

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PASİF EV STANDARTLARI DOĞRULTUSUNDA
MEVCUT BİNALARIN İYİLEŞTİRİLMESİ
AMAÇLI BİR İSTATİSTİKSEL YAKLAŞIM
ÖNERİSİ

Ahunur AŞIKOĞLU

Mart, 2022

İZMİR

**PASİF EV STANDARTLARI DOĞRULTUSUNDA
MEVCUT BİNALARIN İYİLEŞTİRİLMESİ
AMAÇLI BİR İSTATİSTİKSEL YAKLAŞIM
ÖNERİSİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi
Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı**

Ahunur AŞIKOĞLU

Mart, 2022

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

AHUNUR AŞIKOĞLU, tarafından PROF. DR. MÜJDE ALTIN yönetiminde hazırlanan “PASİF EV STANDARTLARI DOĞRULTUSUNDA MEVCUT BİNALARIN İYİLEŞTİRİLMESİ AMAÇLI BİR İSTATİSTİKSEL YAKLAŞIM ÖNERİSİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Müjde ALTIN

Yönetici

Doç. Dr. A. Vefa ORHON

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi İlker KAHRAMAN

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. İsmet DOĞAN

Jüri Üyesi

Doç.Dr. Koray ÜLGEN

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışma sürecimde çalışmalarımı teşvik edip katkı koyan, bu yolculukta beraber yürüdüğümüz değerli hocam sayın Prof. Dr. Müjde ALTIN'a, tez izleme komitemde yer alan, tezimin gelişmesinde katkıları olan sayın Doç. Dr. A. Vefa ORHON'a ve sayın Dr. Öğr. Üyesi İlker KAHRAMAN'a teşekkür ederim.

Tezimin uygulama aşamasında kullandığım binanın ölçüm, modelleme ve kalibrasyon aşamalarında desteğini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Zeynep Durmuş ARSAN'a ve tezimin modelleme aşamasında her soruma özveriyle cevap veren sayın Doç. Dr. Ayça TOKUÇ'a teşekkür ederim. Akademik hayatım boyunca yetişmemde büyük emeği olan ve her daim motivasyon sağlayan değerli hocam sayın Prof.Dr. Yeşim Kamile AKTUĞLU'ya teşekkür ederim. Tezimin istatistik kısmında öneri, görüş ve yol göstericiliği ile büyük katkı sağlayan değerli hocam sayın Prof. Dr. İsmet DOĞAN'a teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca desteğini esirgemeyen, her daim büyük fedakarlıklar yapan, bir kadın akademisyen olarak ışığım olan canım annem Doç. Dr. Meral AŞIKOĞLU'na minnetle teşekkür ederim.

Her zaman güçlü olmamı sağlayan, her koşulda, gece gündüz demeden maddi ve manevi yanımda olan, akademik bilgileri ve deneyimi ile çalışmamda büyük katkıları olan şansım babam Prof. Dr. Hasan Rıza AŞIKOĞLU'na minnetle teşekkür ederim.

Tez çalışmamın arka plan kahramanlarından, olmaz diye bir şey olmadığını bana öğreten, güç veren abim Dr. Öğr. Üyesi Nihat Onur AŞIKOĞLU'na ve biricik ailesi, motivasyon kaynağım Özlem AŞIKOĞLU ve Rıza Aslan AŞIKOĞLU'na teşekkür ederim.

Ahunur AŞIKOĞLU

PASİF EV STANDARTLARI DOĞRULTUSUNDA MEVCUT BİNALARIN İYİLEŞTİRİLMESİ AMAÇLI BİR İSTATİSTİKSEL YAKLAŞIM ÖNERİSİ

ÖZ

Kaynakların hızla tükenmesi, ekonomik krizler, iklim değişikliği gibi pek çok sorun; enerjinin verimli kullanılmasına yönelik çözümler geliştirilmesine neden olmuştur. Bina sektöründe, yasal düzenlemeler sertifikasyon sistemleri, akademik çalışmalar, teşvik programları gibi çalışmalarla enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik gelişmeler olduğu görülmektedir.

Avrupa’da, Binalarda Enerji Performansı Direktifi ile birlikte, üye devletlerin kendi Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NZEB) hedeflerini belirlemesi yoluyla yasal zorunluluklar getirilmiştir. Bu süreçte bazı üye devletlerin NZEB hedeflerinin Pasif Ev Sisteminin sınır değerlerini karşıladığı görülmektedir. Pasif Ev sertifika sistemi, yeni binalara yönelik olduğu gibi, EnerPHit adı ile mevcut binalara uygun versiyonu da bulunmaktadır.

Türkiye’deki mevcut yapı stokunun belirli sınır değerler çerçevesinde iyileştirilmesi, hem enerji kaynaklarının verimli kullanılması, hem kullanıcı ısı konforu, hem de kullanım maliyeti açısından uzun dönemde büyük katkı sağlayacaktır.

Bu sebeple bu çalışmada, EnerPHit sertifika sistemi sınır değerleri doğrultusunda bir binanın iyileştirilmesinin enerji ihtiyacı, geri dönüş süresi gibi farklı kriterler açısından değerlendirilmesine ve en uygun seçimin yapılmasına yönelik bir yaklaşım önerilmektedir. Çalışmada önerilen yaklaşım adım adım tariflenmiş, ardından İzmir ilinde mevcut bir bina üzerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçlar tek kriterli ve çok kriterli olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Pasif ev, EnerPHit, TOPSİS, deney tasarımı

A STATISTICAL APPROACH PROPOSAL FOR REHABILITATION OF EXISTING BUILDINGS ACCORDING TO PASSIVE HOUSE STANDARDS

ABSTRACT

Many problems such as rapid depletion of resources, economic crises, climate change, has led to the development of solutions for the efficient use of energy. In the building sector, it is seen that there are developments towards reducing energy consumption through studies such as legal regulations, certification systems, academic studies, incentive programs.

In Europe, legal mandates have been introduced through the Member States setting their own Nearly Zero Energy Building (NZEB) targets together with the Energy Performance of Buildings Directive. In this process, it is seen that the NZEB targets of some member states meet the limit values of the Passive House System. Passive House certification system is for new buildings as well as a version suitable for existing buildings with the name EnerPHit.

The improvement of the existing building stock in Turkey within the framework of certain limit values will make a great contribution in the long term in terms of efficient use of energy resources, thermal comfort, cost of use.

For this reason, in this study, an approach is proposed to evaluate the improvement of a building in terms of different results in line with the limit values of the EnerPHit certification system to make the most appropriate choice. The approach proposed in the study was described step by step and applied on an existing building in Izmir. The proposed method was applied and the results obtained were evaluated as single criteria and multi-criteria.

Keywords: Passive House, EnerPHit, TOPSIS, design of experiment

İÇİNDEKİLER

Sayfa

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLOLAR LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR	xvii

BÖLÜM BİR – GİRİŞ

1

1.1 Problemin Tanımlanması.....	3
1.2 Araştırmanın Hedefi ve Amaçları	4
1.3 Araştırmanın Yöntemi ve Kapsamı	6
1.4 Araştırmanın Çerçevesi	8

BÖLÜM İKİ – LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE YASAL DÜZENLEMELER

12

2.1 Binalarda Enerji Performansı Hakkında Literatür Araştırması	12
2.2 Avrupa’da Binalarda Enerji Performansı Hakkında Yasal Düzenlemeler	16
2.2.1 Avrupa Birliği’ne Üye Ülkelerin NZEB Hedefleri	20
2.2.2 Avrupa’da Binalarda Enerji Performansı Hakkında Yasal Düzenlemelerin Değerlendirilmesi	24
2.3 Türkiye’de Binalarda Enerji Performansı Hakkında Yasal Düzenlemeler	25
2.4 Deney Tasarımı ve Analizi Hakkında Literatür Araştırması	31

BÖLÜM ÜÇ – PASİF EV SERTİFİKA SİSTEMİ, EnerPHit SERTİFİKA SİSTEMİ VE DENEY TASARIMI KABUL VE TANIMLAMALARI 35

3.1 Pasif Ev Sertifika Sistemi	35
3.1.1 Yeni Yapılar İçin Pasif Ev Sertifika Sistemi	36
3.1.2 Mevcut Yapılar İçin Pasif Ev (EnerPHit) Sertifika Sistemi	39
3.1.2.1 EnerPHit Sertifika Sisteminde Belirtilen Yöntemler	40
3.1.2.2 EnerPHit Sertifikasına Sahip Yapıların Analizi Ve Değerlendirmesi	41
3.2. Binalarda Enerji Simulasyonu	56
3.2.1 Binalarda Enerji Performansı Simülasyon Programları	56
3.2.2 Simülasyon Modelinin Kalibrasyonu	59
3.3 İstatistiksel Deney Tasarımı	61
3.3.1 İstatistiksel Deney Tasarımının İlkeleri	66
3.3.2 İstatistiksel Deney Tasarımının Aşamaları	67
3.3.3 İstatistiksel Deney Tasarımının Türleri	67
3.3.3.1 Latin Karesi	68
3.3.3.2 Rassal Bölükler Tasarımı, Rassal Bölüntüler Tasarımı	68
3.3.3.3 İki-Yönlü ANOVA (Rasgele Tam Blok Tasarımı)	68
3.3.3.4 Bölünmüş Parseller Tasarımı	69
3.3.3.5 Faktöriyel Tasarımlar	69
3.3.3.5.1 Tam Faktöriyel Tasarımlar	70
3.3.3.5.2 Kısmi Faktöriyel Tasarımlar	70
3.3.4 Deney Tasarımında Ortogonal Dizayn	70
3.3.4.1 Deney Tasarımında Ortogonal Dizaynın Kullanıldığı Çalışmalar	72

BÖLÜM DÖRT – PASİF EV EnerPHit SERTİFİKASI ÇERÇEVESİNDE UYGUN SEÇİMİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK YAKLAŞIMIN TANIMLANMASI 77

4.1 Ortogonal Dizayn Yöntemi İle Deney Tasarımının Aşamaları	78
4.1.1 Sorunun tanınması ve ifadesi	81
4.1.2 Yanıt değişkeninin seçimi	82

4.1.3 Faktörlerin, seviyelerin ve aralıkların seçimi	83
4.1.4 Deneysel tasarım seçimi	83
4.1.5 Deneyin yapılması	93
4.1.6 Verilerin istatistiksel analizi	94
4.2 Maliyet Analizi	95
4.2.1 Geri Ödeme Süresi Yöntemi	97
4.2.2 Ortalama Yıllık Karın Yatırım Tutarına Oranı Yöntemi	98
4.3 Deney Sonuçlarının Analiz Edilmesi	99
4.3.1 Ana Etki (Main Effect) Yöntemi	99
4.3.2 TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) Yöntemi	102
4.3.2.1 TOPSIS Yönteminin Adımları	103
BÖLÜM BEŞ – ÖNERİLEN YAKLAŞIMIN İZMİR İLİNDE TEK KATLI BİR BİNA ÜZERİNDE UYGULANMASI	106
5.1 Seçilen Yapının Tanıtımı	107
5.1.1 Fiziksel Özellikleri ve Konumu	107
5.1.2 Malzeme Özellikleri	109
5.2 Modelin Oluşturulması ve Kalibrasyon	110
5.3 EnerPHit Sertifikalı Yapıların Analizi Sonucunda Uygulama İçin Malzeme Tipi ve Kalınlığı Seçimi	112
5.4 Ortogonal Dizayn Yöntemi İle Senaryoların Oluşturulması	114
5.5 Senaryoların Simülasyon Programı İle Uygulanması	118
5.6 Senaryoların Maliyet Analizi	121
5.6.1 Senaryoların Geri Ödeme Süresi Yöntemi ile Değerlendirilmesi	121
5.6.2 Senaryoların Ortalama Yıllık Karın Yatırım Tutarına Oranı Yöntemine Göre Değerlendirilmesi	125
5.7 Parametrelerin Etkin Düzeylerinin Belirlenmesi, Ana Etki (Main Effect) ile Değerlendirme	128
5.8 Senaryo Sonuçlarının TOPSİS Yöntemi ile Sıralanması	175
5.9 Sonuçların Değerlendirilmesi	209

BÖLÜM ALTI – SONUÇLAR VE ÖNERİLER 217

KAYNAKLAR 224

EKLER 237

EK 1: Ortogonal Dizi Algoritmaları..... 237

EK 2: Mevcut Bina Simulasyon Sonuçları 249



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Çalışmada izlenen yöntem	7
Şekil 1.2 Çalışmada izlenen adımlar	11
Şekil 2.1 2012 ve 2020 yılları arasında NZEB süreci	21
Şekil 2.2 Brüksel’de NZEB konut inşaatı ve toplam konut inşaatı oranları	22
Şekil 2.3 Türkiye’de 1990-2017 yılları arasında sektörlere göre enerji tüketimi	26
Şekil 2.4 Türkiye’de 1990-2017 yılları arasında mesken ve hizmetler enerji tüketimi	26
Şekil 2.5 TS 825’te derece gün bölgelerine göre illerimiz	29
Şekil 3.1 Pasif Ev kriterleri için oluşturulan şema	37
Şekil 3.2 Bina standartlarına göre yıllık enerji tüketimleri	38
Şekil 3.3 İncelenen yapıların yapı tipine göre dağılımları	47
Şekil 3.4 İncelenen yapıların enerji etkin iyileştirme yıllarına göre dağılımları	48
Şekil 3.5 İncelenen yapıların metrekaresine göre dağılımları	48
Şekil 3.6 İncelenen yapıların bulundukları ülkelere göre dağılımları	49
Şekil 3.7 Çatı, duvar ve zeminde kullanılan yalıtım malzemesi cinsi ve kullanım sıklığı	50
Şekil 3.8 İncelenen örneklerde ülkelere göre duvar U-değerleri $W/(m^2K)$	51
Şekil 3.9 İncelenen örneklerde ülkelere göre zemin U-değerleri $W/(m^2K)$	51
Şekil 3.10 İncelenen örneklerde ülkelere göre çatı U-değerleri $W/(m^2K)$	52
Şekil 3.11 İncelenen örneklerde pencere cam ve doğramalarına ait U-değerleri $(W/(m^2K))$	52
Şekil 3.12 İncelenen örneklerde yıllık m^2 başına ısıtma enerjisi ihtiyacı (kWh/m^2a)	53
Şekil 3.13 İncelenen örneklerde yıllık m^2 başına birincil enerji ihtiyacı (kWh/m^2a)	54
Şekil 3.14 Bilimsel çalışmalarda deney tasarım yöntemlerinin kullanılma sıklığı	63
Şekil 3.15 Çalışma alanlarına göre deney tasarım yöntemlerinin kullanılma oranları	64
Şekil 4.1 Önerilen yaklaşım akışı	77

Şekil 4.2 Deney tasarımı süreci ve aşamaları.....	81
Şekil 4.3 3 faktör 2 seviyeli ana etki grafiği	100
Şekil 5.1 Çalışmanın uygulama bölümünde izlenmiş olan yöntem	106
Şekil 5.2 Seçilen binanın planı.....	108
Şekil 5.3 Seçilen binanın güney cephesinden fotoğraflar	108
Şekil 5.4 Seçilen binanın DesignBuilder modeli	110
Şekil 5.5 Bina modelinin saatlik sıcaklık değerlerine göre kalibrasyonu	111
Şekil 5.6 Mevcut bina için enerji ihtiyaçlarının grafiksel gösterimi.....	112
Şekil 5.7 Çalışmada L16(4 ⁴) için kullanılmış olan plan	116
Şekil 5.8 Senaryolara ait enerji ihtiyacı değerleri	121
Şekil 5.9 Parametre düzeylerinin enerji tasarrufuna etkisini gösteren ana etki grafikleri	131
Şekil 5.10 Parametre düzeylerinin geri ödeme süresine etkisini gösteren ana etki grafikleri	133
Şekil 5.11 Parametre düzeylerinin ısıtma enerjisi ihtiyacına etkisini gösteren ana etki grafikleri	135
Şekil 5.12 Parametre düzeylerinin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranına etkisini gösteren ana etki grafikleri	137
Şekil 5.13 2. Set için parametre düzeylerinin enerji tasarrufuna etkisini gösteren ana etki grafikleri	142
Şekil 5.14 2. Set için parametre düzeylerinin geri ödeme süresine etkisini gösteren ana etki grafikleri	144
Şekil 5.15 2. Set için parametre düzeylerinin ısıtma enerjisi ihtiyacına etkisini gösteren ana etki grafikleri	146
Şekil 5.16 2. Set için parametre düzeylerinin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranını gösteren ana etki grafikleri	148
Şekil 5.17 3. Set için parametre düzeylerinin enerji tasarrufuna etkisini gösteren ana etki grafikleri	154
Şekil 5.18 3. Set için parametre düzeylerinin geri ödeme süresini gösteren ana etki grafikleri.....	156
Şekil 5.19 3.Set için parametre düzeylerinin ısıtma enerjisi ihtiyacını gösteren ana etki grafikleri.....	158

Şekil 5.20 3. Set için parametre düzeylerinin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranını gösteren ana etki grafikleri 160

