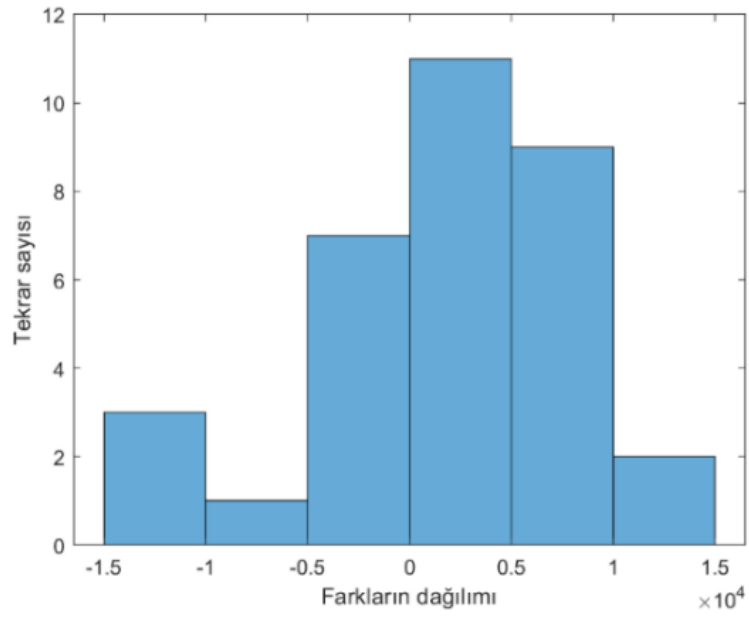
Şekil Ek.67. Maliyet modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



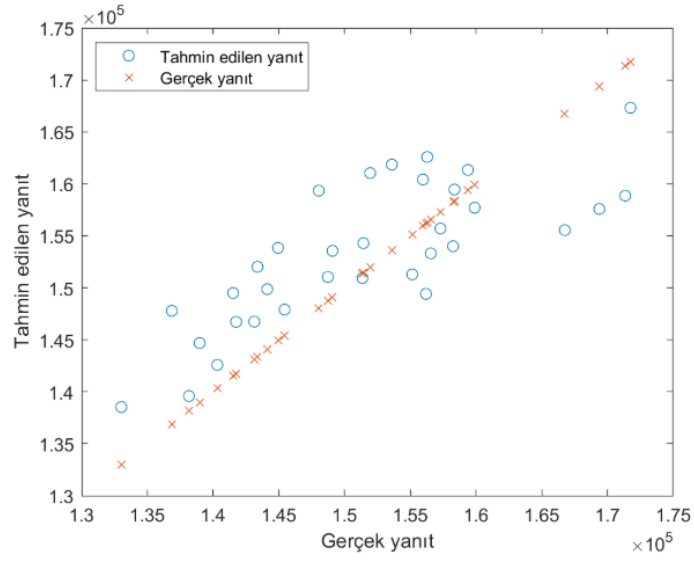
Şekil Ek.68. Maliyet modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



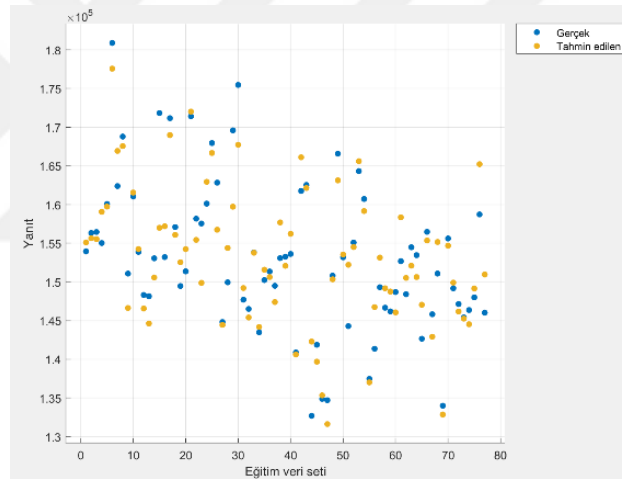
Şekil Ek.69. Maliyet modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



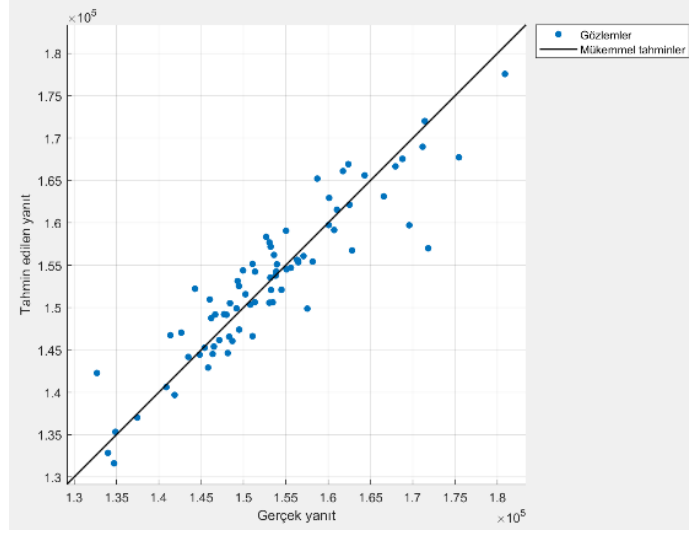
Şekil Ek.70. Maliyet modeli test veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



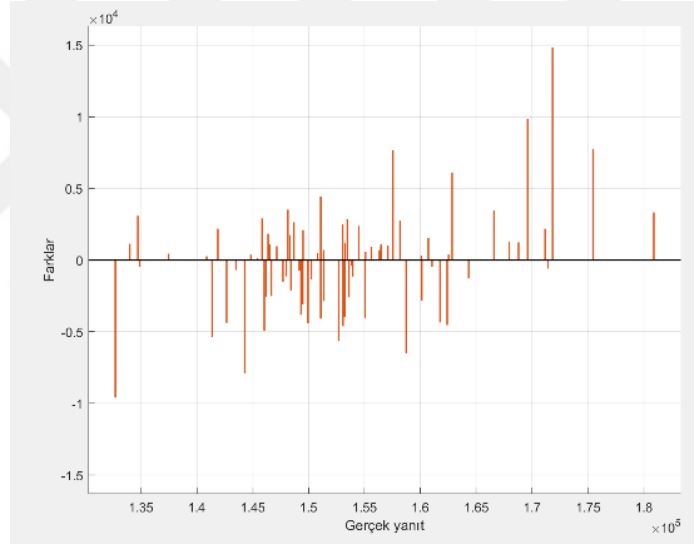
Şekil Ek.71. Maliyet modeli test veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



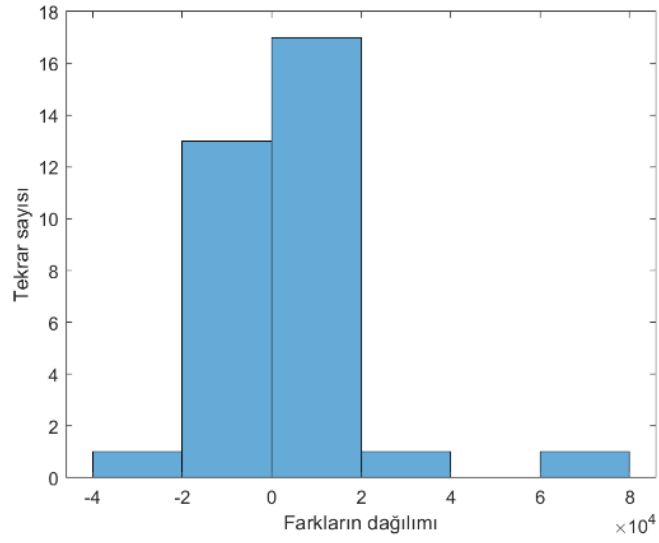
Şekil Ek.72. Maliyet modeli eğitim veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



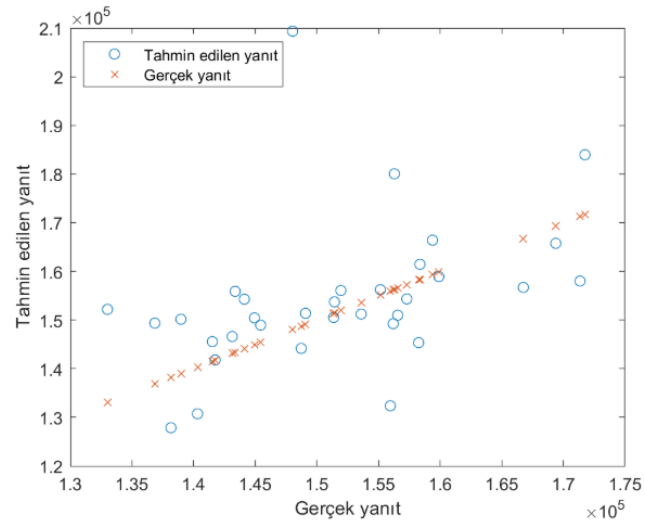
Şekil Ek.73. Maliyet modeli eğitim veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



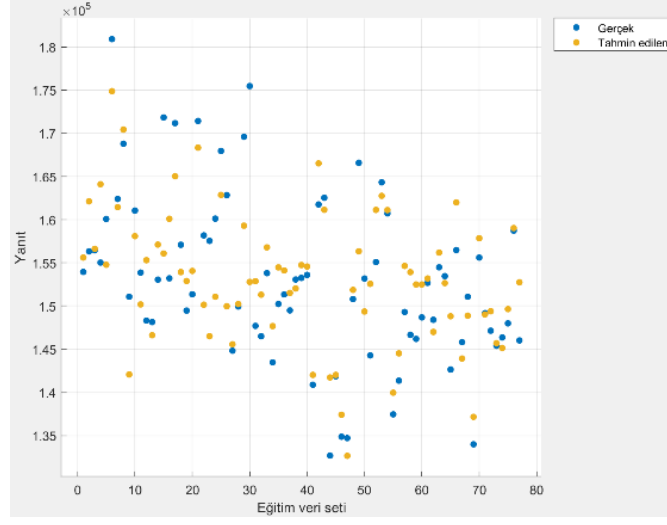
Şekil Ek.74. Maliyet modeli eğitim veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



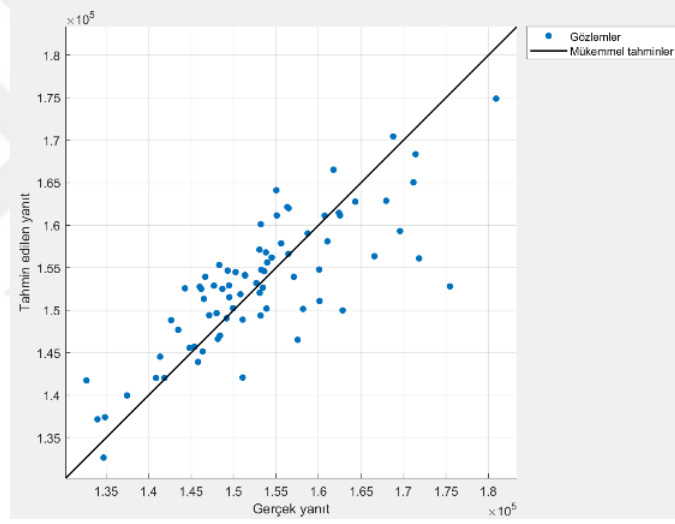
Şekil Ek.75. Maliyet modeli test veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



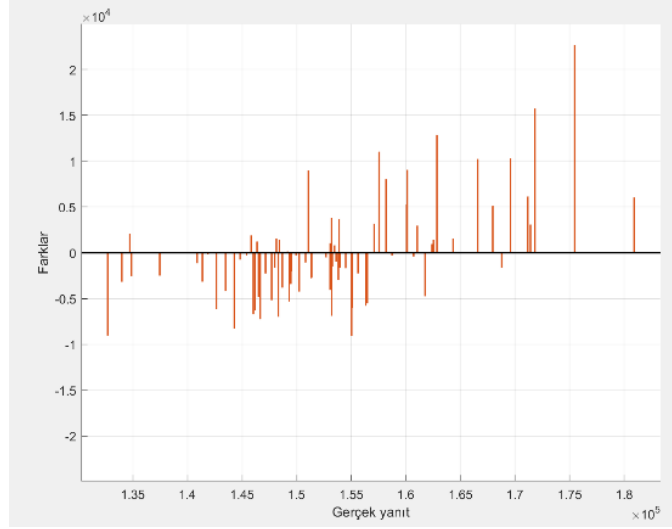
Şekil Ek.76. Maliyet modeli test veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



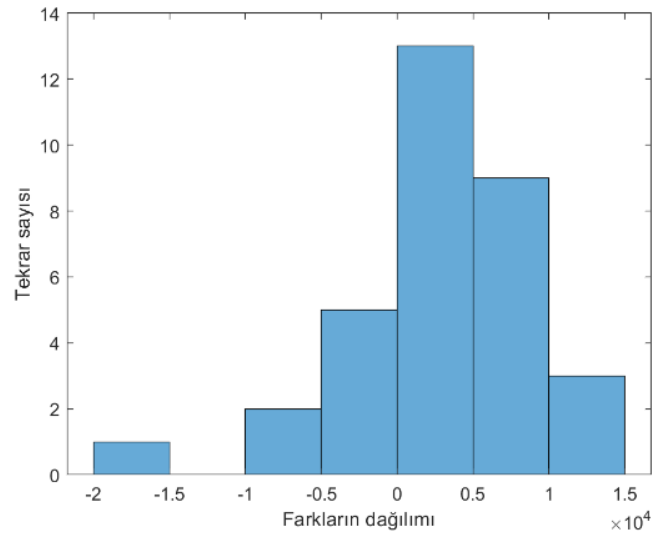
Şekil Ek.77. Maliyet modeli eğitim veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