Şekil 5.21 TOPSİS yöntemi ile performans puanlaması yapılmış tüm senaryolar..213



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Üye ülkelerin NZEB tanımlamaları ve kabulleri	23
Tablo 2.2 TS 825'e göre ele alınan 4 yapı elemanı için duvar, çatı, döşeme ve pencereler için U değerleri gereklilikleri	30
Tablo 3.1 Yöntem 1; EnerPHit-Standardı, yapı bileşeni U-değerleri kriterleri yöntemi	40
Tablo 3.2 Yöntem 2; EnerPHit Standardı, enerji talebi yöntemi	40
Tablo 3.3 İncelenen EnerPHit sertifikası almış 34 yapı	42
Tablo 3.4 Binalarda Enerji Performansı Simülasyon Programlarından Başlıcalarının Karşılaştırması	57
Tablo 4.1 L16 (4 ⁴) Ortogonal dizisine ait deney kombinasyonları	86
Tablo 4.2 Farklı faktör-seviye sayıları için oluşturulmuş deney seti sayıları	88
Tablo 4.3 Dört faktör dört seviyeli veri seti.....	89
Tablo 4.4 Dört faktör dört seviyeli veri setine ait deney planı.....	90
Tablo 4.5 Beş faktör sekiz seviyeli veri seti	91
Tablo 4.6 Beş faktör sekiz seviyeli veri setine ait deney planı	92
Tablo 5.1 Mevcut binanın malzeme özellikleri.....	109
Tablo 5.2 Kalibrasyon sonucunda elde edilen RMSE ve MBE değerleri.....	111
Tablo 5.3 Mevcut bina için enerji ihtiyaçları	112
Tablo 5.4 Çalışmada kullanılacak malzemelerin özellikleri, kalınlıkları	113
Tablo 5.5 Çalışmanın uygulama aşamasında kullanılan “İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik-Araç Gereç Rayiç Listeleri” ne göre yatırım maliyetleri	114
Tablo 5.6 Senaryoların oluşturulması amacıyla hazırlanan parametreler ve seviyeleri	115
Tablo 5.7 Elde edilen senaryoların düzeyleri ve kullanım kombinasyonları.....	117
Tablo 5.8 Senaryolardaki düzeylerin Design Builder Programına aktarılan karşılıkları ve elde edilen yapı bileşeni U-değerleri	119
Tablo 5.9 Senaryolara ait enerji ihtiyacı değerleri	120
Tablo 5.10 Senaryolara ait enerji ihtiyacı ve yatırım tutarı değerleri	122

Tablo 5.11 1 Ocak 2021 Tarihinden İtibaren Uygulanan Faaliyet Bazlı Elektrik Tarifesi	124
Tablo 5.12 Senaryolara ait geri ödeme süreleri ve öncelik sıraları	126
Tablo 5.13 Senaryolar için ortalama karlılık oranları ve öncelik sıralamaları	127
Tablo 5.14 Çalışmanın uygulama aşamasında kullanılan “İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik-Araç Gereç Rayiç Listeleri” ne göre yenilenen maliyet analizleri	128
Tablo 5.15 Parametrelerin enerji tasarrufuna etkisini belirlemek için oluşturulan ANOVA tablosu	129
Tablo 5.16 Sonuçların enerji tasarrufu açısından değerlendirilmesi.....	130
Tablo 5.17 Enerji tasarrufu açısından en etkin kombinasyon	131
Tablo 5.18 Sonuçların geri ödeme süresi açısından değerlendirilmesi.....	132
Tablo 5.19 Geri ödeme süresi açısından en etkin kombinasyon.....	133
Tablo 5.20 Sonuçların ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından değerlendirilmesi	134
Tablo 5.21 Isıtma enerjisi ihtiyacı açısından en etkin kombinasyon	135
Tablo 5.22 Sonuçların ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından değerlendirilmesi	136
Tablo 5.23 Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından en etkin kombinasyon	137
Tablo 5.24 2. Sete ait senaryoların düzeyleri ve kullanım kombinasyonları.....	138
Tablo 5.25 2. Sete ait senaryolardaki düzeylerin Design Builder programına aktarılan karşılıkları ve elde edilen yapı bileşeni U-değerleri	139
Tablo 5.26 2. Sete ait senaryoların enerji ihtiyacı değerleri	140
Tablo 5.27 2. Sete ait sonuçların enerji tasarrufu açısından değerlendirilmesi	141
Tablo 5.28 2. Sete enerji tasarrufu açısından en etkin kombinasyon.....	142
Tablo 5.29 2. Sete ait sonuçların geri ödeme süresi açısından değerlendirilmesi....	143
Tablo 5.30 2. Set için geri ödeme süresi açısından en etkin kombinasyon.....	144
Tablo 5.31 2. Sete ait sonuçların ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından değerlendirilmesi	145
Tablo 5.32 2. Sete ait ısıtma enerjisi açısından en etkin kombinasyon.....	146
Tablo 5.33 2. Sete ait sonuçların ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından değerlendirilmesi	147

Tablo 5.34 2. Set için ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından en etkin kombinasyon	148
Tablo 5.35 3. Sete ait senaryoların düzeyleri ve kullanım kombinasyonları	149
Tablo 5.36 3. Sete ait senaryolardaki düzeylerin Design Builder programına aktarılan karşılıkları ve elde edilen yapı bileşeni U-değerleri	150
Tablo 5.37 3. Sete ait senaryoların enerji ihtiyacı değerleri	152
Tablo 5.38 3. Sete ait sonuçların enerji tasarrufu açısından değerlendirilmesi	153
Tablo 5.39 3. Sette enerji tasarrufu açısından en etkin kombinasyon.....	154
Tablo 5.40 3. Sete ait sonuçların geri ödeme süresi açısından değerlendirilmesi ...	155
Tablo 5.41 3. Set için geri ödeme süresi açısından en etkin kombinasyon.....	156
Tablo 5.42 3. Sete ait sonuçların ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından değerlendirilmesi	157
Tablo 5.43 3. Sete ait ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından en etkin kombinasyon	158
Tablo 5.44 3. Sete ait sonuçların ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından değerlendirilmesi.....	159
Tablo 5.45 3. Sete ait ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından en etkin kombinasyon	160
Tablo 5.46 Tüm senaryoların sonuçları ve ele alınan kriterler açısından en iyi senaryolar	162
Tablo 5.47 Birinci 16'lı set için seçilen ortogonal dizide parametre ve düzey kombinasyonları	175
Tablo 5.48 Karar matrisinin oluşturulması	176
Tablo 5.49 Bağlı değerlerin hesaplanması	177
Tablo 5.50 Normalleştirme (Verilerin BD 'lere bölünerek 0-1 arası değerlere dönüşümü)	178
Tablo 5.51 Pozitifleştirme (Değerlerin inceleme havuzuna katkılarının ortak ve pozitif hale getirilmesi)	179
Tablo 5.52 Negatif ideal çözüme uzaklıkların hesaplanması (d-)... ..	180
Tablo 5.53 Pozitif ideal çözüme uzaklıkların hesaplanması (d+)	181
Tablo 5.54 Performans puanlarının hesaplanması ve sıralama.....	182
Tablo 5.55 İlk 16'lı set sonucunda en iyi performansa sahip senaryo	183

Tablo 5.56 2. 16'lı set için seçilen ortogonal dizide parametre ve düzey kombinasyonları	184
Tablo 5.57 2. Set için karar matrisinin oluşturulması	184
Tablo 5.58 Performans puanlarının hesaplanması ve sıralama	185
Tablo 5.59 İkinci 16'lı set sonucunda en iyi performansa sahip senaryo	185
Tablo 5.60 3. 16'lı set için seçilen ortogonal dizide parametre ve düzey kombinasyonları	186
Tablo 5.61 3. Set için karar matrisinin oluşturulması	186
Tablo 5.62 Performans puanlarının hesaplanması ve sıralama	187
Tablo 5.63 Üçüncü 16'lı set sonucunda en iyi performansa sahip senaryo	188
Tablo 5.64 Tüm senaryolar için TOPSIS karar matrisi	189
Tablo 5.65 Tüm senaryolar için performans sıralamaları	197
Tablo 5.66 Tüm senaryoların sonucunda en iyi performansa sahip senaryo	209
Tablo 5.67 3 set için ve tüm kombinasyonlar için TOPSİS sonuçları	214

KISALTMALAR

BE	: Belçika
BEP	: Binalarda Enerji Performansı
BG	: Bulgaristan
CC	: Contingency Coefficient
CY	: Kıbrıs Rum Kesimi
DE	: Almanya
DK	: Danimarka
DOE	: Deney tasarımı
EKB	: Enerji Kimlik Belgesi
EPBD	: Binalarda Enerji Performansı Direktifi
EPS	: polistiren köpük
ESP-r	: Energy Simulation Software tool
EU	: Avrupa Birliği
FR	: Fransa
FY	: Finlandiya
HU	: Macaristan
IDA ICE:	Indoor Climate Energy
IE	: İrlanda
IES-VE	: Integrated Environmental Solutions – Virtual Environment
LCA	: Yaşam döngüsü analizi

LCC	: Yaşam döngüsü
LT	: Litvanya
MBE	: Mean Bias Error
MFR	: eriyik akış hızı
NL	: Hollanda
NNG	: Net nakit girişı
NZEB	: Neredeyse Sıfır Enerjili Bina
PHPP	: Passive House Plannig Packet
PIR	: Polisoziyanat
PUR	: Poliüretan
RMSE	: Root Mean Squared Error
SE	: İsveç
SK	: Slovakya
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
UK	: Birleşik Krallık
XPS	: Ekstrude polistren köpük

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Gelecek nesillerin devamını konforlu bir şekilde sağlayabilmek için mevcut kaynakları etkin ve verimli kullanacak çözümler üretmek gerekmektedir. Bu çözümlerin önemli bir kısmını, insanların yaşamlarını sürdürdüğü ve dünya üzerindeki enerjinin en fazla tüketiminin olduğu yapılarda uygulamak mümkündür. Bu amaçla mimarlık alanında hem çevreyi en az etkileyecek, hem de yenilenebilir kaynaklardan en büyük oranda faydalanılabilecek çözümler geliştirilmiştir. Gelecek nesiller için bugünkü çevre şartlarının korunduğu ve iyileştirildiği, az enerji tüketen yapıların tasarlandığı, sürdürülebilir bir yaşam bırakmak durumundayız (Aşıkoğlu ve Altın, 2016).

Hızlı nüfus artışı ve gelişen teknoloji ile birlikte ortaya çıkan ve giderek artan çevresel sorunlar, ekonomik krizler ve insanların kontrolsüz tüketim alışkanlıkları, sürdürülebilirliği bir gereklilik haline getirmektedir. Günümüzde sürdürülebilirlik, farklı bilim dalları içerisinde önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, dünyadaki enerji ve hammadde tüketiminin neden olduğu çevresel sorunların büyük bir kısmı binalardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bina tasarımında sürdürülebilirlik kavramı giderek artan bir öneme sahip olmuştur. Son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar ile sürdürülebilir bina tasarımına ilişkin hedef ve stratejiler belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu bilimsel çalışmalarda ortaya çıkan öngörü ve sonuçların yasal düzenlemeler haline getirilmesi ile çevresel, toplumsal ve ekonomik yararların artırılması hedeflenmektedir (Karaça ve Cetintaş, 2015).

Dünya genelinde, inşaat sektörü ürünü olarak kabul edilen binaların toplam sera gazı emisyonlarının % 40'ından sorumlu olduğu ifade edilmektedir (UNEP ve AB). Bina tasarımı, ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını etkileyen iklim farklılıkları nedeniyle bu oran bölgelere göre değişmektedir. Bir diğer konu ise binalar arası ulaşım için kullanılan araçların sera gazı salımlarının da göz önünde bulundurulması gerekliliğidir (Bütünleşik Bina Tasarım Yaklaşımı Uyarlama Raporu, 2016). Bu sebeple binalarda

enerjiyi etkin ve verimli kullanacak çözümler üretilmesi, tasarımların ve yenilemelerin yapılması; sürdürülebilirlik açısından önem taşımaktadır.

Binalarda enerjiyi etkin kullanmak amacıyla yapılan tasarımlarda; tükenebilen kaynakların kullanımını en aza indirmek, yenilenebilir kaynaklardan enerjiyi sağlamak önem taşımaktadır. Ayrıca; çevre kirliliğinin azaltılarak ekolojik dengenin korunması da dikkat edilmesi gereken önemli hususlardandır. Pasif iklimlendirmeden yararlanıldığında, enerji tüketimini azaltmak mümkün olduğu gibi pahalı ve kıt olan fosil yakıt tüketimi azaltılıp, dünyada ekolojik dengenin de korunması sağlanmış olacaktır.

Bu doğrultuda çalışmada; enerjiyi etkin ve verimli kullanmak amacıyla geliştirilen mimaride pasif sistem kavramı, yeni yapılacak binalarda ve mevcut binalarda kullanımı konularında yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Literatür incelemesi yapılırken, Avrupa’da ve ülkemizde bu alanda yapılmış yasal düzenlemeler incelenmiştir. İnceleme sonunda tezin amaç, kapsam ve yöntemi oluşturulmuştur.

Çalışmanın birinci bölümünde; problemin tanımlanması, araştırmanın hedefi ve amaçları, araştırmanın yöntemi ve kapsamı, araştırmanın çerçevesi ortaya konulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatür araştırması kapsamında; binalarda enerji verimliliği, performansı ve enerji etkin yenileme üzerine literatür araştırması, binalarda enerji performansı ve retrofiti hakkında direktifler ve sertifika sistemleri, Türkiye’de binalarda enerji tüketimi ve mevcut yapı stoku konuları ele alınmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde yaklaşım hakkında bilgi aktarımında bulunmak amacıyla; Pasif Ev sertifika sistemi, binalarda enerji simülasyonu ve kalibrasyonu EnerPHit sertifika sisteminde belirtilen yöntemler ortaya konmuştur. Çalışmanın bu bölümünde ayrıca; Deney Tasarımı ilkeleri, aşamaları ve türleri açısından irdelenmiş, çalışmada kullanılacak olan ortogonal dizaynın kullanıldığı çalışmalar hakkında bir literatür araştırması yapılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde; Pasif Ev EnerPHit Sertifikası çerçevesinde uygun seçimin belirlenmesine yönelik yaklaşımın tanımlanması yapılmıştır. Bu bölümde; çalışmada önerilen yaklaşım adım adım tariflenmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde ise; dördüncü bölümde belirtilen yaklaşımın İzmir ilinde bir model üzerinde uygulanması amacıyla, seçilen yapının tanıtımı, modelin oluşturulması ve kalibrasyonu, EnerPHit sertifika sisteminde belirtilen değerler çalışmanın sınırlarını oluşturacak biçimde deney tasarımı yöntemi uygulanarak senaryolar oluşturulmuştur. Bu bölümde oluşturulan senaryolar (veri seti) kalibre edilmiş mevcut yapı üzerinde denenmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

1.1 Problemin Tanımlanması

Mevcut bina stokunun büyük bir kısmı, geleneksel yöntemlerle inşa edildiğinden, ısıtma ve soğutmada kullanılan enerji tüketimi, projelendirme ve uygulama aşamasında büyük çoğunlukla dikkate alınmamıştır. Günümüzde enerji tüketimi sürdürülebilir bir yaşam için önem kazandığından, binaların enerji tüketimini en aza indirmek amacıyla; dünyada geliştirilen yöntem çözüm ve tekniklerin incelenip, özellikle İzmir'in bulunduğu iklim kuşağında, enerji odaklı iyileştirmelerin enerji tasarrufuna etkisinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Uluslararası ve ulusal düzeyde, binalarda enerjiyi etkin ve verimli kullanmayı hedefleyen politikalar oluşturulmuştur. Dünyada neredeyse sıfır enerjili binalar, artı enerjili binalar, pasif evler gibi kavramların gerek bilimsel yayın olarak gerekse uygulanmış bina olarak oldukça güncel ve yaygın durumda olduğu görülmektedir. Türkiye'de ise yürürlüğe giren yönetmelikler, oluşturulan politikalar ve kullanılan sertifika sistemleri günümüzde yaygınlaşamamış ve uygulamaya yaygın olarak konulamamıştır.

Bu sebeple, dünyada az enerji tüketen yapılar olarak bilinen ve hızla yaygınlaşan Pasif Ev kavramının, Türkiye'de enerjinin verimli kullanımı açısından yetersiz kalan mevcut yapı stoku üzerinde uygulanması üzerine yöntemlerin değerlendirilmesi ve bu

yöntemler ile ulaşılabacak sonuçların ortaya konması amaçlanmıştır. Pasif Ev kavramının Türkiye’de yaygın olarak tartışılmayıp uygulanmamasının sebebinin, bu konudaki bilimsel çalışmaların eksikliği, yaklaşım belirlenmesinde oluşan sorunlar ve ön görülemeyen ilk yatırım maliyeti ve uygulama sonrası kazanılacak enerji tasarrufunun etkin düzeyde hesaplanamamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çalışmalarda kullanılan parametreler ve parametre düzeylerinin çok olması yüzlerce hatta binlerce simülasyon yapılmasını gerektirdiği için zaman ve maliyet açısından olumsuzluk oluşturmaktadır. Hedeflenen sonuca ulaşmak için yapılan deneme sayısının artması hata ihtimalini de arttırmaktadır. Bu sebeple araştırmacılar ya uzun bir süreçte parametre kombinasyonlarını denemekte ya da sezgisel seçimler yapmaktadırlar.

Çalışmada İzmir ilinde EnerPHit kriterlerine uygun enerji etkin iyileştirme yapılmasının metodolojisi ve kullanılan malzemelerin maliyetini esas alan, deney tasarımı ve analizini esas alan yöntem seçimi üzerinde durulmuştur.

1.2 Araştırmanın Hedefi ve Amaçları

Bu çalışma kapsamında öncelikle; Avrupa’da ve Türkiye’de binalarda enerji verimliliği konusunda yapılmış düzenlemeler araştırılıp, Avrupa’da ve Türkiye’de enerji görünümü, kullanımı, bu konudaki yasa, yönetmelik, direktif ve sertifika sistemlerinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu araştırma kapsamında, Avrupa’da binalarda enerjiyi etkin kullanma konusunda yaşanan gelişmeler ve oluşturulan politikalar incelenerek, Türkiye için mevcut durum üzerinden çıkarımlarda bulunulacaktır.

Avrupa’da neredeyse sıfır enerjili binalara ulaşma amacıyla yayınlanan direktiflere paralel olarak; büyük oranda enerji tasarrufu sağlayan Pasif Ev kavramı hakkında literatürde teorik çalışmalar yapılmakta ve Pasif Ev sertifikalı yapılar inşa edilmektedir. Pasif Ev kavramı 1990’lı yıllardan günümüze Avrupa’da yaygınlaşan, neredeyse sıfır enerji tüketen binaların inşa edilmesini ve bu amaçla iyileştirilmesini sağlayan bir sertifika sistemidir. Dünya üzerinde 4000’in üzerinde sertifikalanmış,

25000'in üzerinde sertifikalanmamış Pasif Ev bulunmasına rağmen Türkiye'de yalnızca 2 adet sertifikalı Pasif Ev bulunmaktadır. Yapılan literatür araştırmasında; Pasif Ev'in Türkiye'de yaygınlaşmama sebepleri arasında, kullanılacak yöntemlerin seçiminin belirsizliği ve maliyet bilinmezliği yer almaktadır.

Bu çalışmada öncelikle, enerji tüketim düzeyleri yüksek olan mevcut yapılarda kullanılan Pasif Ev sertifikası olan EnerPHit sertifikasına göre enerji etkin iyileştirme aşamalarında uygulanabilecek yöntemleri teorik olarak ortaya koymak amaçlanmıştır. Pasif Ev Enstitüsü; EnerPHit sertifikası kriterlerinin sağlanması için; “Yapı bileşeni U değerleri yöntemi” veya “Enerji talebi yöntemi” seçeneklerinden birinin sağlanmasının yeterli olacağını belirtmektedir. Bu sebeple; çalışmada her iki yöntemin hedeflerinin tanıtılması, mevcut bir binaya uygulanma yöntemlerinin adım adım teorik olarak aktarılması hedeflenmiştir.

Pasif Ev EnerPHit sertifika sisteminin belirlediği enerji tüketim değerleri çalışmanın sınır değerlerini oluşturacaktır. Bu doğrultuda, sınır tüketim değerlerinin altında kalan, bina yapı elemanlarını yalıtım düzeyi kombinasyonlarının Design Builder simülasyon programı kullanılarak tüketim değerlerine ulaşmak ve kullanılan malzemelerin özellikleri, yatırım maliyeti, enerji tüketim değeri arasındaki ilişkiyi yorumlamak yolunda, her binaya uygulanabilecek bir yöntem önerisi geliştirilmek istenmiştir. Bu doğrultuda her parametrenin (duvar, zemin, çatı, pencere) farklı düzeylerde (yalıtım kalınlığı) kombinasyonun denenmesi yüzlerce deneme yapılması gerekliliğini doğurmaktadır. Çok sayıda deneme yapmak; zaman, maliyet, hata ihtimali ve uygulanabilirlik kolaylığı açısından olumsuzluklara sebep olduğu için, yapılacak simülasyon sayısını pek çok bilimsel alanda kabul görmüş istatistiksel metotlarla azaltmak amaçlanmıştır. Çalışmada, bir binanın Pasif Ev EnerPHit sertifikasına sahip olabilmesi için, kullanıcıya geleneksel yollara göre daha pratik, zamandan ve maliyetten tasarruf eden ve güvenilir sonuca ulaşmasını sağlayan yaklaşım önerilmesi amaçlanmıştır. Yaklaşım kısmında, önerilen yöntemle ilgili teorik aktarımlarda bulunulacaktır.

Çalışmanın uygulama aşamasında ise; dünyada yaygın olarak kullanılan, Pasif Ev Enstitüsü'nün mevcut yapıların iyileştirilmesi hedefiyle geliştirdiği EnerPHit sertifikasının; Türkiye'de oldukça fazla sayıda olan enerji performansı düşük mevcut yapılar üzerinde kullanılması ortaya konulacak olup; örnek bina üzerinden uygulamalı olarak olası enerji tasarrufu sonuçları ve yatırım maliyetleri hesaplanıp değerlendirilecektir. Bu aşamada, yaklaşım kısmında açıklanmış olan deney tasarım yöntemi kullanılarak, simülasyon sayıları azaltılacaktır.

Sonuç olarak; çalışmanın önceki bölümlerinde teorik olarak aktarılan yaklaşımın adım adım örnek bir bina üzerinde uygulanması doğrultusunda; enerji performansı/maliyet açısından uygun olan alternatifin belirlenmesi, elde edilen sonuçların karşılaştırılması ve kullanıcıya zaman ve maliyet açısından katkı sağlayan bir yöntem önerilecektir.

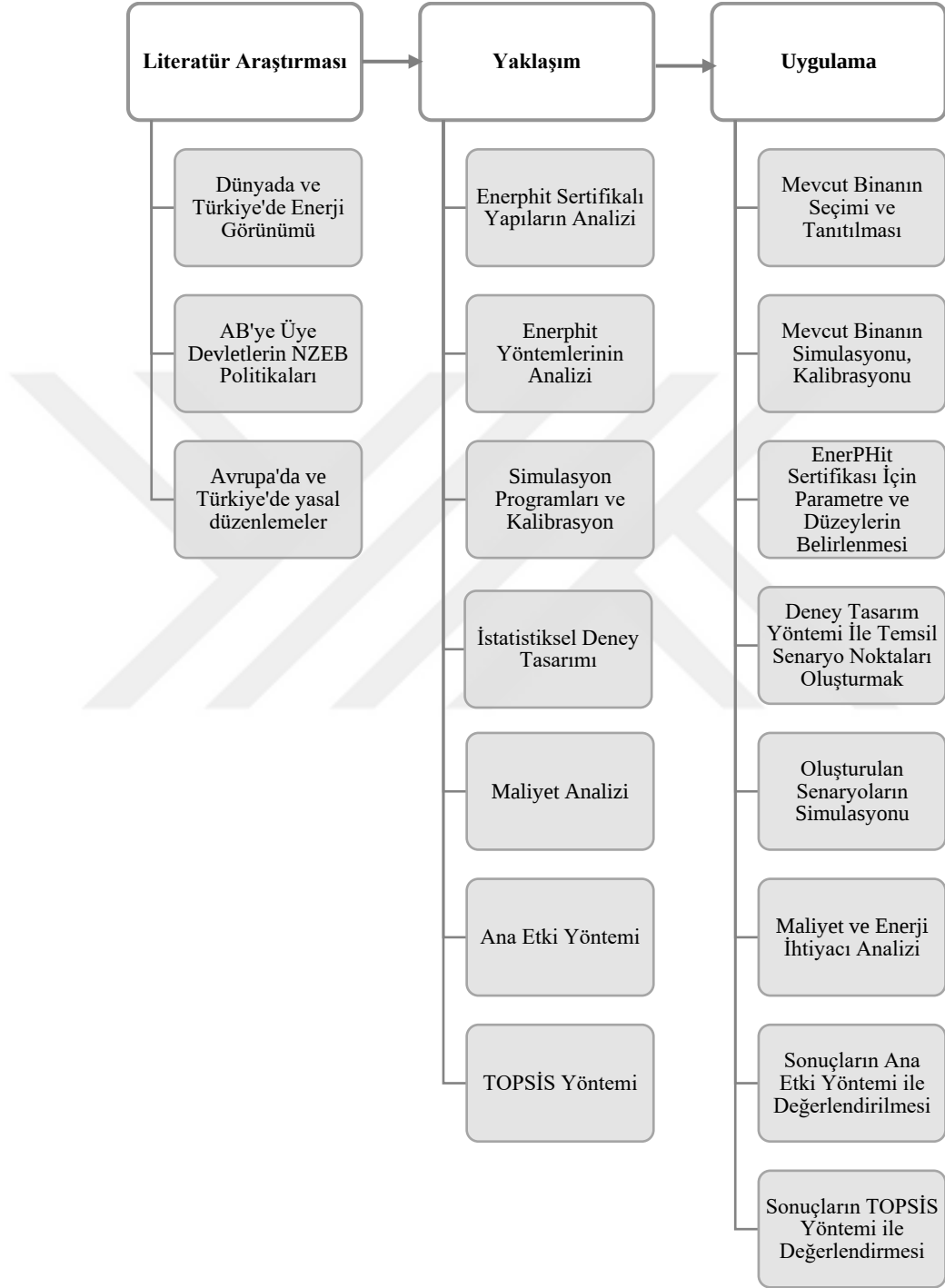
1.3 Araştırmanın Yöntemi ve Kapsamı

Çalışmanın birinci bölümünde; amaç, kapsam yöntem, problem tanımı ve araştırmanın çerçevesi açıklanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde; Avrupa'da ve Türkiye'de binalarda enerji tüketimi ve verimliliği hakkında geliştirilen yasal düzenlemeler ele alınmıştır. Bu kapsamda yasal düzenlemeler, direktifler, sertifika sistemleri araştırılmıştır. Dünyada ve Türkiye'de mevcut yapı stokunun enerji tüketimi ve mevcut yapılara yönelik enerji retrofiti çalışmaları da ortaya konmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; çalışmada izlenecek yaklaşım teorik olarak açıklanmıştır. Bu bölümde ilk olarak; çalışmada esas alınan Pasif Ev sertifika sistemi; yeni yapılarda ve mevcut yapılarda uygulanma (EnerPHit) yöntemleri açısından ortaya konmuştur. EnerPHit sertifika sisteminin kriterleri aktarılmıştır. Bu aşamada; dünyada incelenen dönemde EnerPHit sertifikası almış tüm yapılar; yapım yeri, yapı tipi, metrekaresi, yapım sistemi, yapı bileşenlerinde kullanılan malzemeler ve U değerleri, kullanılan mekanik sistemler, toplam yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi

ihtiyaçları vb. parametreler açısından incelenip Excel programı kullanılarak tablolastırılmış ve analiz edilmiştir.



Şekil 1.1 Çalışmada izlenen yöntem

Dünyada bu alanda yaygın olarak kullanılan simülasyon programları ve çalışmanın uygulama aşamasında kullanılacak olan simülasyon programı tanıtılmıştır. Ayrıca bir yapının simülasyonun yapılmasında; gerçekliğe en yakın sonuçları vermesi için kullanılan kalibrasyon yöntemleri ve bu çalışmada kullanılan kalibrasyon yöntemi teorik olarak aktarılmıştır.

Çalışmada önerilen yaklaşımın teorik olarak aktarıldığı dördüncü bölümde; deney tasarımının aşamaları, maliyet analizi ve yatırım tercihine yönelik geri ödeme süresi yöntemi ve ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı yöntemleri açıklanmıştır. Ayrıca; senaryoların sonuçlarının değerlendirilmesine yönelik iki farklı yöntem açıklanmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde; üçüncü bölümde yapılmış olan “EnerPHit sertifikalı yapıların analizi” sonucunda, bu sertifikayı almış yapılara benzer nitelikte bir yapı çalışmada yaklaşımın uygulama örneği olarak seçilmiştir. Bu yapının fiziksel ve malzeme özellikleri tanıtılmıştır. Seçilen yapının Design Builder programı kullanılarak simülasyonu ve gerçeğe en uygun hale getirmek için kalibrasyonu yapılmıştır. Model kalibre edildikten sonra mevcut durumun enerji tüketim değerlerine ulaşılmıştır. Bu aşamadan sonra EnerPHit kriterleri çerçevesinde, deney tasarım yöntemi kullanılarak temsil noktaları (senaryolar) oluşturulmuş ve yatırım maliyeti-enerji tüketimi açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. İlk olarak bir deney tasarım seti kullanılarak faktörlerin belirlenen sonuçlara etki dereceleri ve en etkin oldukları düzeyler belirlenmiştir. İkinci olarak ise, iki farklı deney setinin sonuçlarının bütüncül değerlendirmesi ile performans sıralaması yapılmıştır. Ayrıca tüm senaryo kombinasyonlarının simülasyonları ve maliyet analizleri yapılmış, analizler sonucunda elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.

1.4 Araştırmanın Çerçevesi

Çalışmanın birinci bölümde; amaç, kapsam yöntem, problem tanımı ve araştırmanın çerçevesi açıklanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde; kapsamlı bir literatür araştırması yapılması amaçlanmıştır. Bu bölümde; geçmişten günümüze dünyada ve Türkiye’de bu konuyla ilgili geliştirilen yasa, yönetmelik, direktif ve sertifika sistemlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Dünyada ve Türkiye’de enerji üretim ve tüketimi ile ilgili düzenlemelerin yıllara göre gelişimi ortaya konmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; ilk olarak Pasif Ev ve EnerPHit sertifikaları hakkında bilgi aktarımı yapılacaktır. Daha sonra; çalışmanın ilerleyen bölümlerinde önerilen yaklaşımın uygulanması için belirlenen örnek binanın seçiminde ve iyileştirilmesinde yararlanılmak üzere EnerPHit sertifikalı yapılar belirlenen parametreler doğrultusunda incelenmiştir. Çalışmanın devamında; binalarda enerji tüketimi verilerine ulaşılmasını sağlayan simülasyon programları ve bu çalışmada kullanılan Design Builder programı tanıtılacak, kalibrasyon yöntemleri aktarılacaktır. Bu bölümde son olarak; Pasif Ev Enstitüsü tarafından iki seçenekli olarak belirtilen EnerPHit sertifikası yöntemlerinin kriterleri tanıtılacaktır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde ise önerilen yaklaşım hakkında bilgi aktarımı yapılmıştır. Önerilen yaklaşım; tüm aşamalarının detaylı teorik aktarımını içeren bir bölüm altında aktarılmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde; üçüncü bölümde tanıtılan yöntem seçilen binaya uygulanmıştır. Çalışmanın devamında EnerPHit yöntemlerinin maliyet analizleri yapılacaktır. Sonuç olarak çalışmada, mevcut bir binanın EnerPHit sertifikası kriterleri çerçevesinde retrofiti yapılırsa, kullanıcının; maliyet ve enerji etkinlik açısından seçim yapmasını kolaylaştıran bir yöntem önerisi ve değerlendirmesi yapılmıştır.

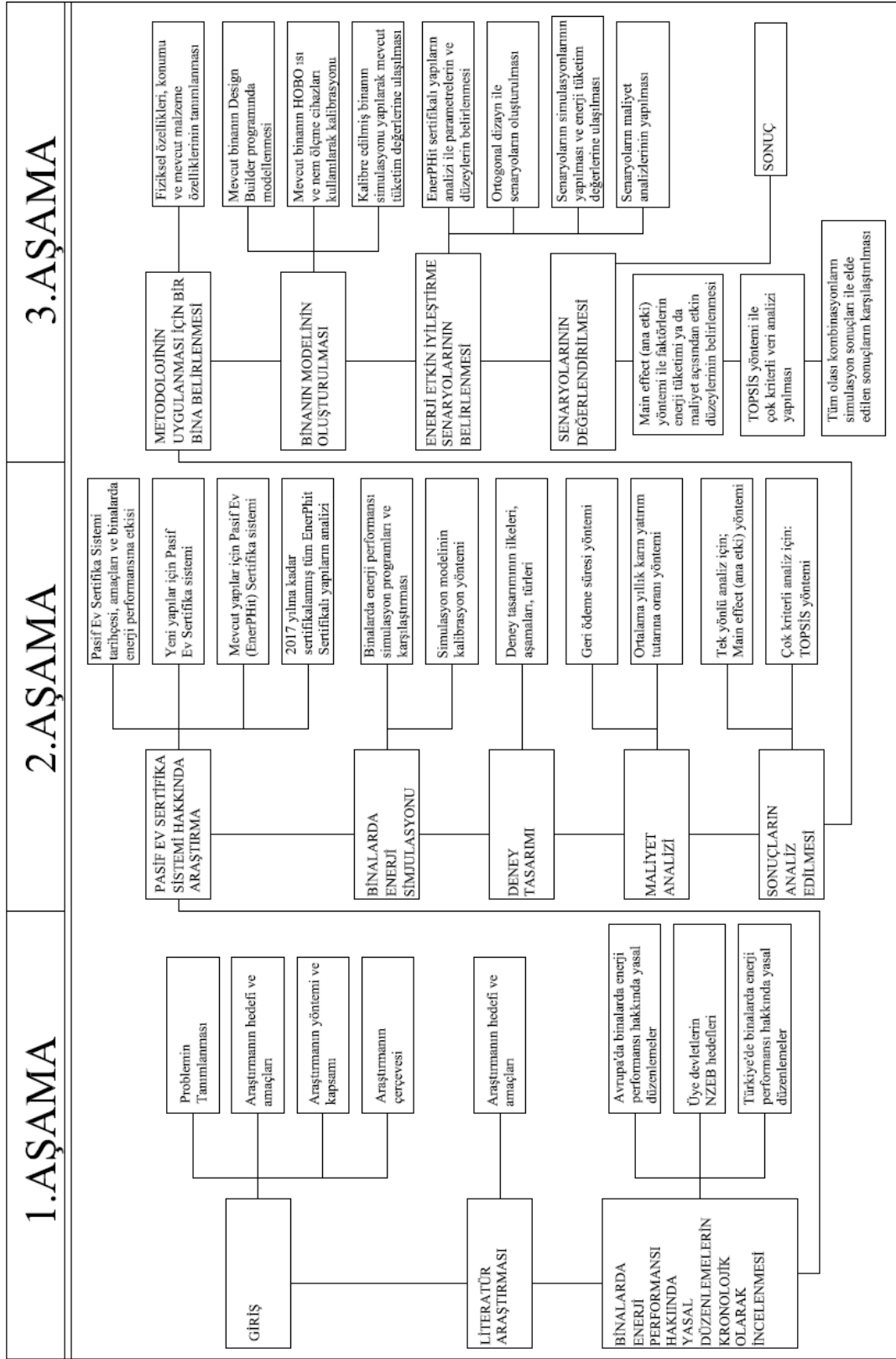
Bu çalışmanın sınırları;

- Araştırma Pasif Ev Sertifika Sisteminin mevcut bir yapıya uygulanması (EnerPHit), yöntemi ve sonuçlarını kapsamaktadır.
- Çalışmada kullanıcıya, geleneksel yollardan farklı olarak, zaman ve maliyet açısından olumluluklar sağlayan, sonuca hızlı ulaşmayı sağlayan ve

yorumlamayı kolaylaştıran istatistiksel bir yaklaşımla senaryo sayısının azaltılmasını,

- Parametrelerin sonuç üzerindeki etki derecelerini ve en etkin düzeyinin belirlenmesini,
- Tüm kriterleri ele alarak değerlendirme sağlayan bir yöntemle performans sıralaması yapılmasını kapsamaktadır.
- Çalışma İzmir iklim verileri üzerinden yürütülmüştür,
- Çalışmanın uygulaması 94,9 metrekare alana sahip tek katlı bir konut yapısı üzerinden denenmiştir,
- Çalışmada parametreler ve yalıtım düzeyleri EnerPHit sertifika sistemi sınır değerleri esas alınarak belirlenmiştir.