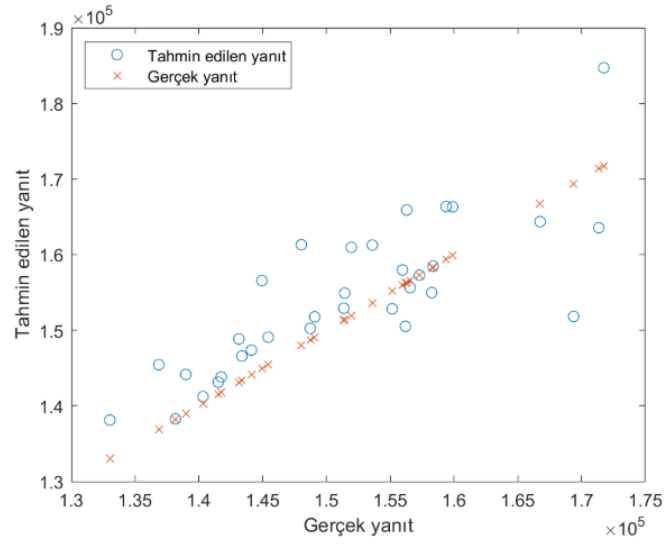
Şekil Ek.78. Maliyet modeli eğitim veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



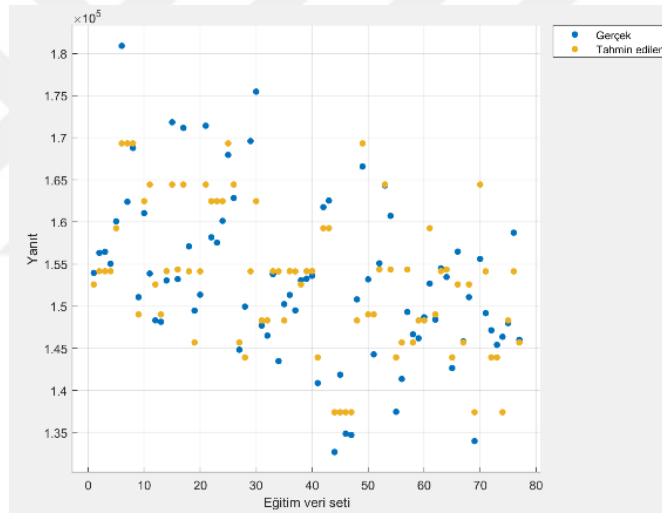
Şekil Ek.79. Maliyet modeli eğitim veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



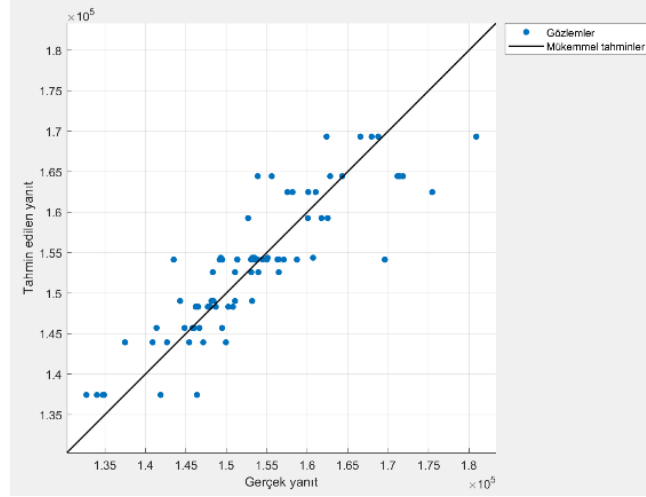
Şekil Ek.80. Maliyet modeli test veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



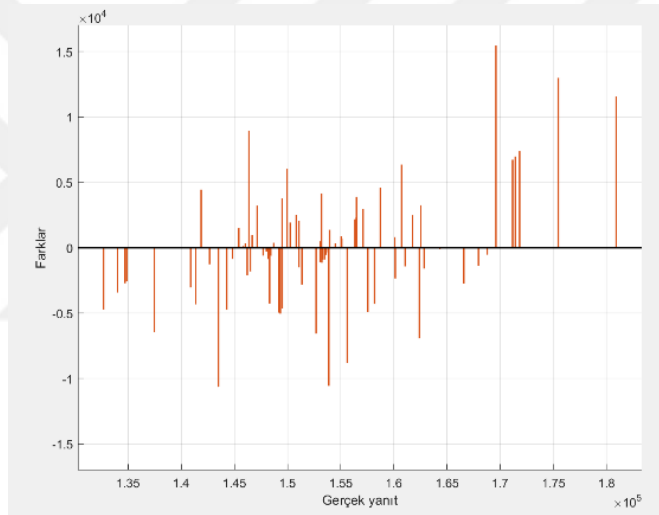
Şekil Ek.81. Maliyet modeli test veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



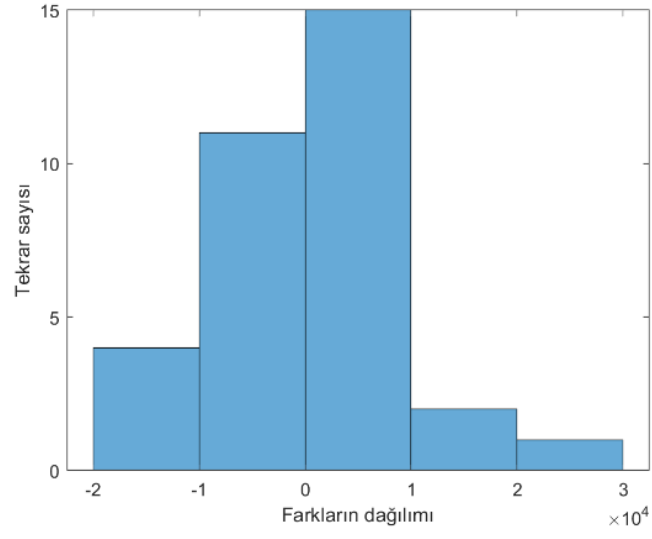
Şekil Ek.82. Maliyet modeli eğitim veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



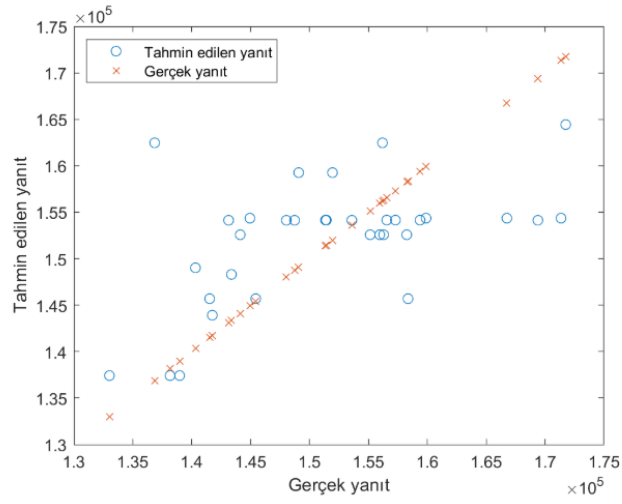
Şekil Ek.83. Maliyet modeli eğitim veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



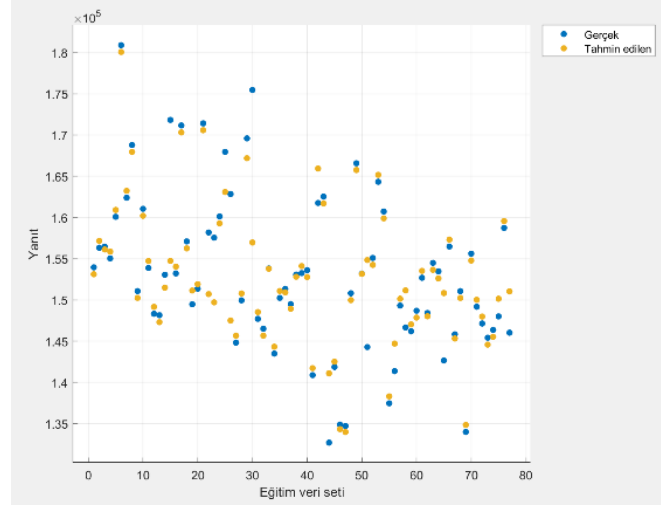
Şekil Ek.84. Maliyet modeli eğitim veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



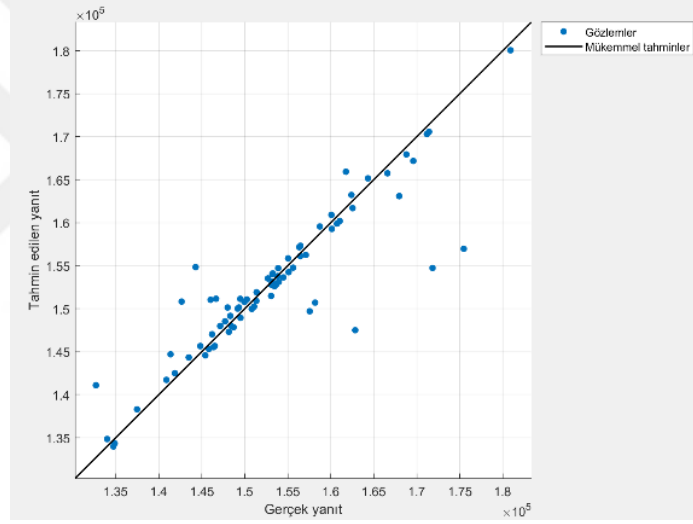
Şekil Ek.85. Maliyet modeli test veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



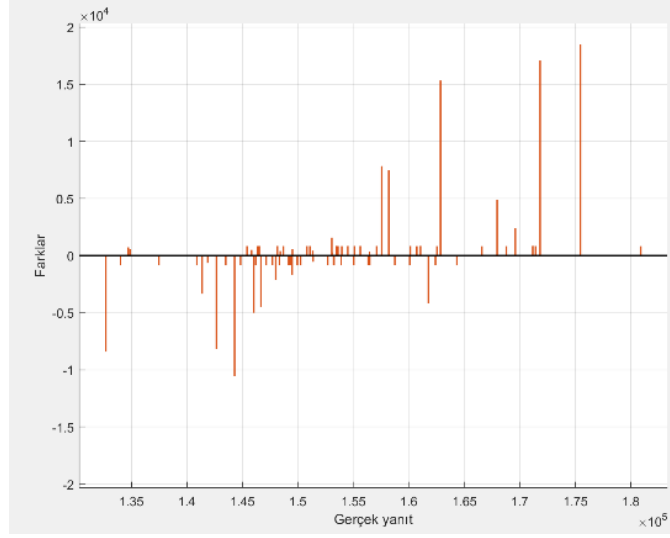
Şekil Ek.86. Maliyet modeli test veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



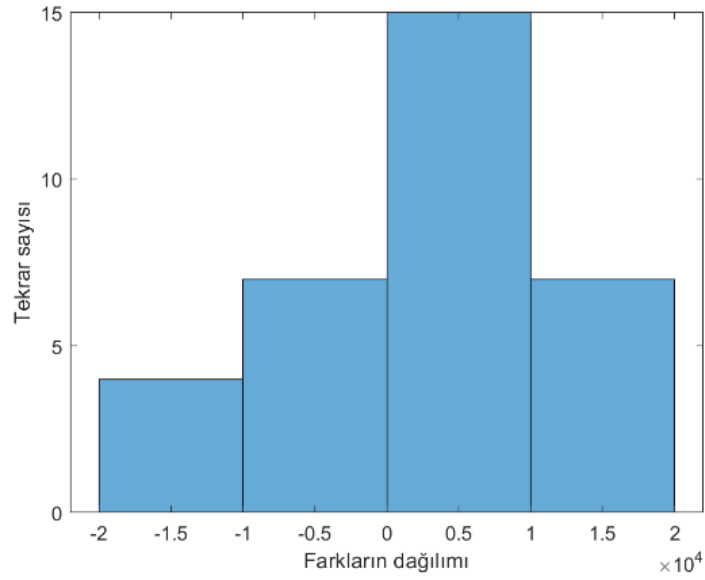
Şekil Ek.87. Maliyet modeli eğitim veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



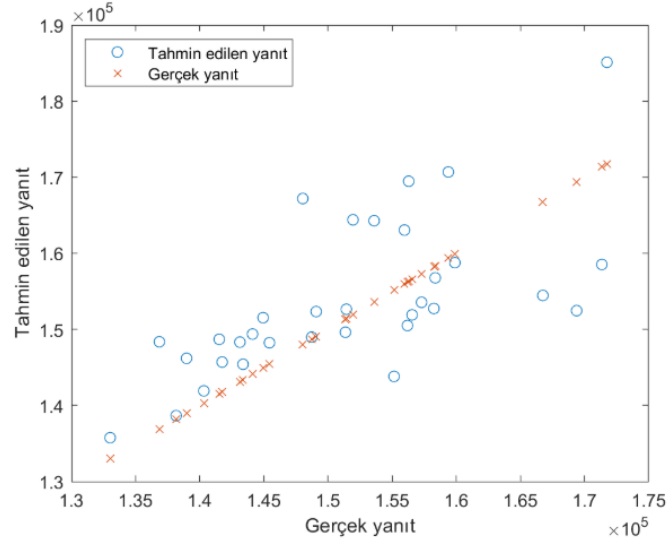
Şekil Ek.88. Maliyet modeli eğitim veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



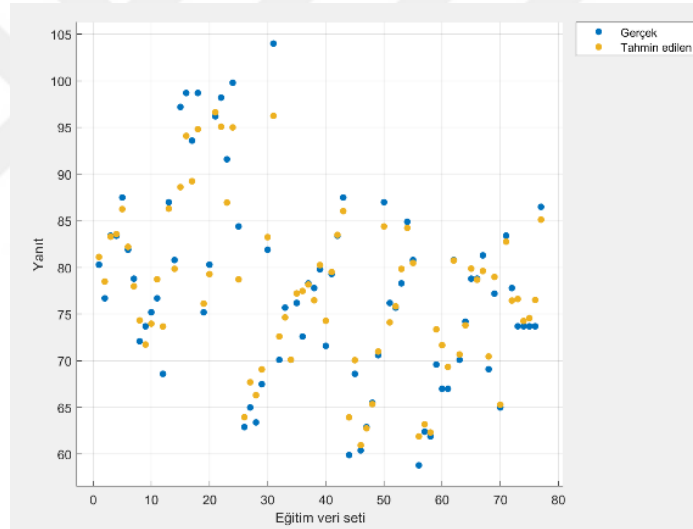
Şekil Ek.89. Maliyet modeli eğitim veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



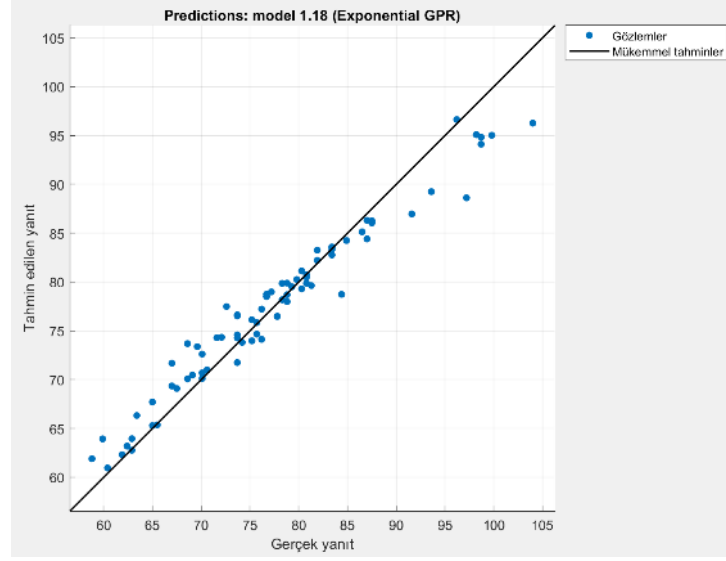
Şekil Ek.90. Maliyet modeli test veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



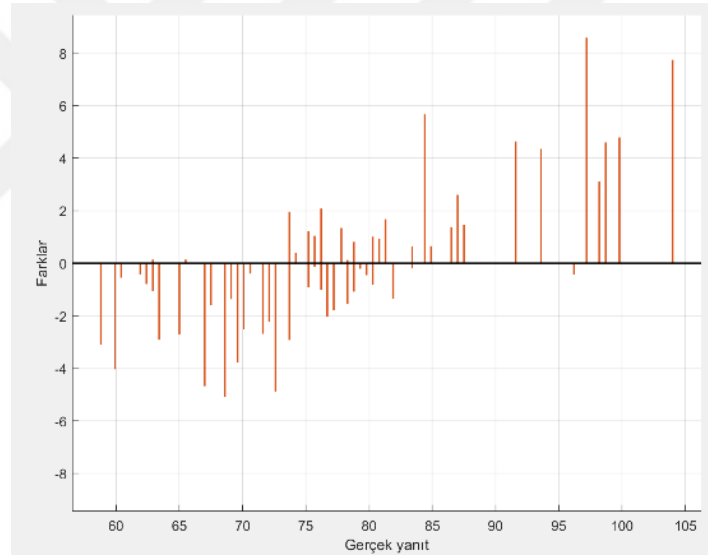
Şekil Ek.91. Maliyet modeli test veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



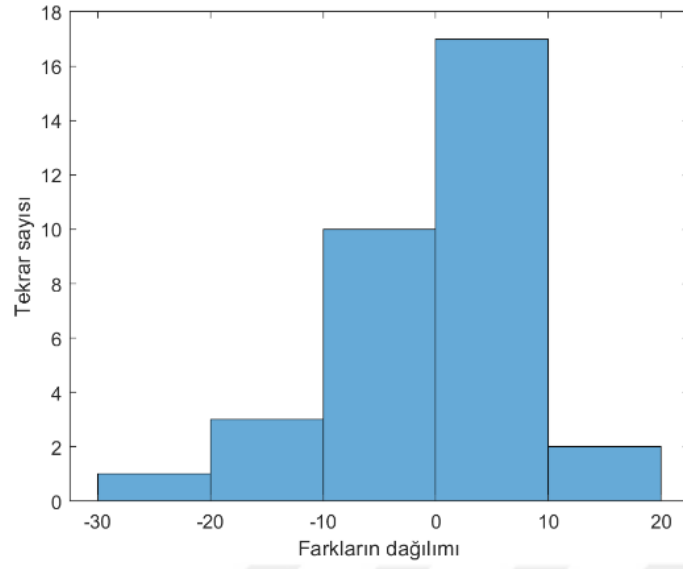
Şekil Ek.92. Karbondioksit modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



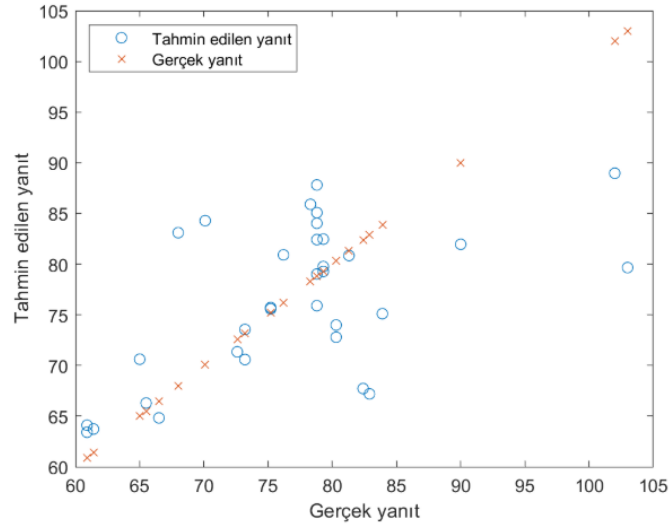
Şekil Ek.93. Karbondioksit modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



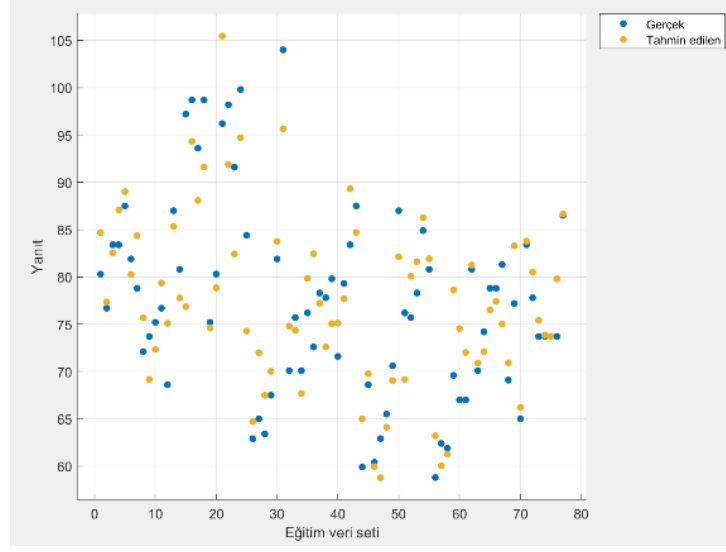
Şekil Ek.94. Karbondioksit modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



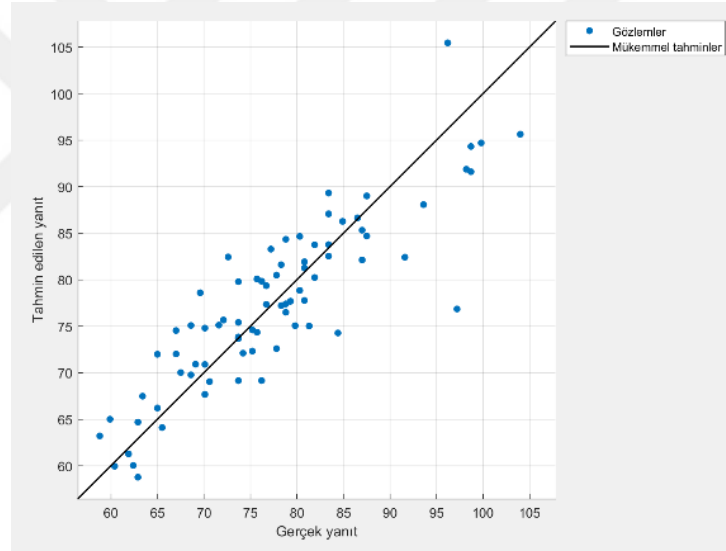
Şekil Ek.95. Karbondioksit modeli test veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



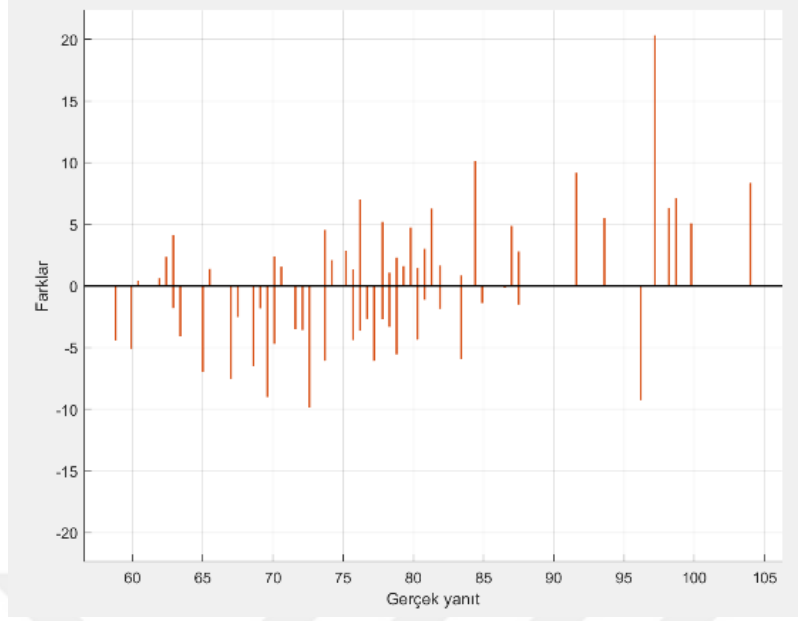
Şekil Ek.96. Karbondioksit modeli test veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



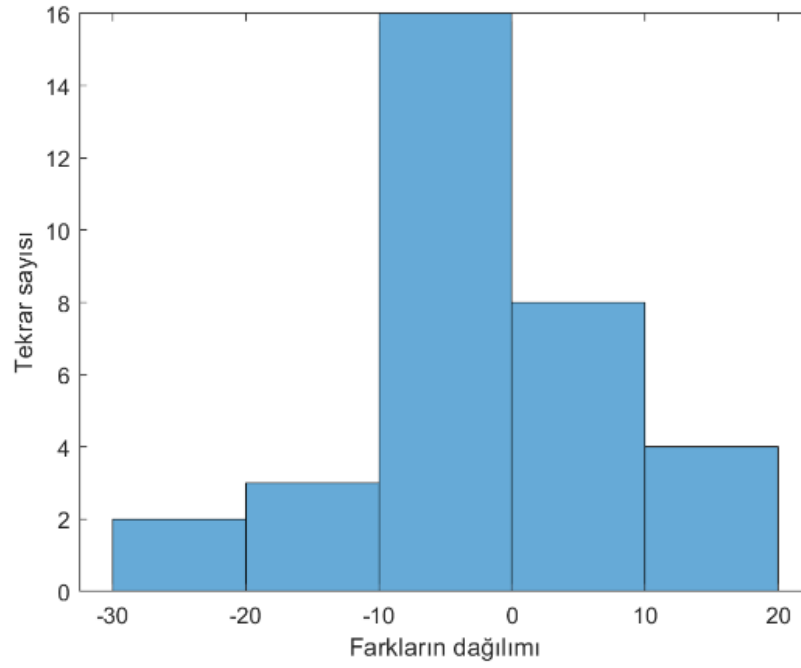
Şekil Ek.97. Karbondioksit modeli eğitim veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