Özetlenecek olursa, çalışma genel olarak üç adımdan oluşmaktadır. İlk adımda çalışmanın hedef ve kısıtları belirlenmiş, problem tanımlanmıştır. Daha sonra konuyla ilgili yapılan çalışmalar literatür araştırması yapılarak incelenmiştir. Türkiye’de ve Avrupa’da binalarda enerji performansı ile ilgili düzenlemeler kronolojik olarak araştırılmıştır. İkinci adımda, binalarda enerji performansını arttırmak amacıyla geliştirilmiş bir sertifika sistemi olan Pasif Ev Sertifika sistemi, kazanımları ve sınırları incelenmiştir. Türkiye’de uygulanması durumunda getirdiği kazanımları ön görmek için biri Türkiye’de bulunan Pasif Ev EnerPHit sertifikalı yapılar kapsamlı olarak incelenip analiz edilmiştir. 2. Adımda ayrıca Türkiye’de EnerPHit sertifikasına uygun enerji etkin iyileştirme yapılmasına yönelik enerji ve maliyet etkin iyileştirme senaryosunun seçilmesine yönelik bir yöntem önerilmiş ve bu yönteme ait adımlar açıklanmıştır. 3. adımda ise önerilen yöntem, İzmir ilinde mevcut bir binada uygulanmış ve modelin uygulanabilirliği ve etkinliği saptanmıştır. Çalışmada izlenen adımlar şematik olarak Şekil 1.2’de gösterilmektedir.



Şekil 1.2 Çalışmada izlenen adımlar

BÖLÜM İKİ

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE YASAL DÜZENLEMELER

Sanayi devriminin başlamasıyla birlikte, enerjiye duyulan ihtiyacın önemi de ortaya çıkmıştır. Sanayileşme arttıkça enerjiye duyulan ihtiyaç daha da artmıştır. Bu süreçte, enerji ihtiyacı fosil yakıtlardan karşılanarak, pahalı, çevreye zararlı, karbon emisyonu yüksek enerji üretimi ve tüketimi yapılmıştır. 1950’li yıllardan sonra nükleer enerjinin üretimi ve tüketimi büyük ölçüde yaygınlaşmıştır. Bu yollarla enerji üretiminin çevreye verdiği zararlar ortaya çıktıktan sonra, enerjide sürdürülebilirlik kavramı geliştirilmiş, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji gibi yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi ağırlık kazanmıştır. Yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjinin, artan enerji ihtiyacını karşılayamaması tartışılmaya başlanınca, farklı disiplinlerde enerjiyi daha etkin ve verimli kullanmaya yönelik çözümler geliştirilmeye başlanmıştır.

Bu süreçte, üretilen enerjinin yaklaşık %40’ının tüketildiği bilinen bina sektöründe, enerjinin etkin ve verimli kullanılmasını sağlayacak enerji tasarrufu yüksek mimari çözümler geliştirilip uygulanmaya başlanmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde; Binalarda Enerji Verimliliği, Performansı ve Enerji Etkin İyileştirme, Binalarda Enerji Performansı ve İyileştirmesi Hakkında Direktifler ve Sertifika Sistemleri, Türkiye’de Binalarda Enerji Tüketimi ve Mevcut Yapı Stoku hakkında literatür araştırması yapılmış, konu ile ilgili yayınlar incelenmiştir.

2.1 Binalarda Enerji Performansı Hakkında Literatür Araştırması

Karaca ve Çetintaş; “Sürdürülebilir Yapı Tasarımının Türkiye’deki ve Dünyadaki Yasal Düzenlemeler Açısından İncelenmesi” başlıklı bildirilerinde konuyu “Bu konuda gelişmiş ülkelerdeki örgütlenme örneklerinden yararlanmak mümkündür. Ancak bu süreçte, örneklerin Türkiye koşullarına uygunluğu veya uyarlaması büyük önem taşımaktadır. Ülkemizdeki nitelsiz yapıların sayıca çok oluşu, mevcut yapılarla ilişkin veri eksikliği gibi önemli nedenler, yapılacak çalışmalar için karşılaşılan

zorluklardan bazılarıdır. Ayrıca özellikle yönetmeliklerin birbiri ile çelişen maddelerinin bulunması ve yönetmeliklerin eksiklikleri bir diğer önemli konudur. Bu bağlamda öncelikle ülkemizdeki mevcut binalara ilişkin bir veri tabanı oluşturulması ve bu verilere dayanarak Türkiye'nin sürdürülebilirlik açısından bir yol haritası belirlenmesi gerekmektedir.” diyerek yorumlamışlardır (Karaca ve Çetintaş, 2015).

Zağpus, S.'nin doktora tezine göre, “Ülkemizde, binaların enerji performansı ve yalıtım ürünleri konularındaki yönetmelik ve standartlar Avrupa örneklerinden tercüme edilerek değil, Türkiye koşulları gözetilerek hazırlanmalıdır. Yurt dışında binaların daha az enerji harcayarak ve ekolojik özellikler göz önüne alınarak tasarlanması, inşa edilmesi ve yaşaması yönünde kriterleri değerlendiren ve buna bağlı derecelendirme yapan sertifika sistemlerinin ülkemiz koşullarına adapte edilmesi sağlanmalıdır. Ülkemizde İmar yönetmeliklerinin, iklim duyarlı yapıların tasarımına ilişkin kararlara yön veren ve yapısal elemanları tarifleyen, Türkiye'nin güneş ve rüzgâr enerjisi potansiyelini göz önüne alarak, binalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eden tasarım çözümleri sunan, yeni binalarla birlikte, mevcut yapıların iyileştirilmesini de kapsayan uygulama sonrasında binaların mevzuata uygunluğunun denetlenmesine olanak sağlayan hükümler içerecek şekilde hazırlanması gerekmektedir ” (Zağpus, 2009). Ayrıca Zağpus, S., doktora tezinin sonuç ve öneriler bölümünde “Yurt dışında uygulanan bina sertifika sistemlerinin ülkemize adaptasyonu ya da özgün bir sertifika sisteminin hazırlanması” yönünde bir öneride bulunmuştur.

Koçlar, G. konuyla ilgili makalesinde, “Ülkemizde, binaların enerji performansı ve yalıtım ürünleri konularındaki yönetmelik, standart ve revizyon çalışmaları genellikle, Avrupa standartlarından tercüme edilerek oluşturulmaktadır. Oysaki önemli olan, söz konusu standartların Türkiye koşullarına uygun şekilde geliştirilmesidir. Bu kapsamda Türkiye'nin farklı özelliklere sahip farklı iklim bölgeleri için yeni yöntemler oluşturulması gerekmektedir.” demektedir (Koçlar Oral, 2007).

Demirel, B. 2013 yılında yazdığı yüksek lisans tezinde, “Pasif ev standartlarının Türkiye'nin ılımlı ve sıcak iklim bölgelerinde uygulanması durumunda binaların

ısıtma enerji ihtiyacının oldukça düşük seviyelere çekildiği görülmüştür. Ancak, soğutma ihtiyacına bakıldığında sıcak iklime sahip Antalya ilinde yapılan hesaplamalar sonucunda yüksek soğutma ihtiyacı değerleri çıktığı görülmektedir. Hesaplama sonuçlarında görüldüğü üzere soğuk ve ılımlı iklim bölgelerinde oldukça yüksek ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ısıtma ihtiyacının azaltılmasını sağlamıştır. Ancak bu çalışmada bina enerji verimliliği açısından değerlendirme çalışmalarının önemli bir adımı olan maliyet faktörü ele alınmamıştır. Isıtma ihtiyacının azalmasının bina enerji kullanım maliyetlerini azaltacağı açıktır. Ancak binanın enerji verimliliği açısından değerlendirilmesinde hiç kuşkusuz, oluşum, ilk yatırım, bakım onarım maliyetleri büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, binanın enerji maliyetleri açısından değerlendirilerek pasif ev standardı kriterinin sağlanması için bu çalışmada oldukça fazla çıkan yalıtım kalınlıklarının ekonomik olup olmadığına karar verilmesi gerekmektedir. Ülkemizin iklim bölgeleri ve bu bölgelerdeki iklimsel koşullara bağlı olarak ısıtmanın istendiği dönemde güneş ışınlımından ısı kazancını maksimize, ısıtmanın istenmediği dönemde minimize edecek enerji etkin seçeneklerin göz önünde bulundurulması ve bu tür seçenekleri dikkate alarak ülkemiz koşullarına uygun pasif ev kriterlerinin geliştirilmesi gereklidir.” konusuna değinmiştir (Demirel, 2013).

Erten, D, 2010 yılında yazdığı “Uluslararası Yeşil Bina Sertifika Sistemleri ve Türkiye” başlıklı makalesinde “Türkiye’de ise 2011 yılı itibariyle yeni yapılarda zorunlu hale getirilen, mevcut yapılarda ise 2017 yılına kadar alınması için zaman tanınan Enerji Kimlik Belgesi (EKB) devlet tarafından atılan önemli bir adımdır. Verilecek olan “Enerji Kimlik Belgesi” yapıların sürdürülebilirliğini ölçmek adına geliştirilen kriterlerin %30-40’ını karşılar nitelikte olduğundan, Türkiye’nin kendi sertifika sistemini kurması için bir zemin olarak görülebilir.” konusuna değinmiştir (Erten, 2010).

Sev, A. ve Canbay, N., makalelerinde “Bir değerlendirme sisteminin strüktürünün oluşturulmasında “standart beden” yaklaşımı yanlıştır. Bugün kökeni oldukları ülkenin dışında da en fazla yaygınlık kazanan iki sistem LEED ve BREEAM iken, komşu

lkelerinde dahi bu sistemlerin etkinliği sorgulanmaktadır.” konusuna değinmişlerdir (Sev & Canbay, 2009).

Enerjisinin yaklaşık %80’ini ithal eden Türkiye için de büyük öneme sahip olan maliyet etkin enerji verimliliği ile ilgili yasal prosedür ülkemizde henüz oluşturulmamıştır. Ancak bu çalışmanın en kısa sürede konusunda uzman kişilerce sürdürülmesi hem ekonomik hem de sosyal açıdan kritik bir konumdadır.” önerisinde bulunmuştur (Gani, 2012).

Sev, A. ve Canbay, N. makalelerinde; “Yeşil Bina Değerlendirme Sistemleri ilk uygulamaya girdiği 1990 yılından bu yana dünya genelinde giderek yaygınlaşmış ve kabul görmüştür. Tümü gönüllülük esasına dayalı olarak uygulanan bu sistemlerin yapı sektörüne çevresel duyarlılık yönünde ivme kazandırdığı açıktır. Ancak gelişmiş ülkelerde, ulusal ve bölgesel koşullara göre hazırlanmış olması bakımından, bu sistemlerin diğer ülkelerde doğrudan uygulanması bazı güçlükleri de beraberinde getirmektedir. Bu değerlendirme sistemleri sayesinde gelişmiş ülkelerin yapı sektörlerinde sürdürülebilirlik ve çevresel performans konularında önemli adımlar atıldığı çok açıktır. Ancak lkemiz gibi birçok gelişmekte olan ülkede bu gibi konulara duyarlılık yeni oluşmaktadır ve yapı sektöründe bu alanda hızlı adımlar atması gerekmektedir.” konusuna değinmişlerdir (Sev ve Canbay, 2009).

Doğan, Z., yüksek lisans tezinde; “Türkiye’ye özgü bir değerlendirme sisteminin geliştirilmesi beraberinde uygulama alanındaki teknik altyapı kalitesini, bu sistemi besleyecek kalifiye eleman yetiştirilmesi ve malzeme tedarik yöntemlerinin geliştirilmesini destekleyeceği gibi, bu sistemin işletmesini sağlayacak mevzuatın oluşturulmasına da büyük katkı sağlayacak, sürdürülebilir mimari yaklaşımların yaygınlaşmasına katkıda bulunacaktır.” ile Türkiye’ye özgü bir değerlendirme sisteminin geliştirilmesi gerektiğinin vurgusunu yapmıştır (Doğan, 2012).

şengezer, O. yüksek lisans tezinde; “Sıfır enerji gereksinimli ev yapma düşüncesiyle ortaya çıkan pasif ev sistemi, en düşük yatırım maliyeti ile en yüksek konfor koşullarını oluşturmayı esas almaktadır. Ülkemizde standartlara uygun olarak

yapılan projelerde, sadece ısı yalıtımı ile enerji harcamalarında 7 milyar dolar tasarruf yapılabileceği öngörülmektedir. Ayrıca bu ilkeler doğrultusunda planlanarak yapılan evlerin, 2011 yılında uygulamaya konulan ve 2017 yılına kadar bütün binalarda zorunlu hale getirilmesi planlanan Enerji Kimlik Belgesi'nin A-Sınıfına karşılık geldiği görülmektedir. Pasif evler gibi yüksek enerji sınıfına sahip evler Bina Enerji Performans Yasası (BEP) ile birlikte değer kazanmaktadır.” demiştir (Şengezer, 2011).

Güçyeter, B. doktora tezinde; “Özellikle Avrupa Birliği'nin ‘Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’ni (EPBD, 2002) yayınlamasından sonra, yeni yapılardaki önlemlerin yanı sıra, mevcut binalar için alınacak enerji etkin iyileştirme kararlarının da uygulanması bir zorunluluk halini almıştır. Türkiye bu yönetmeliğe uyum çerçevesinde 2008 yılında Binalarda Enerji Performansı yönetmeliğini yürürlüğe koymuştur. Bu yönetmelik yeni yapılar ile ilgili sınırlamalar getirirken, mevcut yapıların enerji etkin iyileştirilmesini öngörmekte, ancak bir yöntem önermemektedir. TS 825 Isı Yalıtım Yönetmeliğinin ancak 2000 yılında zorunlu olduğu Türkiye’de yalıtımsız/yetersiz yalıtılmış, çevreye duyarlı tasarım ana kararlarından yoksun, göreceli genç bir yapı stoku bulunmakta ve mevcut yapıların enerji etkin iyileştirilmesi için gerekli olan yöntemsel hesaplama ve kontrol mekanizmalarına işlerlik kazandırılması gerekmektedir.” diyerek yeni yapılardaki enerji etkin önlemler kadar mevcut yapılarda da iyileştirilme yapılması gerektiğinin önemini vurgulamıştır (Güçyeter, 2010).

2.2 Avrupa’da Binalarda Enerji Performansı Hakkında Yasal Düzenlemeler

Avrupa Birliği tarafından, binalarda enerji performansını ve verimliliğini kapsayan 2002/91/EC sayılı Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD), 16 Aralık 2002 tarihinde yayınlanmıştır. Bu direktifin amacı; üye devletlerin bulundukları iklimi ve yerel koşullarını dikkate alarak, binaların enerji performansını, iç mekân iklim gereksinimlerini ve maliyet etkinliği iyileştirmeyi teşvik etmektir. Bu direktif aşağıda belirtilen gereksinimleri ortaya koymaktadır,

- Binalarda enerji performansının hesaplanması metodolojisine yönelik bir çerçeve,
- Yeni binalarda enerji performansı için minimum gerekliliklerin uygulanması,
- Büyük yenilemeler yapılan, mevcut büyük binalarda enerji performansı için minimum gerekliliklerin uygulanması,
- Binalarda enerji sertifikasyonu ve Kazanların ve klima sistemlerinin düzenli kontrol edilmesi, 15 yıldan fazla süredir kullanılan kazanların değerlendirilmesi (EPBD, 2002).

19 Mayıs 2010 tarihinde Avrupa Birliği tarafından, 2010/31/EU sayılı Binalarda Enerji Performansı Direktifi – yenileme (EPBD-recast) yayınlanmıştır. Bu direktifte; Avrupa’da bina sektöründeki enerji tüketiminin, toplam enerji tüketiminin %40’ını oluşturduğu belirtilmektedir. Bina sektörünün gelişmesine paralel olarak enerji tüketiminin de artmakta olduğu, bu nedenle binalarda enerji tüketiminin azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması; Avrupa Birliğine üye devletlerin enerji bağımlılığını ve sera gazı emisyonunun azaltılmasını sağlayacağı belirtilmektedir. Ayrıca; enerji talebinin yönetimi, Avrupa Birliği’nin küresel enerji piyasasını ve dolayısıyla orta ve uzun vadede enerji arz güvenliğini sağlayan önemli bir araç olduğu belirtilmiştir. Mart 2007 tarihli Avrupa Konseyi’nde, 2020 yılına kadar Avrupa Birliği’nin enerji tüketimini %20 azaltma hedefine ulaşmak için, enerji verimliliğini artırma ihtiyacı vurgulanmış ve belirlenen önceliklerin kapsamlı ve hızlı bir şekilde uygulanması çağrısında bulunulmuştur. Avrupa Birliği, 31 Ocak 2008 tarihli kararında, 2020/91/EC sayılı direktif hükümlerinin güçlendirilmesi çağrısında bulunmuş ve 3 Şubat 2009 tarihli İkinci Stratejik Enerji kararında bu konuyla ilgili çağrıda bulunmuştur (EPBD-recast, 2010).