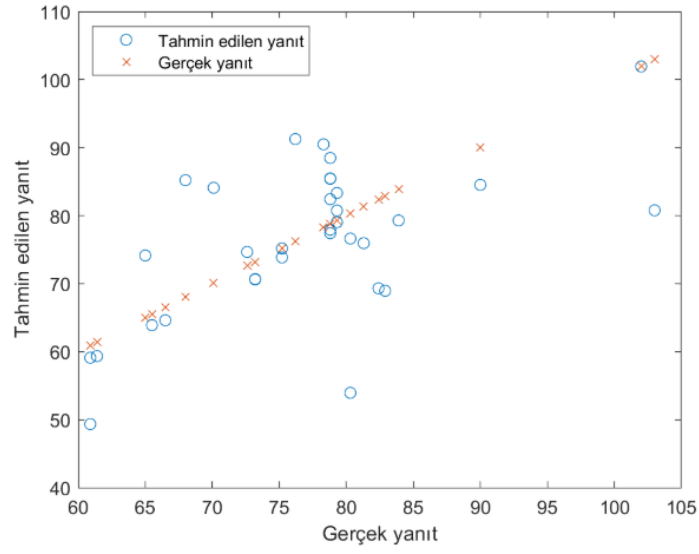
Şekil Ek.98. Karbondioksit modeli eğitim veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



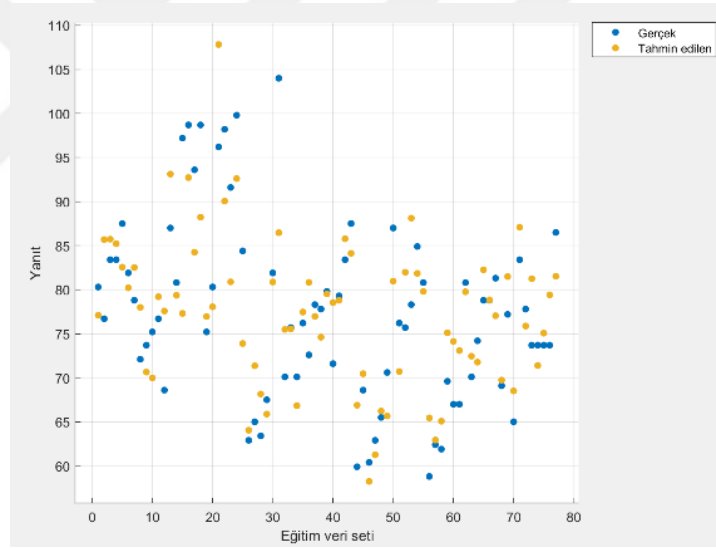
Şekil Ek.99. Karbondioksit modeli eğitim veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



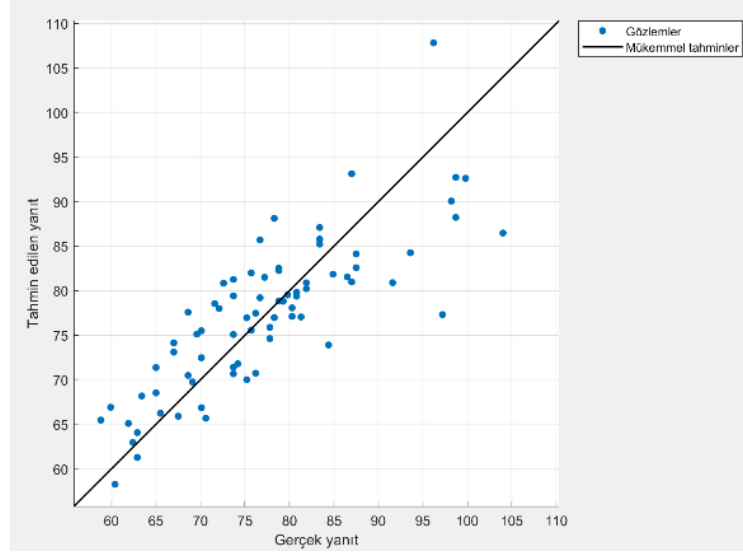
Şekil Ek.100. Karbondioksit modeli test veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



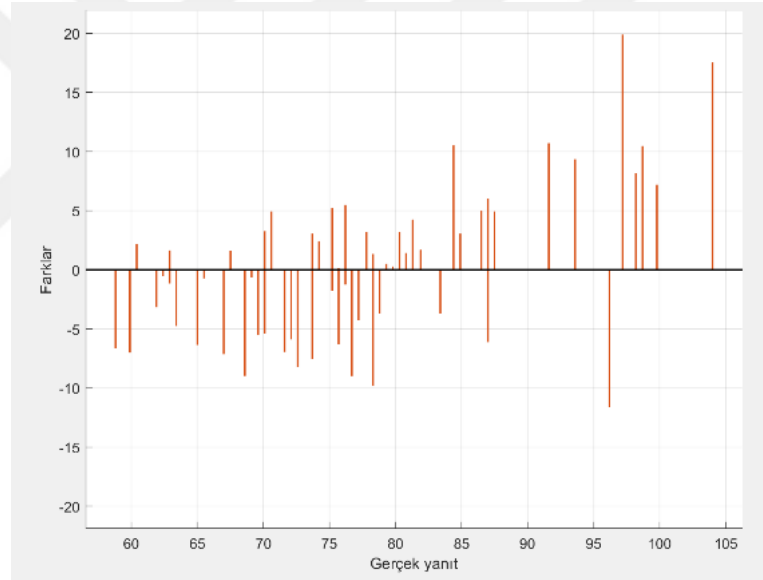
Şekil Ek.101. Karbon dioksit modeli test veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



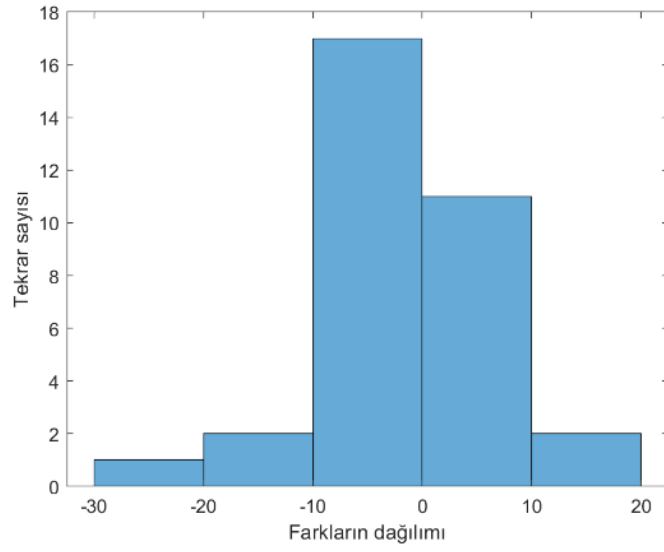
Şekil Ek.102. Karbon dioksit modeli eğitim veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



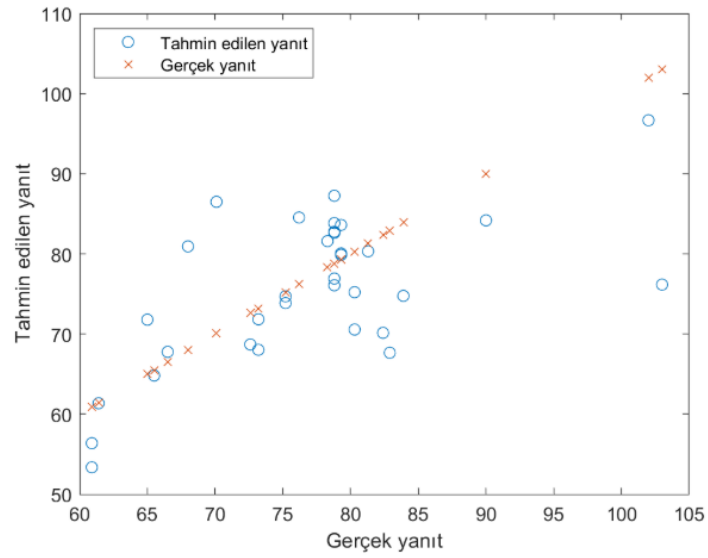
Şekil Ek.103. Karbondioksit modeli eğitim veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



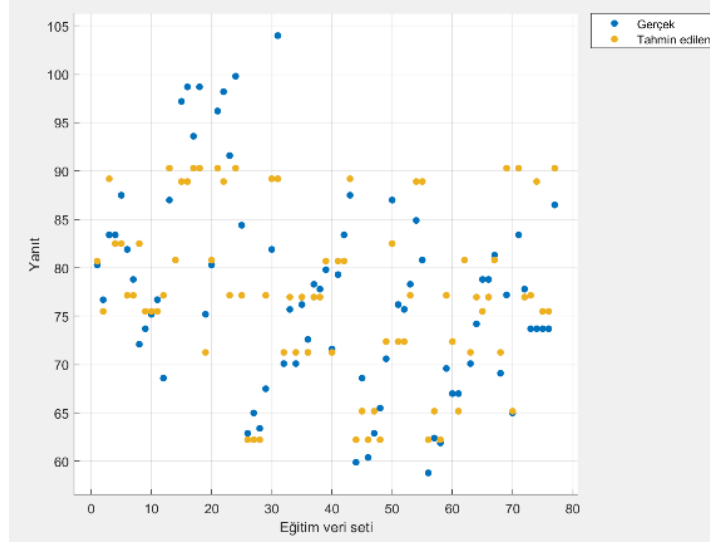
Şekil Ek.104. Karbondioksit modeli eğitim veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



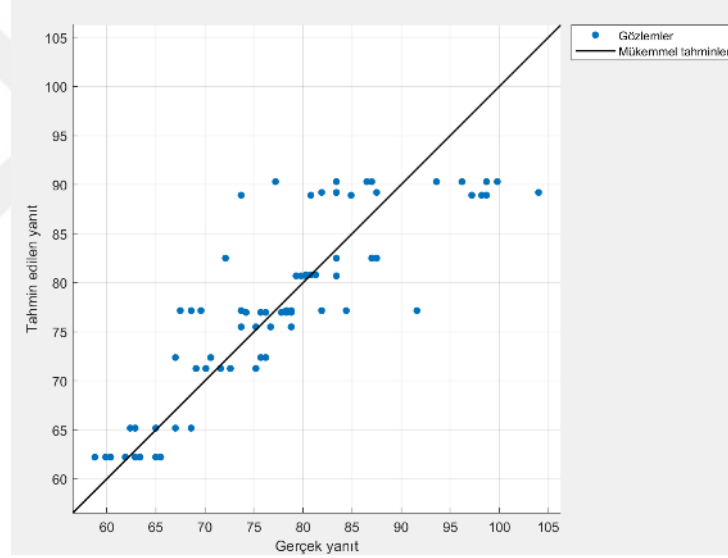
Şekil Ek.105. Karbondioksit modeli test veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



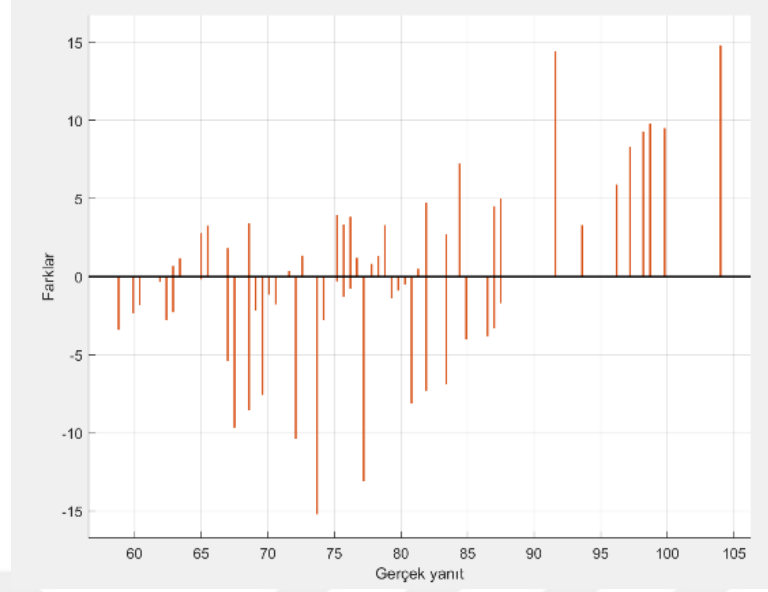
Şekil Ek.106. Karbondioksit modeli test veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



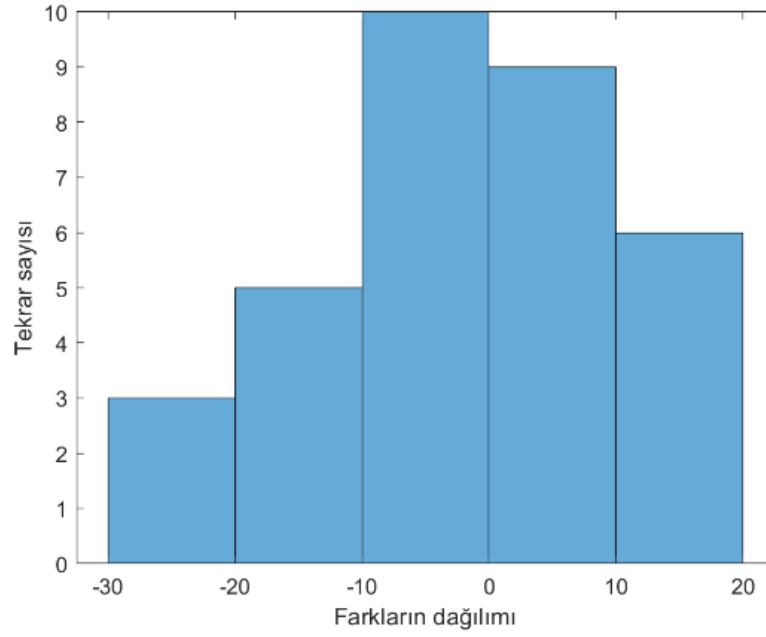
Şekil Ek.107. Karbon dioksit modeli eğitim veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi



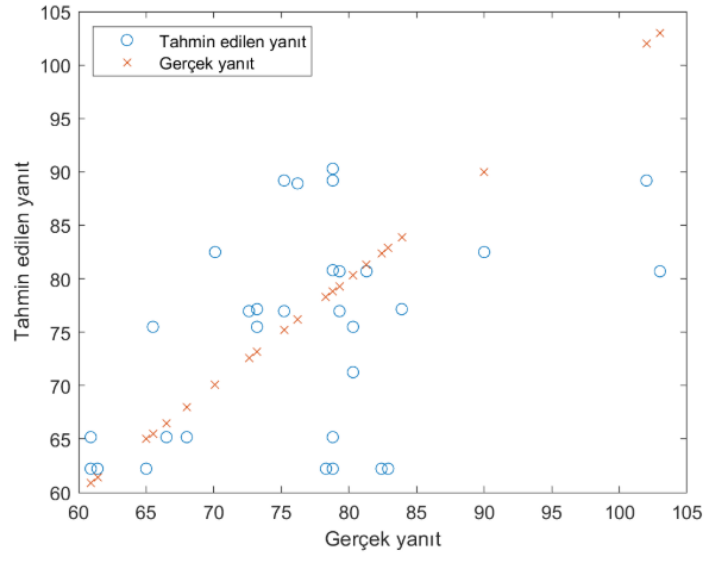
Şekil Ek.108. Karbon dioksit modeli eğitim veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



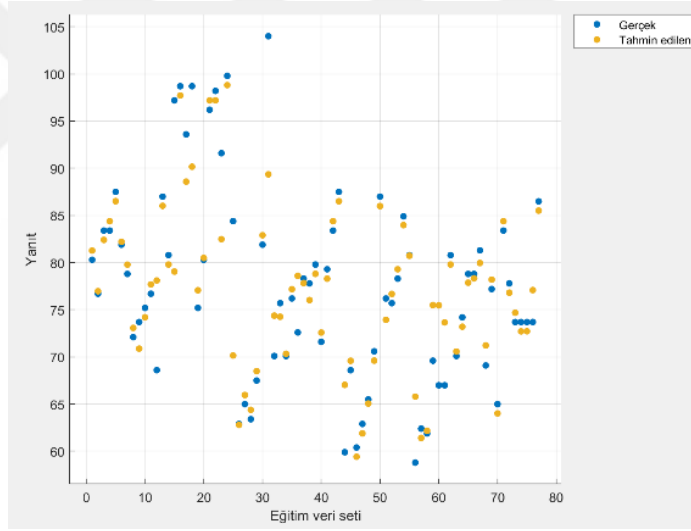
Şekil Ek.109. Karbondioksit modeli eğitim veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



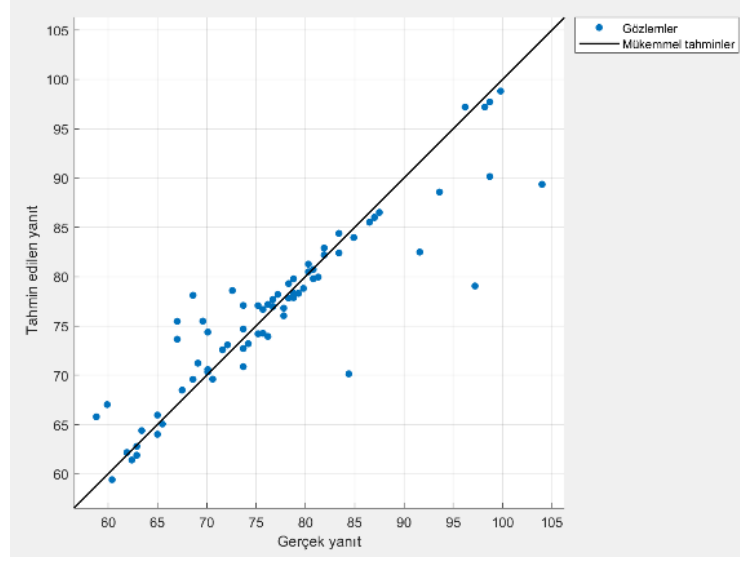
Şekil Ek.110. Karbondioksit modeli test veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



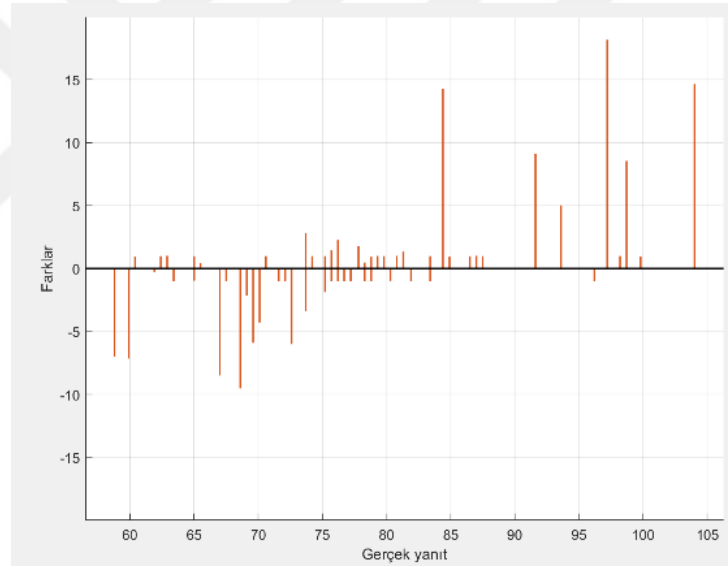
Şekil Ek.111. Karbondioksit modeli test veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



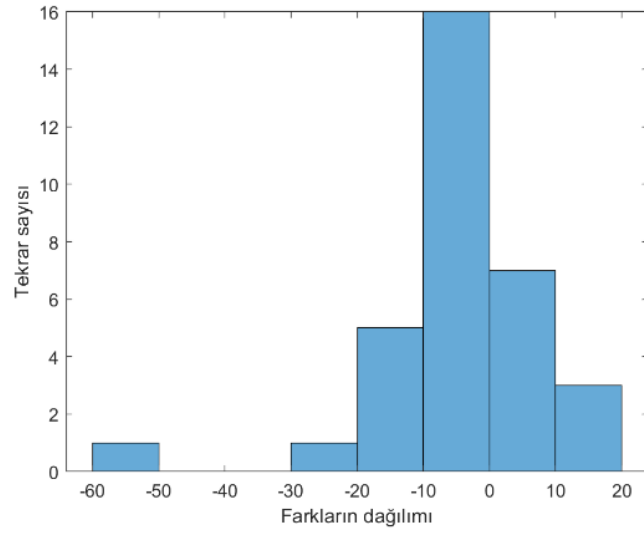
Şekil Ek.112. Karbondioksit modeli eğitim veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



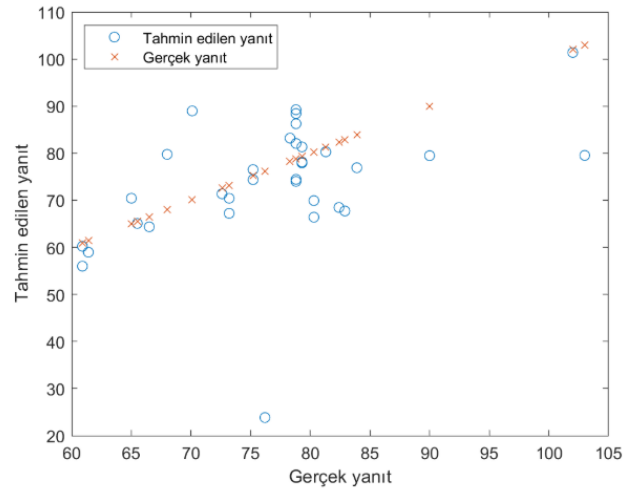
Şekil Ek.113. Karbondioksit modeli eğitim veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



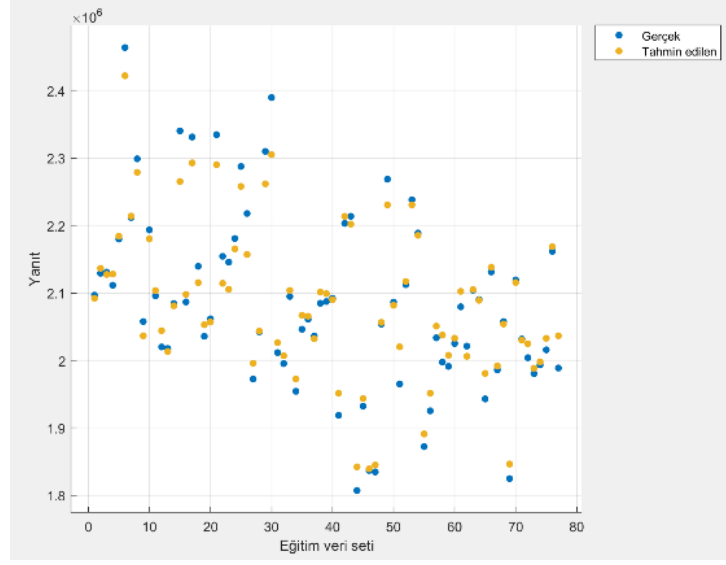
Şekil Ek.114. Karbondioksit modeli eğitim veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



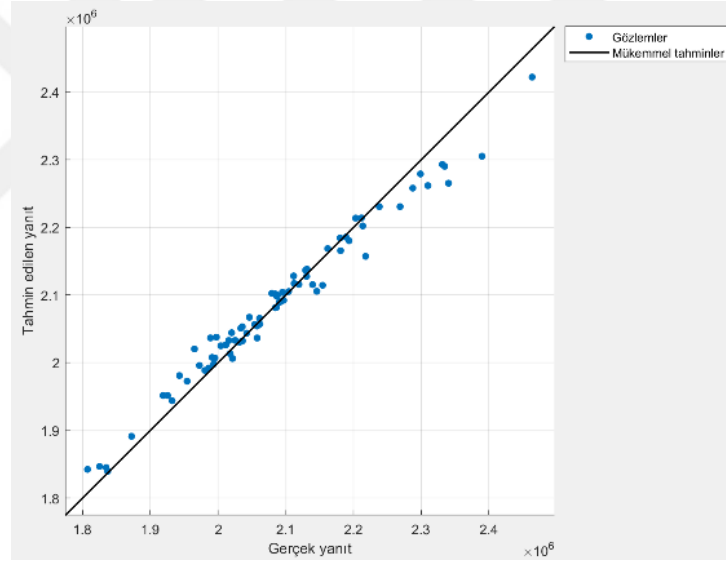
Şekil Ek.115. Karbon dioksit modeli test veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



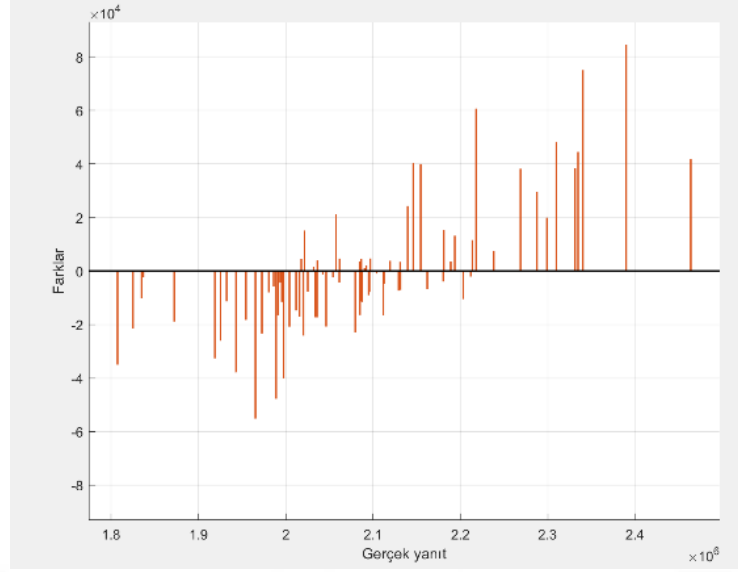
Şekil Ek.116. Karbon dioksit modeli test veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



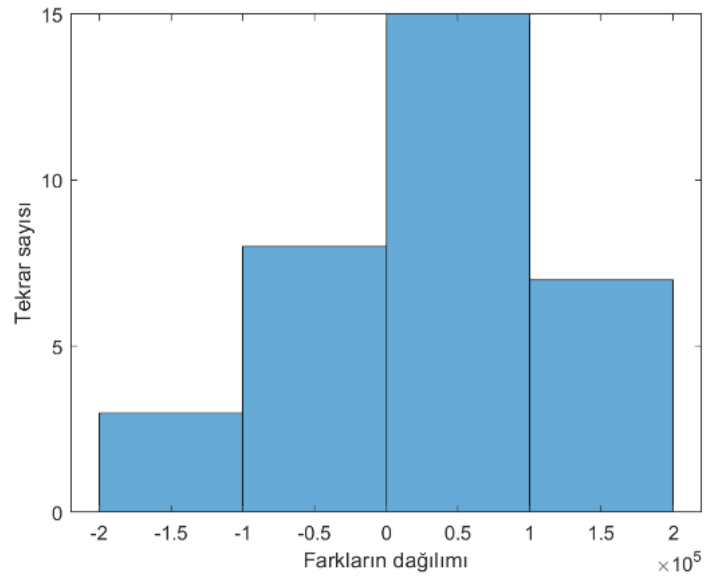
Şekil Ek.117. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