EPBD-recast 2010’da, binalarda gerçekleştirilememiş, potansiyeli büyük enerji tasarrufuna ulaşmak için ve Avrupa Birliği’ne üye devletlerin sonuçları arasındaki büyük farkları azaltmak için daha somut eylemler ortaya konması gerekliliği vurgulanmıştır. Bu direktifte; iklim ve yerel koşulların yanı sıra maliyet etkinlik de dikkate alınarak, üye devletlerin enerji performansının iyileştirilmesini teşvik etmektedir. Bu direktif aşağıdakilerle ilgili gereksinimleri ortaya koymaktadır,

- Binalarda enerji performansının hesaplanması metodolojisine yönelik bir çerçeve,
- Yeni binalarda ve yeni bina birimlerinde, enerji performansı için minimum gerekliliklerin uygulanması,
- Büyük ölçüde yenilenmeye tabi olan mevcut binalar, yapı birimleri ve yeni elemanlarının enerji performansı için minimum gerekliliklerin uygulanması,
- Bina kabuğunun bir parçasını oluşturan ve güçlendirildiklerinde veya değiştirildiklerinde, bina zarfının enerji performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olan bina elemanlarının enerji performansı için minimum gerekliliklerin uygulanması,
- Bina teknik sistemlerinin enerji performansı için minimum gerekliliklerin uygulanması,
- Neredeyse sıfır enerjili bina (NZEB) sayısını arttırmaya yönelik ulusal planlar,
- Binaların ya da yapı birimlerinin enerji sertifikası,
- Binalardaki ısıtma ve iklimlendirme sistemlerinin düzenli muayenesi ve Enerji performans sertifikaları ve denetim raporları için bağımsız kontrol Sistemleri (EPBD-recast, 2010).

EPBD-recast’a göre; 31 Aralık 2018’e kadar tüm kamu binaları, 31 Aralık 2020’ye kadar tüm yeni binalar, NZEB koşullarına uygun olmalıdır (EPBD-recast, 2010, s.4).

2002 yılında yayınlanmış olan Binalarda Enerji Performansı Direktifinin yenilenmesi sonucunda, 2010 yılında yayınlanan EPBD-recast ile hedefler ve amaçlar daha somut bir şekilde tanımlanmış, binalarda enerji tüketiminin azaltılması için adımların hızlandırılması sağlanmıştır.

Avrupa Birliği tarafından, 25 Ekim 2012 yılında yayınlanan, 2012/27/EU sayılı direktifte, 2020 yılına kadar enerji tüketimini %20 azaltma hedefine ulaşılmasını sağlamak amacıyla ortak önlemler çerçevesi oluşturulmuştur. Enerji piyasasındaki, enerji verimliliğini engelleyen piyasa aksaklıklarını ortadan kaldırmak için tasarlanmış bir takım kurallar belirlenmiştir. Ayrıca; 2020 için gösterge niteliğinde ulusal enerji verimliliği hedeflerinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu direktifte belirtilen

gereklilikler minimum gerekliliklerdir ve herhangi bir üye devletin daha katı tedbirleri sürdürmesini veya uygulamasını engellememektedir (EPBD, 2012).

28 Temmuz 2013 tarihinde Avrupa Birliği; üye devletlerin NZEB süreçleri hakkında bir rapor yayınlamıştır. Bu raporda, üye devletlerin ulusal NZEB tanımlamaları, ara hedefleri, NZEB'lerin tanıtılması hakkında politikaları ve önlemleri ve gelecekteki adımlar hakkında genel değerlendirme ve bilgi aktarımı yapılmıştır (EU, 2013).

30 Mayıs 2018 tarihinde, 2010/31/EU ve 2012/27/EU sayılı direktiflerin düzeltilmesi şeklinde, Avrupa Birliği tarafından (EU) 2018/844 sayılı direktif yayınlanmıştır (EU, 2018). Bu direktifte, bina teknik sistemleri hakkında açıklama detaylandırılmış, bina otomasyonu ve kontrol sistemi, ısıtma sistemi, enerji performansı sözleşmesi, mikro yalıtımlı sistem hakkında açıklama eklenmiştir. Ayrıca; uzun dönem renovasyon stratejisi başlığı altında önemli bir ekleme yapılmıştır. Bu doğrultuda her üye devlet; 2050 yılında kadar, hem kamu hem de özel konut ve konut dışı binaların ulusal stokunun yüksek enerji verimli ve karbondan arındırılış bina stokuna dönüştürülmesini desteklemek için uzun vadeli maliyet etkin bir strateji oluşturmalıdır. Uzun vadeli yenileme stratejisi aşağıda belirtilenleri kapsamalıdır,

2020 yılında yenilenen binalara dayalı istatistiksel bir ulusal stok raporu,

- Bina tipi ve iklim bölgesi ile ilgili yenileme için uygun maliyetli yaklaşımların yaşam döngüsü dikkate alınarak belirlenmesi,
- Binaların maliyet etkin yenilenmesini teşvik edecek ve destekleyecek politikaların geliştirilmesi,
- Ulusal yapı stokunun kötü performans gösteren bölümlerine genel bakış ve bu konudaki olumsuzluğun giderilmesine katkıda bulunan eylemlerin ana hatları,
- Tüm kamu binalarını hedefleyen politikalar ve eylemler,
- Akıllı teknolojileri ve binaları teşvik etmek için ulusal girişimlere bu alandaki eğitime genel bir bakış,

- Sağlık, güvenlik ve hava kalitesi ile ilgili faydaların kanıta dayalı tahmini (EU, 2018).

Bu direktifte belirtilen uzun vadeli yenileme stratejisinde, her bir üye devlet, 2050'ye kadar, yüksek enerji verimli ve karbondan arındırılmış ulusal bina stokunun arttırması, mevcut binaların neredeyse sıfır enerjili binalara maliyet etkin bir şekilde dönüşmesinin sağlanması, sera gazı emisyonunun 1990 yılına göre %80-%95 oranında azaltılmasına yönelik bir yol haritası belirlemelidir. Belirtilen yol haritası, 2030, 2040 ve 2050 için gösterge niteliğindeki kilometre taşlarını ve Avrupa Birliği'nin enerji verimliliği hedeflerine ulaşılmasına nasıl katkıda bulunulduğunu içermelidir (EU, 2018).

Avrupa Birliği 2030 iklim hedeflerine ulaşmak için enerji verimliliğine öncelik verilmesi üzerinde durmaktadır. Bu doğrultuda Avrupa Birliği enerji komisyonu, 14 Temmuz 2021'de enerji verimliliği konusunda yeni bir direktif önerisi sunmuştur. Revize edilmiş yeni direktif önerisine göre; AB enerji politikasının genel bir ilkesi olarak "önce enerji verimliliğini" teşvik ederken, hem politika hem de yatırım kararlarındaki uygulamaların önemini vurgulamaktadır (EU, 2021).

2.2.1 Avrupa Birliği'ne Üye Ülkelerin NZEB Hedefleri

2010 yılında yayınlanan Binalarda Enerji Performansı Direktifine göre; üye devletlerden binaların enerji etkin dönüşümünü teşvik etmek için NZEB hedeflerinin belirlenmesi ve komisyona rapor olarak iletilmesi beklenmektedir.

Avrupa Birliği Komisyonu tarafından 2013 yılında yayınlanan rapora göre ulusal planlar aşağıdaki unsurları içermelidir:

- Üye devletlerin, ulusal, bölgesel veya yerel koşullarını yansıtan, neredeyse sıfır enerjili binaların tanımını, ayrıntılı uygulamasını ve birincil enerji tüketiminin kWh/m²yıl cinsinden sayısal göstergesini,

- Yeni binaların enerji performansını iyileştirmeye yönelik ara hedefler (2015’e kadar),
- Politikalar, finansal ve diğer önlemler hakkında bilgi.

Yukarıdaki unsurlar çerçevesinde komisyon, Aralık 2012’ye kadar bir rapor çıkarmayı planlamıştır. Bu raporu takiben de her üç yılda bir yeni raporların çıkartılacağı belirtilmiştir. Bu kapsamda yayınlanan ilk rapora göre 8 üye devlet NZEB ulusal planlarını belirlemiştir (Belçika (BE), Danimarka (DK), Kıbrıs Rum Kesimi (CY), Finlandiya (FY), Litvanya (LT), Hollanda (NL), İsveç (SE) ve Birleşik Krallık (UK)). Bu süreçte 6 üye devlet daha planlarını göndermişlerdir ancak bu raporlar analizde dikkate alınmamıştır (Bulgaristan (BG), Almanya (DE), Fransa (FR), Macaristan (HU) , İrlanda (IE) ve Slovakya (SK)).

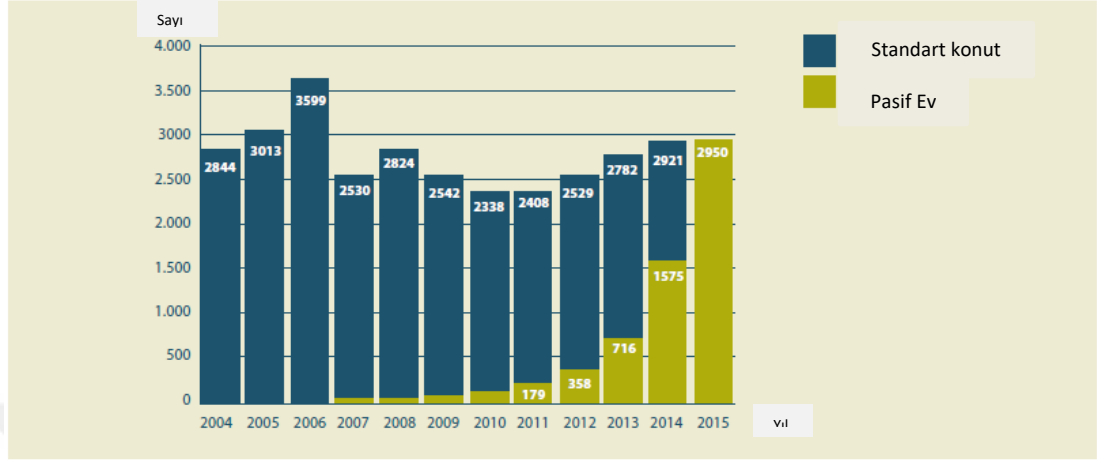
Avrupa Birliği tarafından 2016’ da yayınlanan “ Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar İçin Ulusal Planlar Üzerine Sentez Raporu (NZEB’s)”nda; 2013 ile 2016 yılları arasında ülkelerin revizyon raporlarını da içeren düzenlenmiş tanımlamalar bulunmaktadır. 2012 ve 2020 yılları arasında NZEB süreci Şekil 2.1’de gösterilmektedir (Nearly Zero Energy Buildings Definitions Across Europe, 2015).



Şekil 2.1 2012 ve 2020 yılları arasında NZEB süreci (Nearly Zero Energy Buildings Definitions Across Europe, 2015)

2015 yılında yayınlanan Nearly Zero Energy Buildings Definitions Across Europe raporunda, Brüksel Başkent Bölgesi hakkında; “2011 yılında NZEB gerekliliklerini resmen tamamladığı ve 2015 yılından itibaren uygulandığı, inşaat sektörünün kademeli olarak bu sürece adapte olduğunu, günümüzde ise tüm yeni binaların NZEB gerekliliklerini yerine getirmekte zorunlu olduğu” belirtilmektedir (Nearly Zero Energy Buildings Definitions Across Europe, 2015). Şekil 2.2’de Brüksel’de NZEB

konut inşaatı ve toplam konut inşaatı oranları gösterilmektedir (Nearly Zero Energy Buildings Definitions Across Europe,2015).



Şekil 2.2 Brüksel’de NZEB konut inşaatı ve toplam konut inşaatı oranları (Nearly Zero Energy Buildings Definitions Across Europe,2015)

Şekil 2.2’de görüldüğü üzere 2015 yılı itibariyle yeni yapılan 2050 binanın tamamı Pasif Ev standartlarında inşa edilmiştir. Aşağıdaki tabloda (Tablo 1.1), Nearly Zero Energy Buildings Definitions Across Europe çalışmasında yayınlanan, üye ülkeler ve NZEB kabulleri bulunmaktadır.

Tablo 2.1 Üye ülkelerin NZEB tanımlamaları ve kabulleri ((Nearly Zero Energy Buildings Definitions Across Europe,2015)

Country	Status of the definition	Main reference(s)	Year of enforcement		nZEB definition for new buildings						nZEB definition for existing buildings		
			Public	Non-public	EPBD scope of nZEB definition [1]	Numerical indicator	Maximum primary energy [kWh/m ² y]		Share of renewable energy	Other indicators	Status of the definition	Maximum primary energy [kWh/m ² y]	
							Residential buildings	Non-residential buildings				Residential buildings	Non-residential buildings
Austria	✓	OIB Guidelines 6	1/01/2019	1/01/2021	✓ [7]	✓	160	170 (from 2021)	Minimum share proposed in the draft of OIB guidelines for all buildings	EP, CO ₂	✓	200	250 (from 2021)
Belgium - Brussels	✓	Amended Decree of 21/12/2007	1/01/2015	1/01/2015	✓	✓	45	~90 [2]	✓ Qualitative	EP, OH	✓	54	~ 108 [2]
Belgium - Flanders	✓	Regulation of 29/11/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	30% PE [5]	40% PE [5]	✓ Quantitative [4]	EP, OH	Under development		
Belgium - Wallonia	Under development	Consolidated report to EC	1/01/2019	1/01/2019	✓	Under development			Quantitative	EP	Under development		
Bulgaria	Still to be approved	National nZEB Plan, <u>BPIE study</u>	1/01/2019	1/01/2021	✓	Still to be approved	~30-50 Included in the calculation; building needs to comply with class A	~40-60	Quantitative	EP	As for new buildings	~30-50 Included in the calculation; building needs to comply with class A	~40-60
Croatia	✓	Regulation OG 97/14, National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	33-41[3]	Under development	Minimum share in current requirements for all buildings	EP	ND		
Cyprus	✓	Decree 366/2014, Law 210(I)/2012	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	100	125	✓ Quantitative	EP	✓ As for new buildings	100	125
Czech Republic	✓	Regulation 78/2013 Coll.	2016-2018 depending on size	2018-2020 depending on size	✓	✓	75-80% [2,5]	90% [5]	✓ Quantitative	EP, TS	✓ As for new buildings	75-80% [2,5]	90% [5]
Denmark	✓	Building Regulations 2010	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	20	25	✓ Qualitative	EP, OH, TS	✓ As for new buildings	20	25
Estonia	✓	Regulation 68/2012	1/01/2019	1/01/2021	✓ [7]	✓	50-100 [2]	90-270 [2]	✓ Qualitative		✗		
Finland	Under development	Consolidated report to EC	1/01/2018	1/01/2021	✓ [7]	ND			ND		ND		
France	Definition of Positive Energy Buildings under development [8]	Thermal Regulation 2012, National nZEB Plan	28/10/2011	1/01/2013	✓	✓	40-65 [2,3]	70-110 [2,3]	✓ Quantitative [4]	EP, OH, TS	✓	80 [3]	60% PE [2]
Germany	Under development	KfW Efficiency House, National nZEB plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	40% PE [5]		Minimum share in current requirements for all buildings	EP	Under development	55% PE [5]	
Greece	Under development	Law 4122/2013	1/01/2019	1/01/2021	ND	ND			Minimum share in current requirements for all buildings		Under development		
Hungary	Under development	Amended decree 7/2006, <u>study by University of Debrecen</u>	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	50-72 [2]	60-115 [2]	✓ Quantitative	EP	Under development		
Ireland	✓	Draft definition in National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	45	~60% PE [5]	✓ Quantitative [4]	CO ₂	Under development	75-150	

Country	Status of the definition	Main reference(s)	Year of enforcement		nZEB definition for new buildings						nZEB definition for existing buildings		
			Public	Non-public	EPBD scope of nZEB definition [1]	Numerical indicator	Maximum primary energy [kWh/m ² y]		Share of renewable energy	Other indicators	Status of the definition	Maximum primary energy [kWh/m ² y]	
							Residential buildings	Non-residential buildings				Residential buildings	Non-residential buildings
Italy	Still to be approved (under publication)	Draft of the new EPBD decree	1/01/2019	1/01/2021	✓	Still to be approved	Included in the upcoming updated version of the National nZEB Plan [2,3]		Quantitative	EP, TS	✓ As for new buildings	Included in the upcoming updated version of the National nZEB Plan [2,3]	
Latvia	✓	Regulation 383/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	95	95	✓ Quantitative	EP	✓ As for new buildings	95	95
Lithuania	✓	Regulation STR 2.01.09 2012	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	Included in the calculation; building needs to comply with class A++		✓ Quantitative	EP	✓ As for new buildings	Included in the calculation; building needs to comply with class A++	
Luxembourg	✓ Details to be fixed	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✗ [6]	✓	Included in the calculation; building needs to comply with class A-A-A		✓ Qualitative	EP, CO ₂	ND		
Malta	Under development	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Current values to be revised	40	60	Qualitative	EP	ND		
Netherlands	✓	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	Included in the calculation; building needs to comply with energy performance coefficient = 0		✗	EP	ND		
Norway	Under development	Presentation by Research Centre on Zero Emission Buildings	1/01/2021	1/01/2021	✓	Under development			Minimum share in current requirements for all buildings	CO ₂ (main indicator), EP, TS	ND		
Poland	Under development	Consolidated report to EC	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	60-75 [2]	45-70 [2]	✗		ND		
Portugal	Under development	Law 118/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	In current requirements for buildings			✗		ND		
Romania	✓	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	93-217 [2,3]	50-192 [2,3]	✓ Quantitative	CO ₂	ND		
Slovakia	✓	Decree 364/2012	1/01/2019	1/01/2021	✗ [6]	✓	32-54 [2]	34-96 [2]	✓ Quantitative	EP	ND		
Slovenia	Still to be approved	Official Journal 17/14, National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Still to be approved	45-50 [2]	70	Under development	EP	Still to be approved	70-90 [2]	100
Spain	Under development	Decree 235/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	Included in the calculation; it is foreseen that buildings will need to comply with class A		Minimum share in current requirements for all buildings	CO ₂ (main indicator)	Under development		
Sweden	Under development	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	30-75 [2,3]	30-105 [2,3]	✗		ND		
UK (England)	✓ Details to be fixed	National nZEB Plan, <u>presentation by Zero Carbon Hub</u>	1/01/2018 (from 2016 for residential buildings) [9]	1/01/2019 (from 2016 for residential buildings) [9]	✓	✓	~ 44 [2]	ND	✓ Qualitative	CO ₂ (main indicator), EP, TS	ND		
							Included in the calculation; building will need to comply with carbon emissions ~ 0						

2.2.2 Avrupa’da Binalarda Enerji Performansı Hakkında Yasal Düzenlemelerin Değerlendirilmesi

2010 yılında yayınlanan EPBD’ye göre, üye devletlerin her birinin ulusal bir NZEB tanımı belirlemesi ve NZEB’leri teşvik etmeye yönelik çalışmalar yürütmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, üye devletlerin, NZEB’lerin teşviki için net tanımlamalar ve önlemlerle ulusal planlarını hazırlayıp, Avrupa Komisyonu’na sunmaları beklenmektedir. Bu rapora göre, 2015 yılına kadar, yeni binaların enerji performansını iyileştirmeye yönelik ara rapor hazırlanması ve her 3 yılda bir güncellenmesi gerekmektedir (EPBD, 2010).