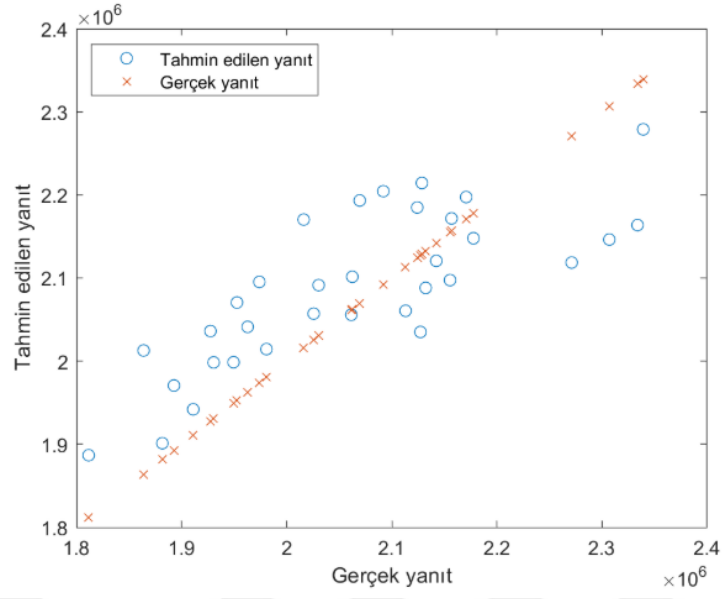
Şekil Ek.118. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



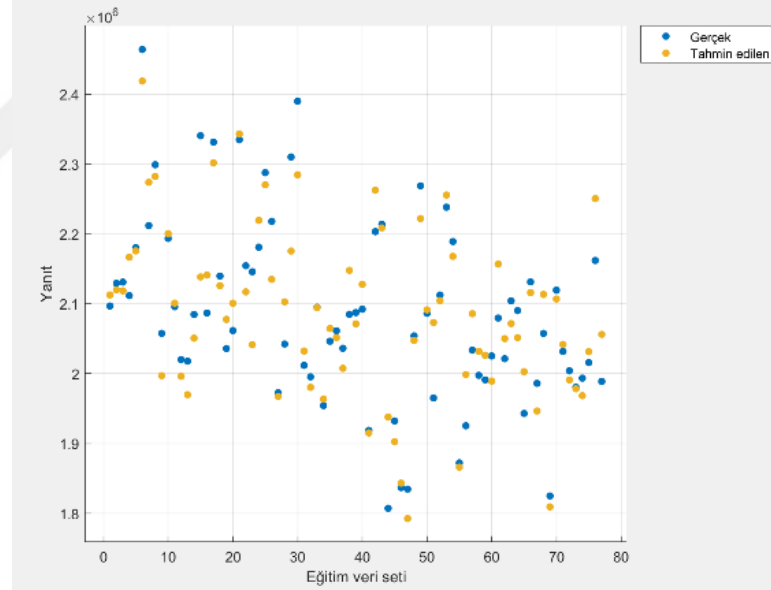
Şekil Ek.119. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



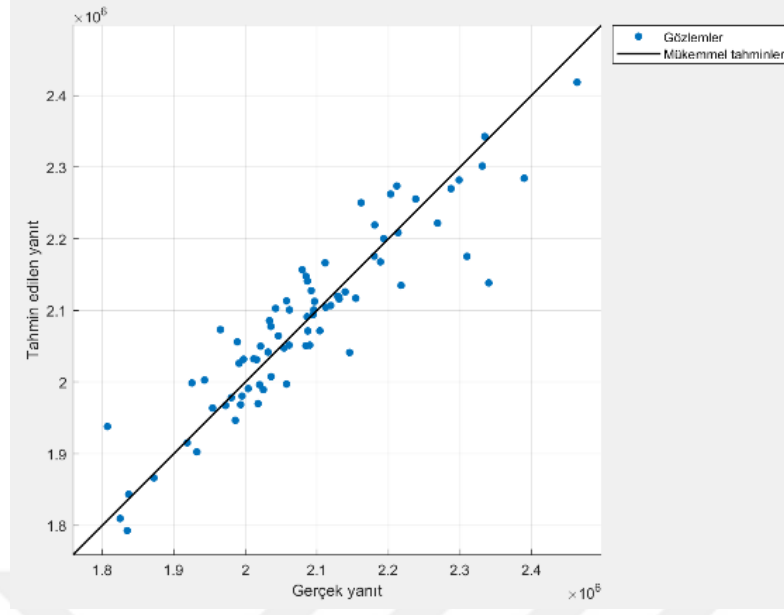
Şekil Ek.120. Yaşam döngüsü maliyet modeli test veri setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



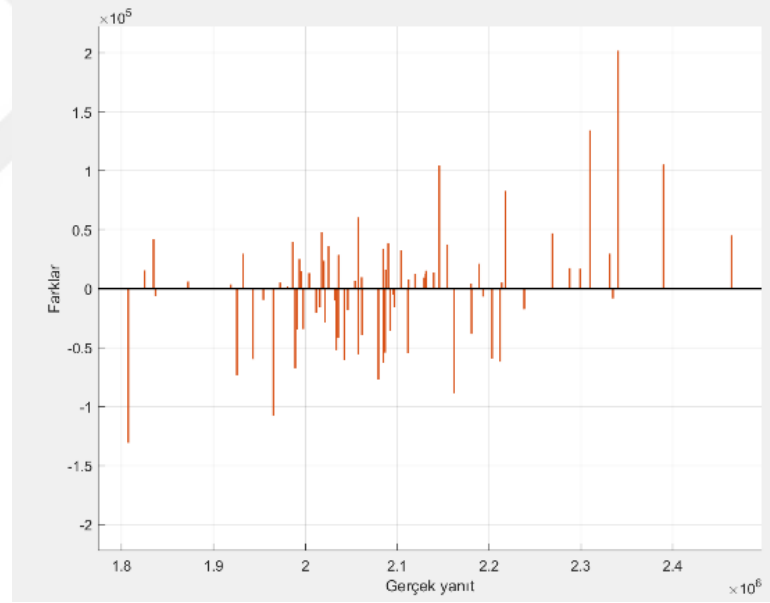
Şekil Ek.121. Yaşam döngüsü maliyet modeli test setinde gauss süreç regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



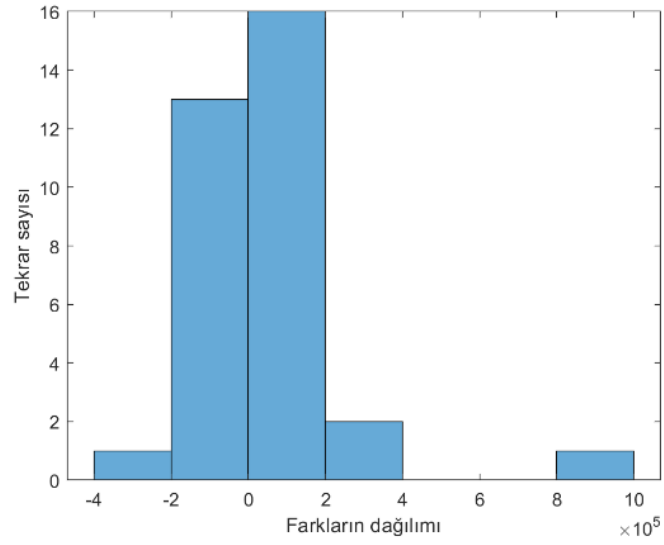
Şekil Ek.122. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



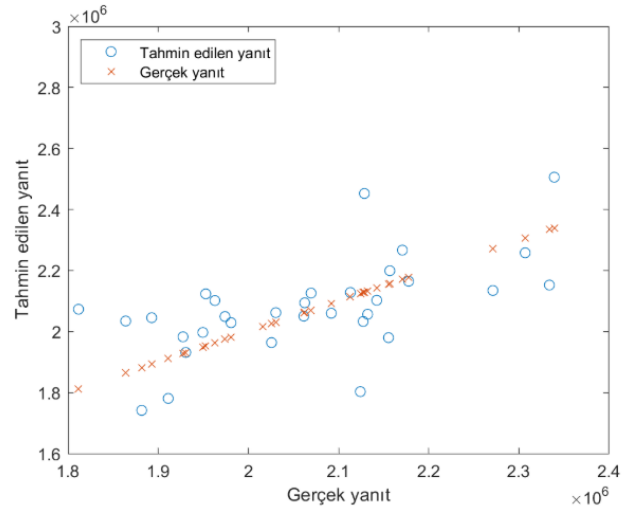
Şekil Ek.123. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



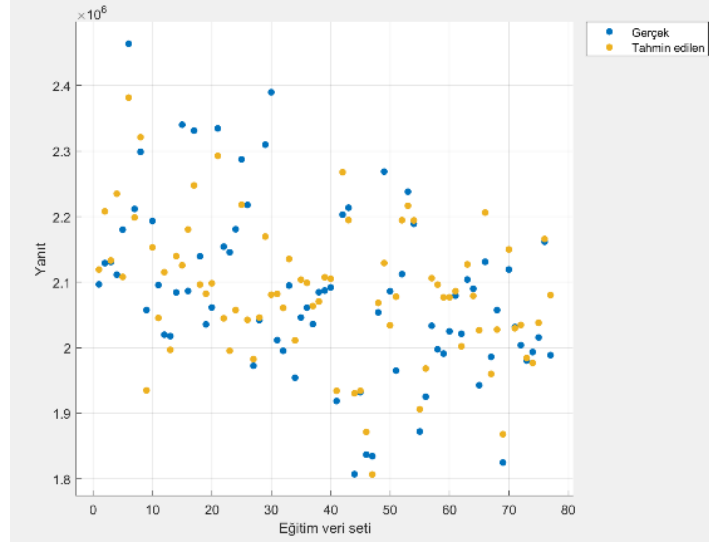
Şekil Ek.124. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



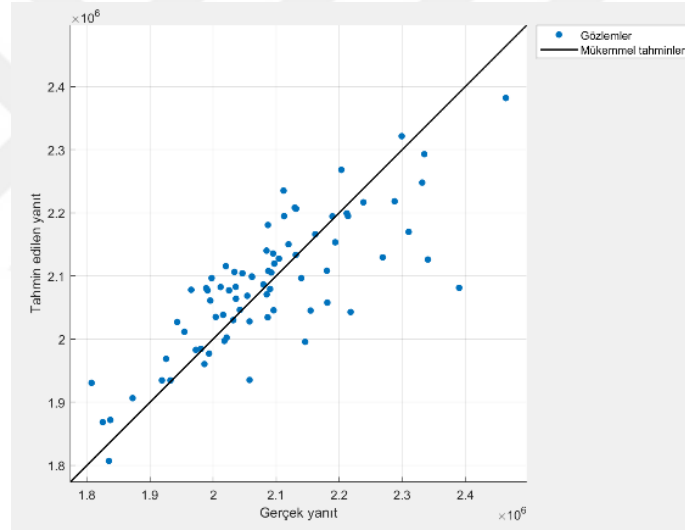
Şekil Ek.125. Yaşam döngüsü maliyet modeli test veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



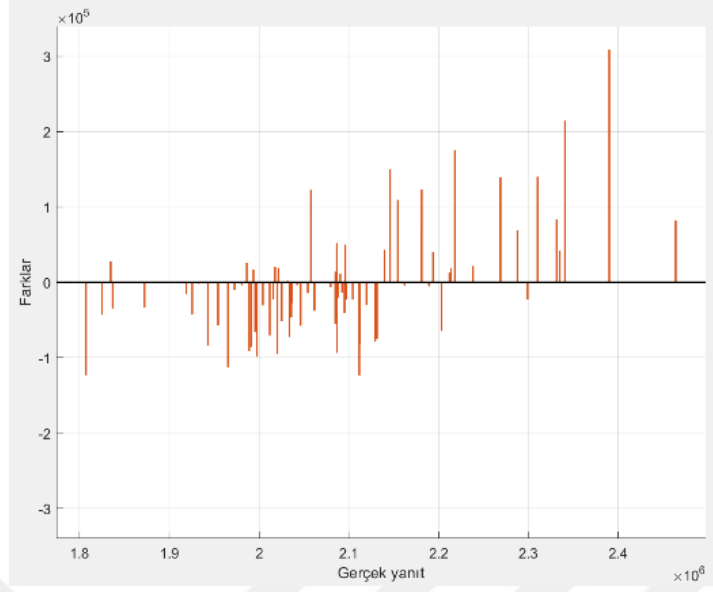
Şekil Ek.126. Yaşam döngüsü maliyet modeli test veri setinde doğrusal regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



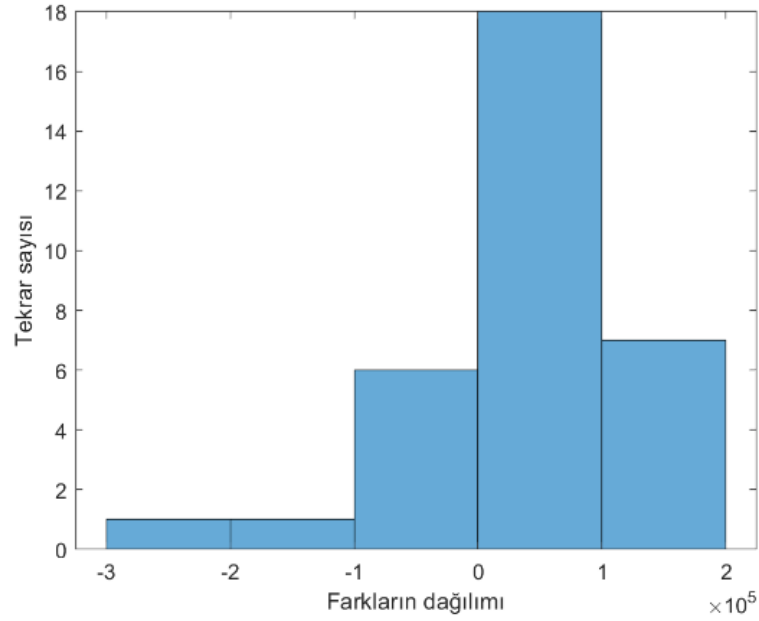
Şekil Ek.127. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



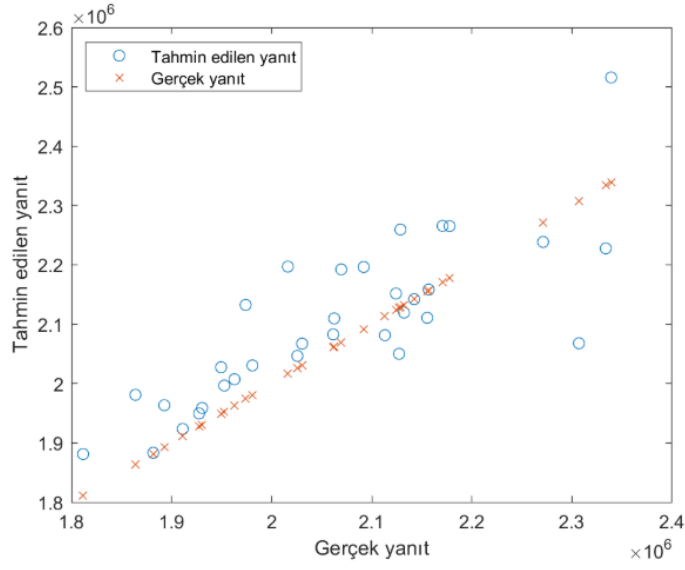
Şekil Ek.128. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



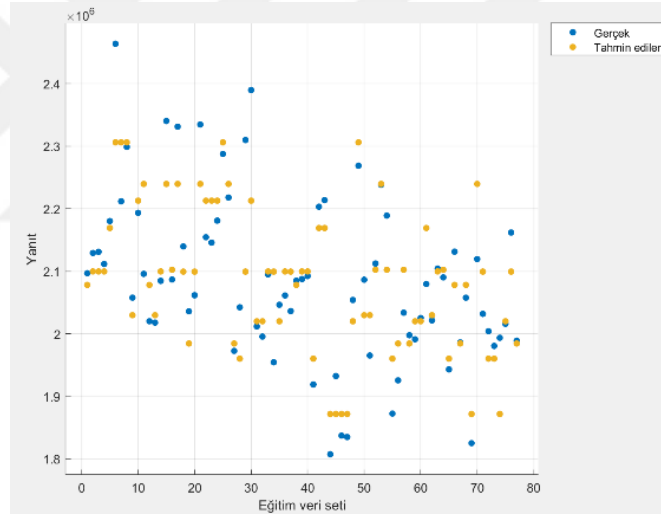
Şekil Ek.129. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



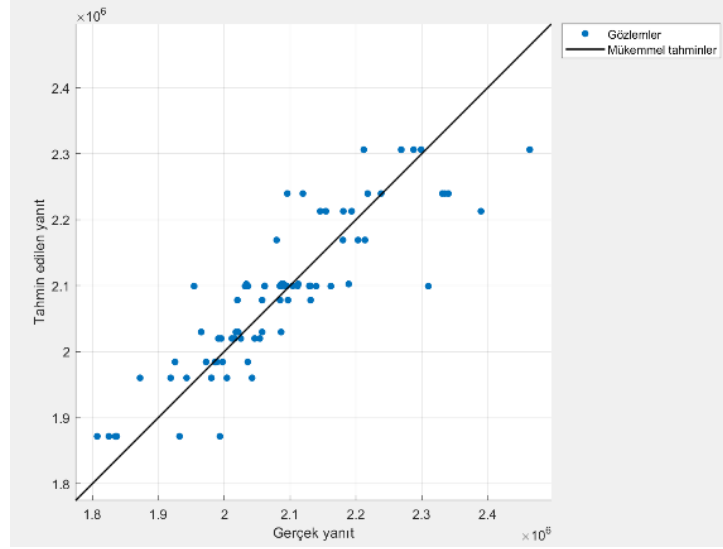
Şekil Ek.130. Yaşam döngüsü maliyet modeli test veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



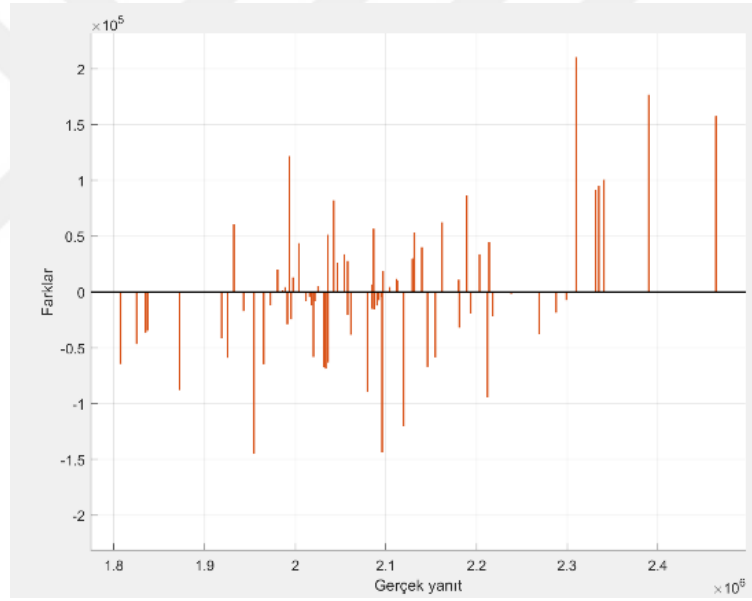
Şekil Ek.131. Yaşam döngüsü maliyet modeli test veri setinde aşamalı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



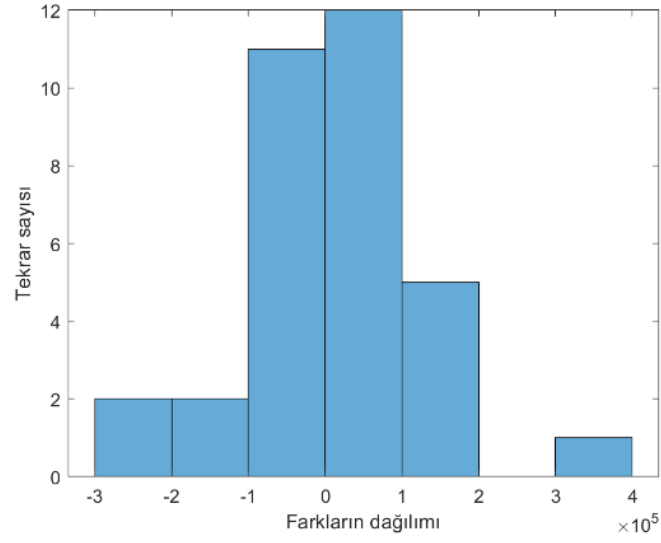
Şekil Ek.132. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



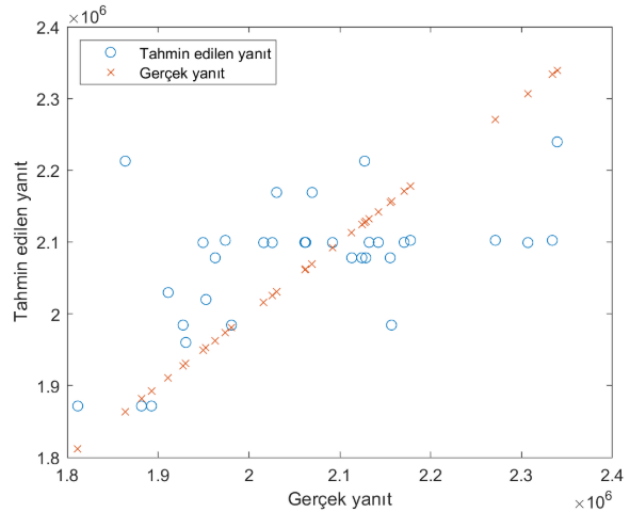
Şekil Ek.133. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



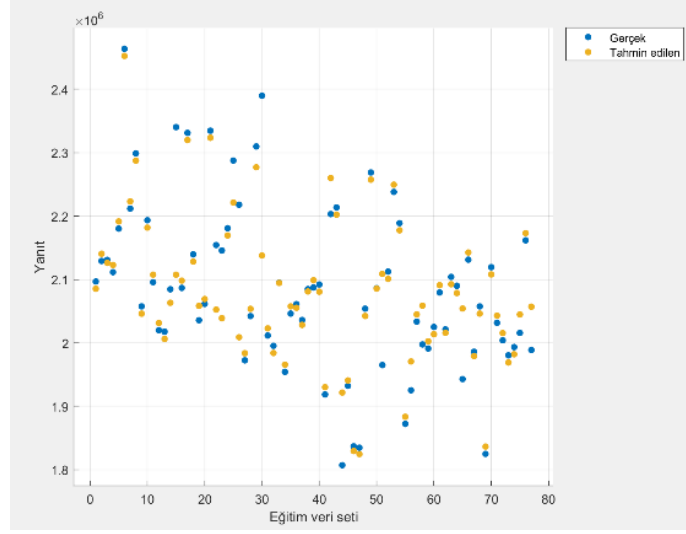
Şekil Ek.134. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



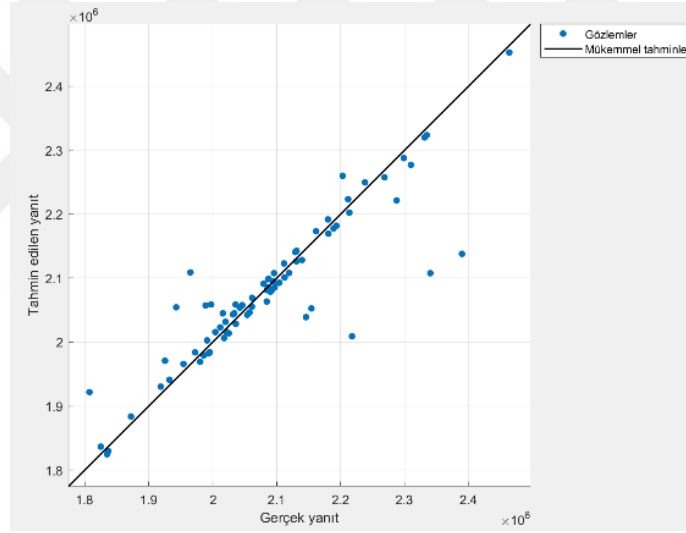
Şekil Ek.135. Yaşam döngüsü maliyet modeli test veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



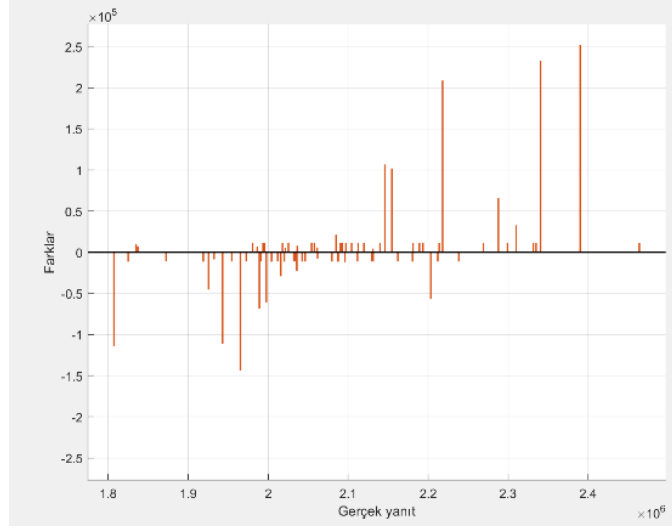
Şekil Ek.136. Yaşam döngüsü maliyet modeli test veri setinde karar ağacı regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



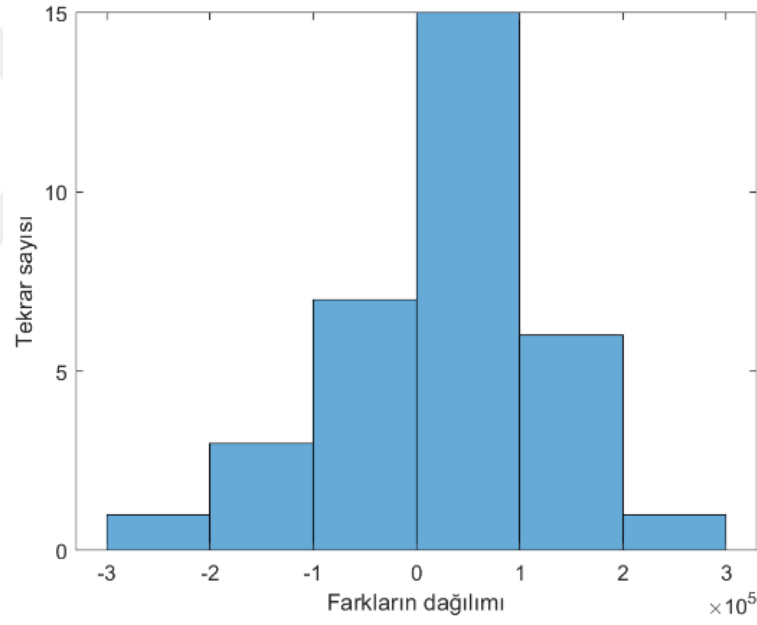
Şekil Ek.137. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.