7.10.2013 tarihinde Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanan, üye devletlerin NZEB hedeflerini içeren rapora göre; 27 üye devletten 15’i, ilgili tarih itibariyle ara hedeflerini belirlemiştir. Ülkelerin çoğu, minimum enerji performansı gereksinimlerini (örn. 2015’te 50 kWh/m²/y) veya belirli bir yıla kadar gerekli enerji kimlik belgesi seviyesini (örn. 2015’e kadar B seviyesi) ara hedeflerinde tanımlamıştır. Bazı üye devletler ara hedefleri tanımlarken “ tüm yeni binalar” ya da “ tüm yeni kamu binaları” 2015’e kadar NZEB olacaktır ifadesini kullanmıştır. Birkaç üye devlet (CZ, EE ve NL) 2015 yılına kadar yapılacak olan yeni binalar ve yeni kamu binaları için rakamlar belirlemiştir. Kamu sektörünün rolü, kamu binaları için belirli ara hedeflerin oluşturulması yoluyla bazı üye devletler (BE, CZ, DE, DK, EE, IE, NL ve UK) tarafından vurgulanmıştır. Mevcut binaların NZEB hakkındaki ara hedefler yalnızca BE, DK, IE tarafından oluşturulmuştur (EU, 2013).

2016 yılında yayınlanan NZEB’ler için ulusal planlara ilişkin sentez raporuna göre, ilgili tarih itibariyle ülkelerin, hesaplama prosedürleri ve sayısal göstergelerinde farklılıklar bulunmaktadır. Enerji performansı göstergeleri, konutlarda 20 kWh ile 180 kWh arasında değişirken, genellikle hedefler 45 kWh veya 50 kWh dir. Konut dışı binalar için ise bu değerler, 25 kWh ile 270 kWh arasında rapor edilmektedir. Brüksel Başkent Bölgesi 2011’de Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’ni revize ederek, Ocak 2015’ten itibaren tüm yeni kamu ve konut binalarının Pasif Ev Standartlarına

yakın birincil enerji ihtiyacını karşılaması gerektiğini şart koymuştur. Bu doğrultuda binalarda ısıtma enerjisi tüketimi 15 kWh'in altında olması gerekmektedir. AT, BE, FI, LU bu rapora göre; Pasif Ev Standartlarına yakın değerleri gösterge kabul ettiklerini belirtmektedirler (EU, 2016).

2.3 Türkiye’de Binalarda Enerji Performansı Hakkında Yasal Düzenlemeler

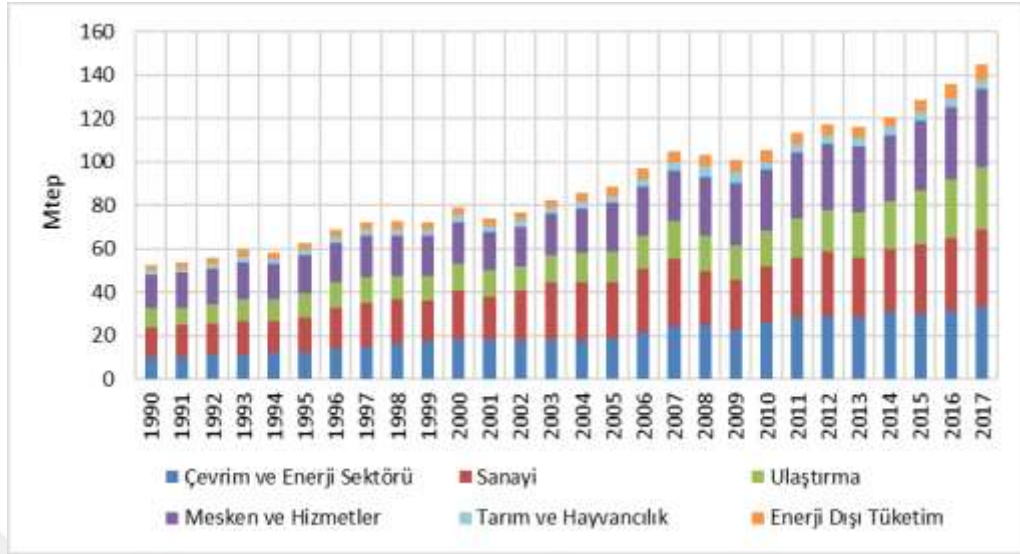
Avrupa’daki binalarda enerji performansı hakkındaki direktifler ve çalışmalara paralel olarak, Türkiye’de de binalarda enerjinin verimli kullanılmasına yönelik çalışmalar başlamıştır. Bu kapsamda, Türkiye’de bu yöndeki gelişmelerde dönüm noktası niteliği taşıyan, “Enerji Verimliliği Kanunu” 18 Nisan 2007 tarihinde kabul edilip, 2 Mayıs 2007 tarihinde resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir (Enerji Verimliliği Kanunu, 2007).

“Bu Kanunun amacı; enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır ” (Enerji Verimliliği Kanunu, 2007).

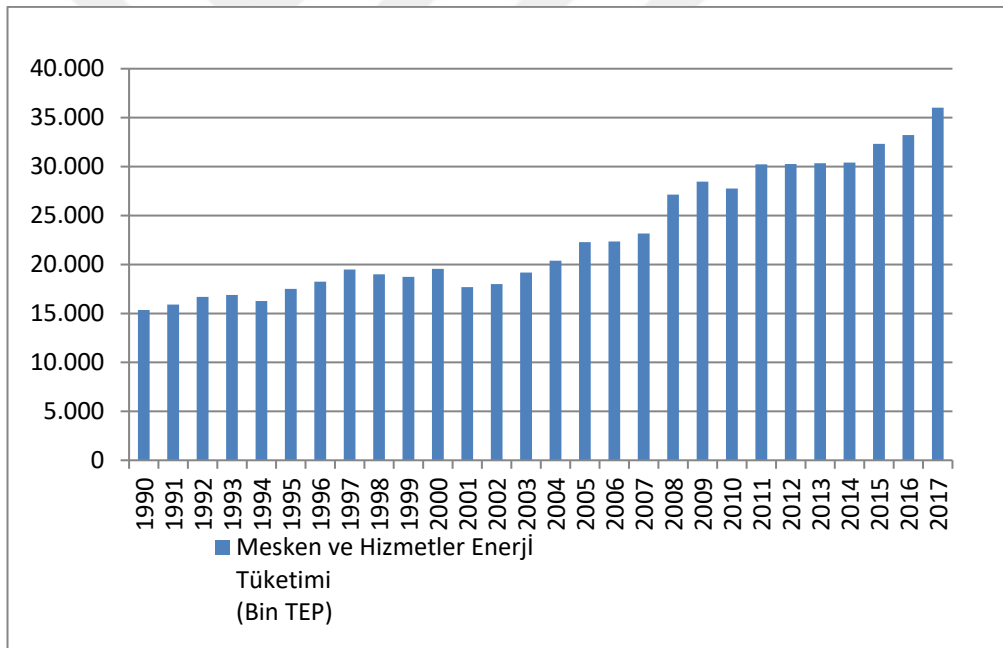
Enerji Verimliliği Kanunu,

- Enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında,
- Endüstriyel işletmelerde, binalarda,
- Elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim ve dağıtım şebekeleri ile ulaşımda enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine,
- Toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usul ve esasları kapsamaktadır (Enerji Verimliliği Kanunu, 2007).

“Binalarda Enerji Verimliliği Yönetmeliği”nin yürürlüğe girmesiyle birlikte, binanın enerji tüketim sınıfını belirleyen enerji kimlik belgesinin alınması zorunlu hale gelmiştir. 2017 yılı sonunda, 104.754’ü mevcut, 570.996’sı yeni olmak üzere toplam 675.750 adet binaya enerji kimlik belgesi düzenlenmiştir ” (ÇŞB, 2019).



Şekil 2.3 Türkiye’de 1990-2017 yılları arasında sektörlere göre enerji tüketimi (ÇŞB, 2019)



Şekil 2.4 Türkiye’de 1990-2017 yılları arasında mesken ve hizmetler enerji tüketimi (ÇŞB, 2019)

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın yayınlamış olduğu verilere göre, 1990-2017 yılları arasında, sektörlere göre enerji tüketimi (Şekil 2.3) ve mesken ve hizmetler enerji tüketiminin yıllara göre artış hızı görülebilmektedir. 2007 yılında, binalarda enerjinin etkin kullanımı arttırmak, enerji israfını azaltmak amacıyla çıkarılmış Enerji Verimliliği Kanunu’ndan sonra bu konudaki adımlar hızla atılmaya başlanmıştır. Bu amaçla atılan önemli adımlardan bir diğeri, 5 Aralık 2008 de Resmi Gazete’de

yayınlanan, “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği”dir (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2008).

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinin amacı “dış iklim şartlarını, iç mekân gereksinimlerini, mahalli şartları ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak, bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini, birincil enerji ve karbondioksit (CO²) emisyonu açısından sınıflandırılmasını, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünü, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını, binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını düzenlemektir ” (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2008).

“Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği,

- Mevcut ve yeni yapılacak konut, ticari ve hizmet amaçlı kullanılan binalarda uygulanmak üzere; mimari tasarım, mekanik tesisat, aydınlatma, elektrik tesisatı ve elektrik tüketen binaların sabit ekipmanları konularındaki asgari performans kriterlerine, enerji performans hesaplama usullerine, enerji kimlik belgesinin hazırlanmasına, binaların kontrolleri ve enerji kimlik belgesini hazırlayacak ve denetleyecek onaylanmış bağımsız yetkili kuruluşların yetkilendirilmesine ve yetkilerinin düzenlenmesine, ülke enerji politikasının oluşturulmasına yönelik gerekli araştırmalar, incelemeler yapılmasına ve bunun sonucunda elde edilen deneyimler ile ilgili bilgilerin toplanmasına,
- 1000 m²'nin üzerinde kullanım alanına sahip binalarda; elektrik, ısı ve sıhhi sıcak su ihtiyacının kojenerasyon sistemi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim imkânlarının araştırılarak, ekonomik yapılabilirliği olan uygulamalara,

- Bina sahipleri ve son kullanıcıların bilinçlendirilmesi, sektörde faaliyette bulunan kurum ve kuruluşların çalışanlarının eğitimleri ve eğitimlerin güncelleştirilmesi vasıtasıyla enerjinin daha verimli kullanımına,

Korunması gerekli kültür varlığı olarak tescil edilen binalarda, enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik önlemler ve uygulamalar ile ilgili, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulunun görüşünün alınarak bu görüş doğrultusunda yapının özelliğini ve dış görüntüsünü etkilemeyecek biçimde enerji verimliliğini arttırıcı uygulamaların yapılmasına ilişkin usul ve esasları kapsamaktadır ” (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2008).

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’nde, binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının TS 825 standardında belirtilen sınır değerden küçük olmasının gerektiği, her bir iklim bölgesi için bina kabuğunu oluşturan; ısıtılan hacimleri ayıran duvar, döşeme ve taban ile tavan ve çatılar için alınacak “U” değerleri ile ilgili kurallar ve Enerji Kimlik Belgesi gibi önemli konular yer almıştır. Enerji Kimlik Belgesi (EKB), bu yönetmelik ile birlikte detaylı olarak tanımlanmıştır. EKB, yetkili kuruluş tarafından hazırlanan, idarece onaylanan, yeni yapılar için zorunlu, mevcut yapılar ve inşaatı devam edip henüz yapı kullanım izni almamış binalar için ise Enerji Verimliliği Kanununun yayımı tarihinden itibaren on yıl içinde alınması gerekli bir belgedir (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2008).

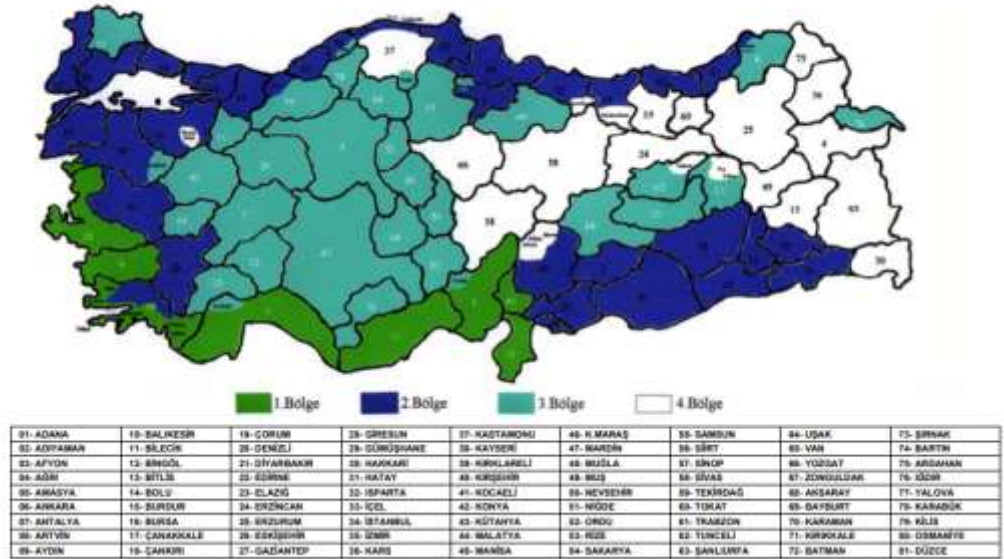
EKB hazırlanırken ulusal hesaplama metodolojisini kullanan BEP-TR yazılımı kullanılmaktadır ve programa girilen veriler, hesaplama sonuçlarıyla birlikte Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na ait bir veri tabanında toplanıp, ayrıntılı bir veri tabanı elde edilmiş olmaktadır (Karaca ve Çetintaş, 2015).

1 Nisan 2010 tarihinde yayınlanan “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” ile EKB belgesi vermeye ve denetimini yapmaya yetkili kuruluşlar konusunda eklemeler yapılarak, ilgili yönetmelik revize edilmiştir (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 2010).

Ülkemizde; binalarda ısıtma enerjisini hesaplamak ve izin verilebilir en yüksek ısıtma enerjisini belirlemek için TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı kullanılmaktadır (Atmaca, 2016). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’nde uyulması gereken sınır değerler tariflenirken, TS 825 standartlarından yararlanılmaktadır.

Türk Standartları Enstitüsü’nün Mühendislik Hizmetleri İhtisas Grubu’nca TS 825: 1998’in revizyonu olarak hazırlanan ve TSE Teknik Kurulu’nun 22 Mayıs 2008 tarihli toplantısında kabul edilerek yayımına karar verilen TS 825 standardının başlıca amacı; , ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlamayı, enerji tasarrufunu artırmayı ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak hesap metodunu belirlemek olarak tanımlanmaktadır (ICS 91.120.10 TÜRK STANDARDI TS 825/Mayıs 2008).