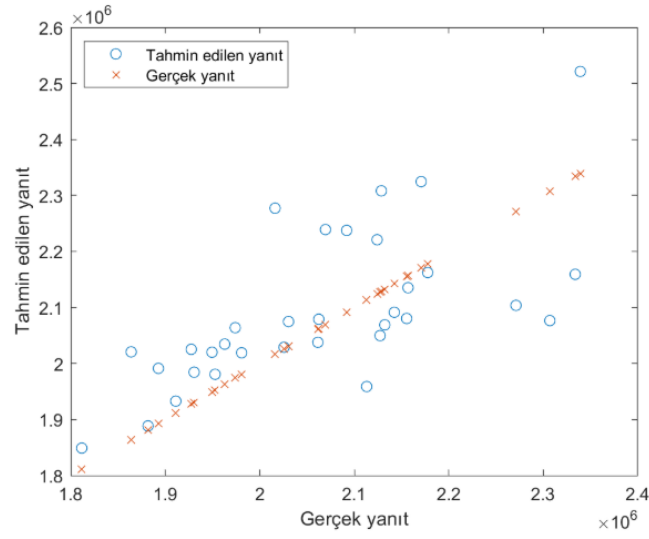
Şekil Ek.138. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin uyumu.



Şekil Ek.139. Yaşam döngüsü maliyet modeli eğitim veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının gösterimi.



Şekil Ek.140. Yaşam döngüsü maliyet modeli test veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin farkının histogram gösterimi.



Şekil Ek.141. Yaşam döngüsü maliyet modeli test veri setinde destek vektör regresyon için gerçek ve tahmin edilen değerlerin gösterimi.

Tablo Ek.14. Derin öğrenme enerji modelinde seçenekler kısmındaki parametrelerin değerleri.

TrainingOptionsADAM with properties:

```

GradientDecayFactor: 0.9000
SquaredGradientDecayFactor: 0.9990
Epsilon: 1.0000e-08
InitialLearnRate: 1.0000e-04
LearnRateSchedule: 'none'
LearnRateDropFactor: 0.1000
LearnRateDropPeriod: 10
L2Regularization: 1.0000e-04
GradientThresholdMethod: 'l2norm'
GradientThreshold: 0.0100
MaxEpochs: 1000
MiniBatchSize: 128
Verbose: 1
VerboseFrequency: 50
ValidationData: []
ValidationFrequency: 50
ValidationPatience: Inf
Shuffle: 'once'
CheckpointPath: ''
ExecutionEnvironment: 'auto'
WorkerLoad: []
OutputFcn: []
Plots: 'none'
SequenceLength: 'longest'
SequencePaddingValue: 0
SequencePaddingDirection: 'right'
DispatchInBackground: 0
ResetInputNormalization: 1

```

Tablo Ek.15. Derin öğrenme enerji modelinde tekrarlamaya bağlı gerçekleşme zamanları, küçük kümeler için kök ortalama kare hata ve temel öğrenme oranı.

Epoch	Iteration	Time Elapsed (hh:mm:ss)	Mini-batch RMSE	Mini-batch Loss	Base Learning Rate
1	1	00:00:00	1.02	0.5	1.0000e-04
50	50	00:00:03	0.85	0.4	1.0000e-04
100	100	00:00:05	0.73	0.3	1.0000e-04
150	150	00:00:07	0.63	0.2	1.0000e-04
200	200	00:00:09	0.52	0.1	1.0000e-04
250	250	00:00:11	0.43	9.1e-02	1.0000e-04
300	300	00:00:13	0.35	6.2e-02	1.0000e-04
350	350	00:00:15	0.29	4.3e-02	1.0000e-04
400	400	00:00:17	0.23	2.7e-02	1.0000e-04
450	450	00:00:19	0.18	1.6e-02	1.0000e-04
500	500	00:00:21	0.13	7.9e-03	1.0000e-04
550	550	00:00:24	0.08	3.3e-03	1.0000e-04
600	600	00:00:26	0.05	1.1e-03	1.0000e-04
650	650	00:00:27	0.03	3.3e-04	1.0000e-04
700	700	00:00:30	0.02	1.3e-04	1.0000e-04
750	750	00:00:32	0.01	6.4e-05	1.0000e-04
800	800	00:00:34	8.29e-03	3.4e-05	1.0000e-04
850	850	00:00:36	6.49e-03	2.1e-05	1.0000e-04
900	900	00:00:37	5.37e-03	1.4e-05	1.0000e-04
950	950	00:00:39	0.01	6.8e-05	1.0000e-04
1000	1000	00:00:41	9.74e-03	4.7e-05	1.0000e-04

Tablo Ek.16. Derin öğrenme maliyet modelinde seçenekler kısmındaki parametrelerin değerleri.

TrainingOptionsADAM with properties:

```

GradientDecayFactor: 0.9000
SquaredGradientDecayFactor: 0.9990
Epsilon: 1.0000e-08
InitialLearnRate: 1.0000e-04
LearnRateSchedule: 'none'
LearnRateDropFactor: 0.1000
LearnRateDropPeriod: 10
L2Regularization: 1.0000e-04
GradientThresholdMethod: 'l2norm'
GradientThreshold: 0.0100
MaxEpochs: 1000
MiniBatchSize: 128
Verbose: 1
VerboseFrequency: 50
ValidationData: []
ValidationFrequency: 50
ValidationPatience: Inf
Shuffle: 'once'
CheckpointPath: ''
ExecutionEnvironment: 'auto'
WorkerLoad: []
OutputFcn: []
Plots: 'none'
SequenceLength: 'longest'
SequencePaddingValue: 0
SequencePaddingDirection: 'right'
DispatchInBackground: 0
ResetInputNormalization: 1

```

Tablo Ek.17. Derin öğrenme maliyet modelinde tekrarlamaya bağlı gerçekleşme zamanları, küçük kümeler için kök ortalama kare hata ve temel öğrenme oranı.

Epoch	Iteration	Time Elapsed (hh:mm:ss)	Mini-batch RMSE	Mini-batch Loss	Base Learning Rate
1	1	00:00:00	1.03	0.5	1.0000e-04
50	50	00:00:03	0.86	0.4	1.0000e-04
100	100	00:00:05	0.74	0.3	1.0000e-04
150	150	00:00:08	0.64	0.2	1.0000e-04
200	200	00:00:12	0.52	0.1	1.0000e-04
250	250	00:00:16	0.42	8.8e-02	1.0000e-04
300	300	00:00:19	0.34	5.9e-02	1.0000e-04
350	350	00:00:22	0.28	4.0e-02	1.0000e-04
400	400	00:00:25	0.23	2.7e-02	1.0000e-04
450	450	00:00:29	0.19	1.8e-02	1.0000e-04
500	500	00:00:32	0.16	1.2e-02	1.0000e-04
550	550	00:00:36	0.13	8.1e-03	1.0000e-04
600	600	00:00:39	0.10	5.2e-03	1.0000e-04
650	650	00:00:43	0.08	3.3e-03	1.0000e-04
700	700	00:00:47	0.06	2.0e-03	1.0000e-04
750	750	00:00:50	0.05	1.2e-03	1.0000e-04
800	800	00:00:53	0.04	7.1e-04	1.0000e-04
850	850	00:00:54	0.03	4.4e-04	1.0000e-04
900	900	00:00:56	0.02	2.8e-04	1.0000e-04
950	950	00:00:58	0.02	1.9e-04	1.0000e-04
1000	1000	00:01:00	0.02	1.3e-04	1.0000e-04

Tablo Ek.18. Derin öğrenme CO₂ salınımı modelinde seçenekler kısmındaki parametrelerin değerleri.

TrainingOptionsADAM with properties:

```

GradientDecayFactor: 0.9000
SquaredGradientDecayFactor: 0.9990
Epsilon: 1.0000e-08
InitialLearnRate: 1.0000e-04
LearnRateSchedule: 'none'
LearnRateDropFactor: 0.1000
LearnRateDropPeriod: 10
L2Regularization: 1.0000e-04
GradientThresholdMethod: 'l2norm'
GradientThreshold: 0.0100
MaxEpochs: 1000
MiniBatchSize: 128
Verbose: 1
VerboseFrequency: 50
ValidationData: []
ValidationFrequency: 50
ValidationPatience: Inf
Shuffle: 'once'
CheckpointPath: ''
ExecutionEnvironment: 'auto'
WorkerLoad: []
OutputFcn: []
Plots: 'none'
SequenceLength: 'longest'
SequencePaddingValue: 0
SequencePaddingDirection: 'right'
DispatchInBackground: 0
ResetInputNormalization: 1

```

Tablo Ek.19. Derin öğrenme CO₂ salınımı modelinde tekrarlamaya bağlı gerçekleşme zamanları, küçük kümeler için kök ortalama kare hata ve temel öğrenme oranı.

Epoch	Iteration	Time Elapsed (hh:mm:ss)	Mini-batch RMSE	Mini-batch Loss	Base Learning Rate
1	1	00:00:00	1.01	0.5	1.0000e-04
50	50	00:00:05	0.84	0.4	1.0000e-04
100	100	00:00:07	0.72	0.3	1.0000e-04
150	150	00:00:09	0.62	0.2	1.0000e-04
200	200	00:00:11	0.51	0.1	1.0000e-04
250	250	00:00:13	0.43	9.2e-02	1.0000e-04
300	300	00:00:15	0.36	6.4e-02	1.0000e-04
350	350	00:00:17	0.30	4.4e-02	1.0000e-04
400	400	00:00:19	0.25	3.0e-02	1.0000e-04
450	450	00:00:21	0.20	1.9e-02	1.0000e-04
500	500	00:00:23	0.15	1.1e-02	1.0000e-04
550	550	00:00:25	0.11	5.8e-03	1.0000e-04
600	600	00:00:27	0.07	2.6e-03	1.0000e-04
650	650	00:00:30	0.05	1.0e-03	1.0000e-04
700	700	00:00:32	0.03	3.9e-04	1.0000e-04
750	750	00:00:34	0.02	1.5e-04	1.0000e-04
800	800	00:00:37	0.01	5.8e-05	1.0000e-04
850	850	00:00:39	7.32e-03	2.7e-05	1.0000e-04
900	900	00:00:42	7.70e-03	3.0e-05	1.0000e-04
950	950	00:00:44	6.96e-03	2.4e-05	1.0000e-04
1000	1000	00:00:47	4.51e-03	1.0e-05	1.0000e-04

Tablo Ek.20. Derin öğrenme yaşam döngüsü modelinde seçenekler kısmındaki parametrelerin değerleri.

```

GradientDecayFactor: 0.9000
SquaredGradientDecayFactor: 0.9990
Epsilon: 1.0000e-08
InitialLearnRate: 1.0000e-04
LearnRateSchedule: 'none'
LearnRateDropFactor: 0.1000
LearnRateDropPeriod: 10
L2Regularization: 1.0000e-04
GradientThresholdMethod: 'l2norm'
GradientThreshold: 0.0100
MaxEpochs: 1000
MiniBatchSize: 128
Verbose: 1
VerboseFrequency: 50
ValidationData: []
ValidationFrequency: 50
ValidationPatience: Inf
Shuffle: 'once'
CheckpointPath: ''
ExecutionEnvironment: 'auto'
WorkerLoad: []
OutputFcn: []
Plots: 'none'
SequenceLength: 'longest'
SequencePaddingValue: 0
SequencePaddingDirection: 'right'
DispatchInBackground: 0
ResetInputNormalization: 1

```

Tablo Ek.21. Derin öğrenme yaşam döngüsü modelinde tekrarlamaya bağlı gerçekleşme zamanları, küçük kümeler için kök ortalama kare hata ve temel öğrenme oranı.

Epoch	Iteration	Time Elapsed (hh:mm:ss)	Mini-batch RMSE	Mini-batch Loss	Base Learning Rate
1	1	00:00:00	1.03	0.5	1.0000e-04
50	50	00:00:02	0.86	0.4	1.0000e-04
100	100	00:00:04	0.74	0.3	1.0000e-04
150	150	00:00:06	0.64	0.2	1.0000e-04
200	200	00:00:07	0.52	0.1	1.0000e-04
250	250	00:00:09	0.42	8.8e-02	1.0000e-04
300	300	00:00:11	0.34	5.9e-02	1.0000e-04
350	350	00:00:13	0.28	4.0e-02	1.0000e-04
400	400	00:00:14	0.23	2.7e-02	1.0000e-04
450	450	00:00:16	0.19	1.8e-02	1.0000e-04
500	500	00:00:18	0.16	1.2e-02	1.0000e-04
550	550	00:00:20	0.13	8.1e-03	1.0000e-04
600	600	00:00:22	0.10	5.2e-03	1.0000e-04
650	650	00:00:25	0.08	3.3e-03	1.0000e-04
700	700	00:00:28	0.06	2.0e-03	1.0000e-04
750	750	00:00:31	0.05	1.2e-03	1.0000e-04
800	800	00:00:35	0.04	7.2e-04	1.0000e-04
850	850	00:00:38	0.03	4.4e-04	1.0000e-04
900	900	00:00:41	0.02	2.8e-04	1.0000e-04
950	950	00:00:44	0.02	1.9e-04	1.0000e-04
1000	1000	00:00:47	0.02	1.3e-04	1.0000e-04