Derece gün bölgelerine göre illerimiz



Şekil 2.5 TS 825’te derece gün bölgelerine göre illerimiz (TS825, 2008)

Tablo 2.2 TS 825'e göre ele alınan 4 yapı elemanı için duvar, çatı, döşeme ve pencereler için U değerleri gereklilikleri (TS 825, 2008)

TS 825 iklim bölgesi	Duvar [W/(m ² K)]	Çatı [W/(m ² K)]	Zemin [W/(m ² K)]	Pencere [W/(m ² K)]
1	0,7	0,45	0,7	2,4
2	0,6	0,4	0,6	2,4
3	0,5	0,3	0,45	2,4
4	0,4	0,25	0,4	2,4

28 Nisan 2017 tarihli Resmi Gazete' de "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" yayınlanarak, ilgili yönetmelikte bir takım revizyonlar yapılmıştır (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 2017). Bu revizyonda, mevcut binalarda gerçekleştirilecek ısı yalıtımı faaliyetinden önce uygulayıcı firma ile bina sahibi veya sahibi adına hareket etmeye yetkili kişi arasında, ısı yalıtımı hizmet sözleşmesi düzenlenmesi gerekliliğine dair bir madde eklenmiştir. Ayrıca EKB vermeye yetkili kuruluşlar ile ilgili bir düzenleme yapılmıştır.

Paris Anlaşması 5 Ekim 2016 itibariyle, küresel sera gazı emisyonlarının %55'ini oluşturan en az 55 tarafın anlaşmayı onaylaması koşulunun karşılanması sonucunda, 4 Kasım 2016 itibariyle yürürlüğe girmiştir. Ülkemiz ise Paris Anlaşması'nı, 22 Nisan 2016 tarihinde, New York'ta düzenlenen Yüksek Düzeyli İmza Töreni'nde 175 ülke temsilcisiyle birlikte imzalamıştır. Paris Anlaşması, sürdürülebilir kalkınma ve yoksulluğun ortadan kaldırılması doğrultusunda, küresel sıcaklık artışının düşürülmesi, iklim değişikliğinin yarattığı sorunlara karşı uyum ve iklim direncinin artırılması, düşük sera gazı emisyonu sağlanması ve gıda üretiminin zarar görmemesi konularını temel hedef olarak belirlemiştir. 4 Ekim 2016 tarihinde yürürlüğe giren Paris Anlaşması, 22 Nisan 2016 tarihinde Türkiye tarafından 175 ülke temsilcisi ile birlikte imzalanmıştır. Tüm ülkelerin kendi sorumlulukları ve hedefleri doğrultusunda belirtilen hedeflere katkı sunması beklenmektedir. Son olarak 7 Ekim 2021 tarihli 31621 sayılı Resmi Gazete' de "Paris Anlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun" yayımlanmış ve yürürlüğe girmiştir (ÇŞİDB, 2021).

2.4 Deney Tasarımı ve Analizi Hakkında Literatür Araştırması

Günümüzde pek çok alanda yapılan bilimsel çalışmada, deney tasarımı ve çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı ve güvenilir sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Son zamanlarda farklı disiplinlerde kullanılan deney tasarımı ve çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı amaç ve alanlar hakkında bir literatür araştırması yapılmıştır. Deney tasarımı veya çok kriterli karar verme yöntemlerinin; endüstri mühendisliği, kimya mühendisliği, malzeme mühendisliği, makine mühendisliği, gıda mühendisliği, mekatronik mühendisliği, gemi inşaatı ve gemi makineleri mühendisliği, bilgisayar mühendisliği, inşaat mühendisliği gibi mühendislik alanlarında hazırlanan bilimsel çalışmalarda güncel olarak sıkça kullanıldığı görülmektedir. Aynı zamanda sağlık, biyoloji, işletme gibi alanlarda da kullanıldığı saptanmıştır. Mimarlık alanında da çok kriterli karar verme sistemlerinden yararlanıldığı, genellikle bütünsel yaklaşım izlendiği görülmektedir. Bu çalışmada, çok kriterli karar verme sistemlerini deney tasarımı ile entegre kullanan bir yöntem olarak mimarlık alanında öncü bir model oluşturmak hedeflenmiştir. Farklı disiplinlerde deney tasarımı ve çok kriterli karar verme yöntemlerinin ele alınış biçimleri çalışmanın devamında literatür araştırması olarak incelenmiştir.

Uzun G., endüstri mühendisliği alanında, belirlenen bir problemde en iyi ya da en iyiye yakın çözümler elde etmek amacıyla sayısal analizler yapmıştır. Analiz aşamasında parametre kümesini belirlemek için, deney tasarımından yararlanmıştır (Uzun, 2021).

Endüstri mühendisliği alanında hazırlanan bir doktora tezi kapsamında; büyük şehirlerdeki kirlilik düzeyi, farklı kriterler ele alınarak birbirleri arasında sıralanmıştır. Bu çalışma kapsamında sıralama yapmak amacıyla, çok kriterli karar verme yöntemi kullanılmıştır (Demircioğlu, 2021).

Kimya mühendisliği alanında yapılan çalışmada, 4 farklı doğal taş türü, farklı parametreler açısından incelenmiştir. Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen

çalışmada, Design Expert 7.0 yazılımı kullanarak deney tasarımından yararlanılmıştır (Çelik, 2021).

Mimarlık alanında yapılan bir doktora tezi kapsamında çok kriterli karar verme yöntemi olarak TOPSİS kullanılmış ve mimarlık alanında çok az kullanıldığı vurgulanmıştır. Çalışmada ses yalıtım performansını iyileştirmek için duvar kalınlığı, duvarların çift cidarlı tasarlanması cidarlar arası boşluğun değiştirilmesi, cidar sayısı gibi bir takım parametreler belirlenmiştir. Bu parametrelerin maliyet ve ses yalıtım performansına etkilerini belirlemek ve optimum çözümü belirlemek amacıyla da TOPSİS yöntemi kullanılmıştır (Özbilen, 2021).

Metalurji ve malzeme mühendisliği alanında yapılan bir doktora çalışmasında deney tasarımı yöntemi kullanarak 6 farklı parametre ve bu parametrelerin 3 ayrı seviyesi için deney seti oluşturulmuştur. Bu sayede, 729 deney yerine 54 deney yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma sonunda, parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkiler belirlenmiştir (Kurtuluş, 2021).

Gıda mühendisliği alanında yapılmış “Ozmotik Membran Distilasyon Sisteminde Galaktooligosakkarit Sentezinin Optimizasyonu ve Kinetik Modellenmesi” başlıklı doktora tezinde sonuçların analizi ve optimum çözüme ulaşılması amacıyla deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır (Çınar, 2021).

Enerjiye yönelik altyapı yatırımı değerlendirmesi ve seçimi konusunda kriterlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla makine mühendisliği alanında hazırlanan doktora tezinde çok kriterli karar verme yönteminden yararlanılmıştır. Farklı senaryolar farklı kriterler göz önünde bulundurularak sıralanmış ve en uygun yenilenebilir enerji santrali yatırımı saptanmıştır (Yenilmez, 2020).

Mekatronik mühendisliği alanında hazırlanmış olan bir doktora tezinde ise, örgü keçelerin sızdırmazlık performansı incelenirken etki eden parametreler belirlenmiş ve deney tasarımı kullanılarak test düzenekleri oluşturulmuştur. Birçok örgü keçe tasarımı üretilmiş ve sızdırmazlık performansları analiz edilmiştir (Görgün, 2020).

Gemi inşaatı ve gemi makineleri mühendisliği alanında hazırlanan doktora tezi kapsamında, deniz suyu etkisinin ve üretim parametrelerinin malzemenin mukavemeti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Belirlenen parametreler ve seviyeleri ile deney tasarımı kullanılarak deney setleri oluşturulmuş ve mukavemet davranışları değerlendirilmiştir (Yüncüoğlu, 2020).

İnşaat mühendisliği alanında hazırlanmış doktora tezinde, betonun mekanik özelliklerinin lif boyutlarına, geometri ve miktarlarına bağlı değişimi incelenmek istenmiştir. Bu amaçla farklı lif türleri 7 faktör olarak belirlenip 7 faktörlü deney tasarımı yapılmıştır. Deney tasarımı ile otuz farklı karışım oluşturulmuş ve sonuçları analiz edilmiştir (Balçıklı, 2020).

Mimarlık alanında yapılmış bir diğer doktora çalışmasında ise; yapı kabuğu performansını belirlemek amacıyla; ısı ses ve maliyet parametreleri performans kriteri olarak ele alınmıştır. Çalışma kapsamında, belirlenen kriterler doğrultusunda farklı duvar alternatifleri geliştirilmiştir. Oluşturulan alternatifler ise kendi arasında çok kriterli karar verme yöntemi TOPSİS ile karşılaştırılmıştır (Erikci, 2020).

Biyoloji alanında hazırlanmış doktora çalışmasında, bakteriyorodopsin üretim koşullarının en iyilemesi için belirlenen parametreler kullanılarak deney tasarımı aracılığı ile deney setleri elde edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları veri analizi ile değerlendirilmiştir (Erkan, 2020).

İnşaat mühendisliği alanında hazırlanmış doktora çalışmasında, geri kazanılmış agrega kullanımının beton özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda beton numunelerine yapılan deneyler sonucunda elde edilen fiziksel ve mekanik sonuçlar TOPSİS kullanılarak sıralanmış ve en iyi beton serileri belirlenmiştir (Dilbaş, 2020).

Makine Mühendisliği alanında hazırlanmış pirinç alaşımlar hakkındaki doktora çalışmasında, farklı parametreler ile hazırlanmış 108 test numunesi tek tek denenmiştir. İlâveten deney tasarımı ve varyans analizi de çalışılmıştır. Geleneksel yöntem ile deney tasarımı yöntemi sonucunda elde edilen bulgular kıyaslanmış ve her

iki deneysel metot ile bulguların amaçlanan hedefe ulaştığı tespit edilmiştir (Özhan, 2020).

Mimarlık alanında hazırlanmış olan doktora çalışmasında, TOPSİS yöntemi kullanılmış ve üniversitelerin yer seçim alternatifleri değerlendirilmiştir. Öncelikle seçimi etkileyen parametreler belirlenmiş ve alternatifler seçilen parametrelere göre karşılaştırılmıştır (Kuyrukçu, 2019).

Kimya mühendisliği alanında hazırlanmış doktora tezi kapsamında; deney tasarımı kullanılmış ve deney tasarımının cevaplar üzerinde etkili faktör analizinde, optimum faktör seviyelerinin belirlenmesinde çok etkili bir yöntem olduğu vurgulanmıştır (Korucu, 2019).

İnşaat mühendisliği alanında hazırlanmış doktora tezi kapsamında; kamu yapım ihalelerinde, isteklilerin niteliklerini de bir değerlendirme kriteri olarak kabul eden, ihale koşullarını en uygun karşılayacak istekliyi belirleyen bir seçim için TOPSİS yöntemi kullanılmıştır (Özyürek, 2018).

Endüstri mühendisliği alanında hazırlanmış bir doktora tezi kapsamında; çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılarak bir enerji yatırım planlama sistemi belirlenmiştir. Önerilen model ile uzun vadede sürdürülebilir enerji hedefleri doğrultusunda birçok kriterin iyileştirilmesi amaçlanmıştır (ayır, 2018).

BÖLÜM ÜÇ

PASİF EV, EnerPHit SERTİFİKA SİSTEMİ VE DENEY TASARIMI KABUL VE TANIMLAMALARI

3.1 Pasif Ev Sertifika Sistemi

1990'lı yılların başından itibaren, dünyada kullanılan enerjinin %50'sinden fazlasının yapılarda kullanılmasının saptanması ile birlikte binalarda enerji kullanımını minimize edecek çözümler üzerinde çalışılmaya başlanmıştır (Erengözgin, 2005). İlk aşamada enerji kullanımını etkileyen çözümlerin başlıcalarını; yapının konumu, yönü, formu, strüktürü, ısıtma-havalandırma sistemi, kullanılan malzemelerin türü, binanın inşa süreci, bakım ve onarımı, işlevi, esnekliği, kullanım ömrü oluşturmaktadır (Foster, 2003).

Enerjiyi etkin ve verimli kullanmak amacıyla dünyada; birçok yasa, yönetmelik, sertifika sistemi gündeme getirilip kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişmelere paralel olarak, dünyada, başta Avrupa'da olmak üzere, birçok ülkede, pasif sistemler kullanarak, az enerji tüketen, çevreye duyarlı sürdürülebilir yapılar inşa edilmiştir. Bu süreçte; 1990'lı yıllarda pasif sistemlerin, belirli standartlar çerçevesinde kullanıldığı yapılar, sertifikalandırılmaya başlanmıştır. Bu gelişmelere bağlı olarak, dünyada ilk defa, 1996 yılında Almanya Darmstadt'ta Pasif Ev Enstitüsü kurulup faaliyete geçirilmiştir. Günümüzde sürdürülebilir bir yapının, bulunduğu iklim kuşağına uygun pasif sistem çözümleri ile tasarlanıp, aktif sistemlere en az ihtiyaçla iç mekân konforunun sağlanması önem kazanmıştır (Aşıkoğlu, 2014).

Pasif Ev, enerji verimli binaların tasarımı ve inşası için oluşturulmuş dünyanın önde gelen kavramları arasındadır (Fokaidesa, Christoforoua, Ilicb, Papadopoulosda, 2016) Pasif iklimlendirme sistemlerinde amaç, bölgenin iklimsel verileri ve insanların iklimsel gereksinimleri değerlendirilerek ısıtma, soğutma ve havalandırma yapılırken, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak, binalarda enerji korunumunu yükseltmek, mekanik sistemlerin sorumluluğundaki aktif iklimlendirme yükünü azaltmaktır (Utkutuğ, 1999), (Özteker, 2005).

“Pasif Evler” çok iyi yalıtılmış, ısıtma ihtiyacı çok düşük; yani yıllık 15 kWh/m²’yi geçmeyecek şekilde planlanmış dolayısıyla geleneksel ısıtma sistemlerine gereksinim duymayan binalar olarak tanımlanmaktadır. Yeni yapılarda uygulanabildiği gibi yenilenecek yapılarda da uygulanabilmektedir.

En önemli avantajı kullanıcılara konfor sağlamasıdır. Binanın tüm yüzeyindeki sıcaklıklar birbirine yakındır, dolayısıyla ısısal farklılıktan dolayı hava akımı olmaz. Mekanik havalandırma sistemiyle bina içerisinde iyi hava kalitesi elde edilir.

Enerji kullanım ihtiyacı 15kWh/m² ile sınırlandırıldığından %90’a varan enerji tasarrufu sağlar. Enerji kullanımının azaldığı oranda CO₂ salımları da azalır (passivehouse, bt).

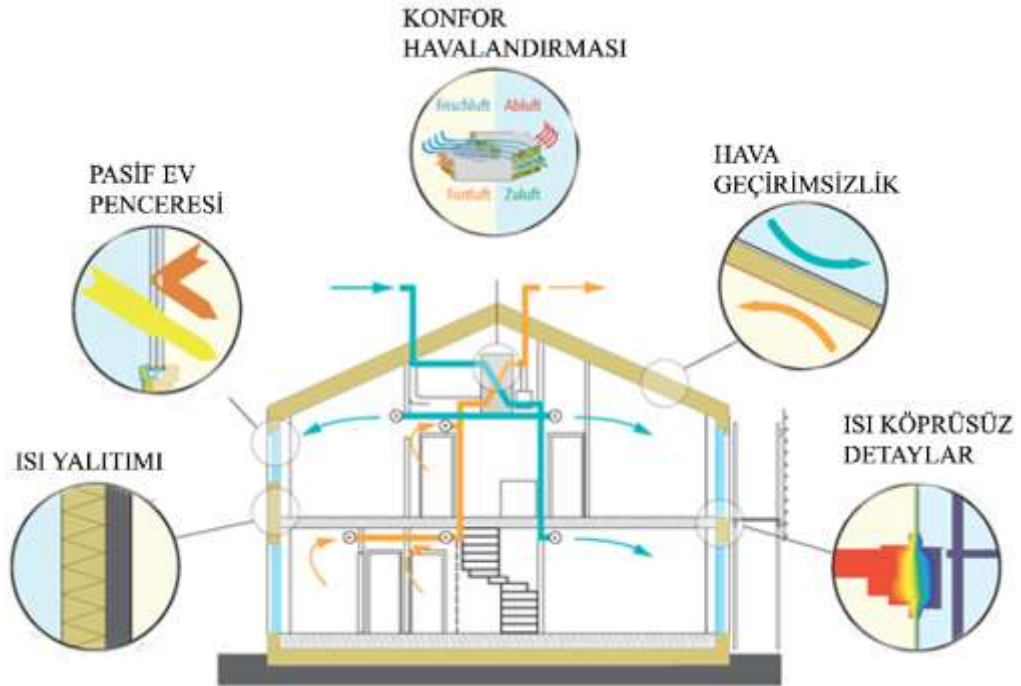
Pasif Ev Enstitüsü, mevcut bir yapının Pasif Ev standartlarına ulaşabilmesi için, mevcut yapılara yönelik EnerPHit sertifikasyon sistemini düzenlemiştir.

3.1.1 Yeni Yapılar için Pasif Ev Sertifika Sistemi

Pasif Ev; enerji etkin, konforlu ve maliyet etkin bir bina standardı olarak tanımlanmaktadır. Pasif evler; tipik bina stoklarına göre %90’a varan, yeni binalara göre %75’e varan enerji tasarrufu sağlanmış yapılar olma özelliğini göstererek “düşük enerjili binalar”dan daha az enerji tüketmektedir. Pasif evler, iç ısı kaynaklarını ve ısı geri kazanımını verimli bir şekilde kullanırken; soğuk kış günlerinde bile geleneksel ısıtma yöntemlerini büyük oranda gereksiz kılmaktadır. Sıcak aylarda ise pasif gölgeleme teknikleri ile aktif soğutmanın yükünü azaltmaktadır. Yüksek yalıtımlı yapı kabuğu sayesinde, dış ortam sıcaklık farklılıklarına rağmen, iç mekân sıcaklığının sabit kalması sağlanmaktadır (passiv, bt.).

Pasif ev kavramının yaygınlaştırılması amacıyla kurulan Pasif Ev Enstitüsü, Pasif Ev kriterlerini oluşturmuş ve bu kriterleri sağlayan binalar için sertifika sistemi geliştirmiştir. Pasif Ev Enstitüsü tarafından geliştirilen Pasif Ev kriterleri aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir;

- Isı yalıtımı: Binayı oluşturan yapı kabuğunun çok iyi yalıtılmış olması gerekmektedir. Opak yapı bileşenlerinin U değeri $0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ 'i geçmemelidir.
- Pasif ev pencereleri: Pencere çerçeveleri iyi yalıtımlı olmalı, camlar ise ısı transferini engellemek amacıyla low-e argon veya kripton dolgulu seçilmelidir.
- Havalandırma ve ısı geri kazanım: Yüksek verimlilikli ısı geri kazanım sistemi ile iyi bir iç hava kalitesi sağlanmalı, enerji tasarrufu yapılmalıdır. En az %75 verimlilikte mekanik havalandırma kullanılmalıdır.
- Binanın hava sızdırmazlığı: 50 Pascal basınç altında sızıntı, saat başına toplam ev hacminin 0,6 sından küçük olmalıdır.
- Termal köprü olmaması: Tüm bağlantı noktaları, köşeler dikkatle planlanmalı ve uygulanmalıdır. Kaçınılması mümkün olmayan termal köprüler mümkün olduğunca en aza indirilmelidir (passiv, bt.).



Şekil 3.1: Pasif Ev kriterleri için oluşturulan şema (passivehouse, bt.)

Bir yapının Pasif Ev sertifikası alabilmesi için gerekli kriterler, Şekil 3.1’de belirtilmektedir. Bu kriterler kısaca; düşük U değerli cam, ısı yalıtımı, mekanik

havalandırma sistemi, ısı köprülerinden kaçınmaya yönelik detay çözümleri, hava sızdırmazlık olarak sıralanabilir.

Isıtma enerjisi ihtiyacı: Müstakil bir evin ısıtma enerjisi ihtiyacı	kWh / m ² yıl 300 - 250	kWh / m ² yıl 150 - 100	kWh / m ² yıl 50 - 40	kWh / m ² yıl <15
BİNA STANDARTI	Tam anlamıyla yetersiz ısı yalıtımı yapısal açıdan güvenilir olmayan, ısıtma maliyeti artık ekonomik olmayan (karsal bölgelerdeki evler, modernize edilmemiş eski yapılar)	Yetersiz ısı yalıtımı ısıtma konusunda yenilemenin net şekilde üzerinde uğraşmaya değeceği durumlar	Düşük enerji tüketimi olan evler	Çok düşük enerji tüketimi olan evler (pasif evlerin, gerekli şartlar grafiğine göre bu parametreyi karşılaması gerekmektedir.)
BİNA ELEMANI	U değerleri ve yalıtım kalınlıkları			
Daş duvarlar (25 cm masif duvar) Yalıtım kalınlığı	1,30 W / (m ² K) 0 cm	0,40 W / (m ² K) 6 cm	0,20 W / (m ² K) 16 cm	0,13 W / (m ² K) yaklaşık 30 cm
Çatı Yalıtım kalınlığı	0,90 W / (m ² K) 6 cm	0,22 W / (m ² K) 22 cm	0,15 W / (m ² K) 30 cm	0,10 W / (m ² K) 40 cm
Döşemeden zemine Yalıtım kalınlığı	1,00 W / (m ² K) 0 cm	0,40 W / (m ² K) 6 cm	0,25 W / (m ² K) 10 cm	0,15 W / (m ² K) yaklaşık 26 cm
Pencereler	5,10 W / (m ² K) Tek cam	2,80 W / (m ² K) Çift cam, yalıtım camı (hava doldurulmuş)	1,10 W / (m ² K) Çift cam, ısı yalıtımlı cam	0,80 W / (m ² K) Üç cam, ısı yalıtımlı cam, özel çerçeve
Havalandırma	Sızdırma yapan birleşim yerleri	Pencereleri açmak	Kirli hava emişi	Isı geri kazanımlı konfor havalandırması
CO₂ emisyonu	40 kg / m ² yıl	30 kg / m ² yıl	10 kg / m ² yıl	2 kg / m ² yıl
Yaşanılan hacmin ısıtılması için m³'de yıllık enerji tüketimi (fuel oil)	30 - 25 litre	15 - 10 litre	4 - 5 litre	1,5 litre

Şekil 3.2: Bina standartlarına göre yıllık enerji tüketimleri (Ülgen, 2016)

Dünyada 2017 yılı itibari ile Pasif Ev sertifikasına sahip 4111 yapı bulunmaktadır. (passivehouse, bt.). Yukarıdaki şekillerde belirtildiği gibi pasif ev standartlarına uygun yapılmış binalar hem CO₂ emisyonu açısından hem de enerji tüketimi açısından sertifikalandırılmış ya da yönetmeliklere uygun pek çok yapıdan daha olumlu özellikler taşımaktadır. Bu çalışmada da hedeflenen, pasif ev standartlarının Türkiye koşullarına adaptasyonu ile enerji etkin yapı tasarımına katkıda bulunmaktadır.

3.1.2 Mevcut Yapılar İçin Pasif Ev (EnerPHit) Sertifika Sistemi

Pasif Ev Enstitüsü, mevcut binaların iyileştirilmesi amacıyla Pasif Ev bileşenlerini kullanarak EnerPHit sertifikalı yenileme sertifikasyon sistemini geliştirmiştir (passiv, bt.).

Mevcut binaların Pasif Ev bileşenleri ile yenilenmesi sonucunda; binalarda çok büyük miktarda enerji tasarrufu yapılması mümkün olduğu görülmektedir. Mevcut binalarda Pasif Ev bileşenleri ile retrofit yapmanın hedefleri aşağıda belirtilmektedir:

- İyileştirilmiş ısı yalıtımı
- Termal köprülerin en aza indirilmesi
- Geliştirilmiş hava geçirmezlik
- Enerji performansı açısından iyi kalitede pencerelerin kullanımı
- Verimli ısı geri kazanımlı havalandırma
- Verimli ısı üretimi
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı

Bugüne kadar mevcut binalarda yukarıdaki yöntemlerin kullanımı ile çok sayıda iyileştirme örneği yapılmıştır ve bu iyileştirmelerde % 75 ile % 90 arasında enerji tasarrufu sağlanmıştır (passiv, bt.).

Pasif Ev Enstitüsü, mevcut bir yapının Pasif Ev standartlarına ulaşabilmesi için, mevcut yapılara yönelik EnerPHit sertifikasyon sistemini düzenlemiştir (passiv, bt.). EnerPHit standardına uygun iyileştirme, Pasif Ev kriterlerini kullanarak, termal konfor, strüktürel bütünlük, maliyet etkinlik ve enerji ihtiyacı dikkate alınarak yapılmaktadır.

2020 yılı itibarıyla dünyada EnerPHit sertifikasına sahip 74 yapı bulunmaktadır. Bu çalışmada 2017 yılına kadar dünya genelinde EnerPHit sertifikasına sahip ve Pasif Ev veri tabanında yer almış 34 adet yapı analiz edilmiştir (passivehouse-database, bt.). Sertifikalı yapılardan bir tanesi Türkiye’de Gaziantep ilinde bulunmaktadır.

3.1.2.1 EnerPHit Sertifika Sisteminde Belirtilen Yöntemler

Pasif Ev Enstitüsü'ne göre, mevcut binalarda EnerPHit kriterlerini sağlayabilmek için kullanıcıya iki yöntem alternatifi sunulmaktadır. Bu yöntemler;

Yöntem 1: Yapı bileşeni U-değerleri yöntemi (Tablo 3.1)

Yöntem 2: Enerji talebi yöntemi olarak belirtilmektedir (Tablo 3.2).

EnerPHit sertifikası için bu yöntemlerden sadece birinin ölçütlerinin karşılanması gerekmektedir. EnerPHit sertifika sisteminde belirtilen kriterler, yapının bulunduğu iklim bölgesine göre farklılıklar göstermektedir. İklim bölgelerine göre standart sınır değerler Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1: Yöntem 1; EnerPHit-Standardı, yapı bileşeni U-değerleri kriterleri yöntemi (passiv. bt.)

PHPP'ye göre iklim bölgesi	Opak yapı kabuğu elemanları				Pencereler ve dış kapılar			Havalandırma	
	Zemin	Havayla temas eden			Tüm sistem	Cam	Güneş yükü	Minimum ısı geri kazanım oranı	Minimum nem geri kazanım oranı
	Yalıtım	Dış yalıtım	İç yalıtım	Dış cephe boya	Maksimum ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri)	Güneş ısı kazanç katsayısı (g-değeri)	Soğutma döneminde maksimum güneş yükü		
		Maksimum ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri)		Soğuk renkler					
		[W/(m²K)]			[W/(m²K)]				
Arktik	PHPP'de belirlenen değerler	0.09	0.25	—	0.45	$U_{f-g} \leq 0.7$	100	80%	—
Soğuk		0.12	0.3	—	0.65	$U_{f-g} \leq 1.0$		80%	—
Soğuk-ılıman		0.15	0.35	—	0.85	$U_{f-g} \leq 1.6$		75%	—
Sıcak-ılıman		0.3	0.5	—	1.05	$U_{f-g} \leq 2.8$		75%	—
İlman		0.5	0.75	—	1.25	—		—	—
Sıcak		0.5	0.75	Var	1.25	—		—	60% (nemli iklim)
Çok sıcak		0.25	0.45	Var	1.05	—		—	60% (nemli iklim)

Tablo 3.2 Yöntem 2; EnerPHit Standardı, enerji talebi yöntemi (passiv. bt.)

PHPP'ye göre iklim bölgesi	Isıtma	Soğutma
	Maksimum ısıtma talebi	Maksimum soğutma + nemlenme talebi
	[kwh/(m²a)]	[kwh/(m²a)]
Arktik	35	PassivHaus kriterlerinde belirtilen değerlere eşittir
Soğuk	30	
Soğuk-ılıman	25	
Sıcak-ılıman	20	
İlman	15	
Sıcak	—	
Çok sıcak	—	

3.1.2.2 EnerPHit Sertifikasına Sahip Yapıların Analizi ve Değerlendirmesi

EnerPHit sertifikasının uygulanma teknikleri, malzeme seçimleri, farklı iklim bölgelerindeki seçimlerin analiz edilmesi amacıyla bu bölümde sertifikalı örnekler incelenmiştir. Bu doğrultuda; 2017 yılına kadar EnerPHit sertifikası almış ve Pasif Ev veri tabanında yer almış farklı bölgelerde bulunan yapıların tamamı (34 yapı) bu çalışma kapsamında ele alınmıştır.

EnerPHit sertifikası almış 34 yapı; aşağıdaki parametreler açısından Tablo 3.3’de incelenmiştir;

- Yapım yılı, enerji etkin iyileştirme yılı, kullanım alanı,
- Yapım yeri,
- Kullanım tipi,
- Duvar yalıtım malzemesi, duvar U-değeri,
- Zemin yalıtım malzemesi, zemin U-değeri,
- Çatı yalıtım malzemesi, çatı U-değeri,
- Pencereler, pencere U-değeri,
- Yıllık metrekare başına ısıtma enerjisi ihtiyacı (kWh/(m²a)),
- Yıllık metrekare başına birincil enerji ihtiyacı (kWh/(m²a)).

Tablo 3.3 İncelenen EnerPHit sertifikası almış 34 yapı

No	Yapı ID Numarası*	Yapım Yılı/ Retrofit Yılı/ Kullanım Alanı	Yapım Yeri	Kullanım Alanı	Duvar Yalıtım Malzemesi / Yalıtım Malzemesi Kalınlığı/ Duvar U-Değeri	Zemin Yalıtım Malzemesi / Yalıtım Malzemesi Kalınlığı/ Zemin U-Değeri	Çatı Yalıtım Malzemesi / Yalıtım Malzemesi Kalınlığı/ Çatı U-Değeri	Pencereler / Pencere U- Değeri**	Yıllık m ² Başına Isıtma Enerjisi İhtiyacı	Yıllık m ² Başına Birincil Enerji İhtiyacı
					mm. W/(m ² K)	mm. W/(m ² K)	mm. W/(m ² K)	W/(m ² K)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
1	1211	- / 2005 / 3850 m ²	Frankfurt, Almanya	Apartman	Isı yalıtımı 260 0,11	Isı yalıtımı 120 0,174	Selülozik izolasyon 400 0,174	3'lü cam 0,60 Doğrama 0,87	17	120
2	1922	1958 /- / 313 m ²	Baden, Almanya	Müstakil konut	Selülozik izolasyon - 0,106	İzolasyon 110 0,452	İzolasyon 360 0,088	3'lü cam 0,59 Doğrama 0,77	39	70
3	2069	1935 / 2011 /207 m ²	Minnesota, ABD	Müstakil konut	Selülozik izolasyon 241 0,106	EPS 229 0,145	Selülozik izolasyon 470 0,11	3'lü cam 0,50 Doğrama 0,77	27	120
4	2347	1890 / 2011 / 2824 m ²	Münih, Almanya	Konut + Ofis	PUR 260 0,18	PUR 140 0,169	İzolasyon 300 0,117	3'lü cam 0,57 Doğrama 0,85	24	117

* Yapının Pasif Ev veri tabanındaki kimlik numarasını temsil etmektedir.

(Database, bt.)

**(Argon dolgulu A.D. şeklinde kısaltılmıştır.)

Tablo 3.3 devamı

5	2515	1960 / 2012 / 146 m ²	Dublin, İrlanda	Müstakil konut	EPS 150 0,13	EPS 300 0,1	Selülozik izolasyon 350 0,11	3'lü cam 0,61 Doğrama 1,04	17	109
6	2629	1960 / 2012 / 365 m ²	New York, ABD	Müstakil konut	EPS 127 0,158	Selülozik izolasyon 241 0,27	Selülozik izolasyon + EPS 291+51 0,112	3'lü cam 0,60 Doğrama 0,84	22	117
7	2665	1930/ 2012 / 324 m ²	Westport, ABD	Müstakil konut	Foamglas + Selüloz 254 + 140 0,14	Foamglas 152 0,91	PUR + Foamglas 203 + 51 0,086	3'lü cam (A.D.) 0,60 Doğrama 0,89	25	103
8	2724	- / 2012 / 393 m ²	Heinsberg, Almanya	Kilise	Mineral yün 240 0,183	PUR 60 0,160	Mineral yün 320 0,148	3'lü cam (A.D.) 0,60 Doğrama 0,83	30	67
9	3835	1960 / - / 367 m ²	Dublin, İrlanda	Müstakil konut	EPS 200 0,17	PIR 160 0,131	Cam yünü 200 0,115	3'lü cam 0,60 Doğrama 1,5	21	109
10	3942	-/ 2013 / 668,3 m ²	Viyana, Avusturya	Apartman	EPS 320 0,089	Mineral yün 290 0,128	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş 0,53 Doğrama 0,73	16	116
11	3966	- / 2011 / 629 m ²	Branderburg, Almanya	Apartman	İzolasyon paneli 100 0,139	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	3'lü cam 0,5 Doğrama 0,914	15,7	119
12	3996	1970/ 2013 / 352 m ²	Alsace, Fransa	Ofis	Polistren levha + Cam yünü 100 + 200 0,189	Belirtilmemiş	Cam yünü 360 0,108	3'lü cam 0,69 Doğrama 0,94	22	117
13	4044	- / 2013 / 139 m ²	Londra, İngiltere	Müstakil konut	Fenolik izolasyon 100 0,173	PIR + Fenolik izolasyon 30 + 100 0,122	Fenolik izolasyon 130 0,14	3'lü cam (A.D.) 0,58 Doğrama 1,06	23	114

Tablo 3.3 devamı

14	4200	- / 2014 / 8897 m ²	Innsbruck, Avusturya	Üniversite	Mineral yün + PU 240 + 40 0,12	Taş yünü 200 0,189	XPS 240 0,141	3'lü cam 0,57 Doğrama 1,4	20	190
15	4242	1908 / 2014 / 3544 m ²	Hamburg, Almanya	Apartman	EPS 260 0,12	EPS 260 0,14	EPS 340 0,1	3'lü cam (A.D.) 0,5 Doğrama 0,78	26	77
16	4364	1900 / 2012 / 249 m ²	New York, ABD	Müstakil konut	Selülozik izolasyon - 0,332	XPS - 0,82	Selülozik izolasyon + EIFS - 0,083	3'lü cam (A.D.) 0,5 Doğrama 1,16	15	119
17	4400	1955 / 2011 / 65 m ²	Warwick, İngiltere	Müstakil konut	Fenolik izolasyon 200 0,101	PIR 200 0,105	PIR 75 0,112	3'lü cam 0,623 Doğrama 0,84	23	118
18	4491	- / 2014 / 328 m ²	Brooklyn, ABD	Müstakil konut	Taş yünü - 0,268	Yalıtım levhası - 0,269	Belirtilmemiş - 0,13	3'lü cam (A.D.) 0,5 Doğrama 1,16	22	118
19	4639	1870 / 2014 / 217 m ²	Brooklyn, ABD	Müstakil konut	Selülozik izolasyon - 0,219	EPS - 0,314	Selülozik izolasyon - 0,12	3'lü cam (A.D.) 0,6 Doğrama 1,29	25	96
20	4648	1978 / 2014 / 309 m ²	Rhone, Fransa	Müstakil konut	Polistiren 200 0,121	XPS 60 0,538	Cam yünü + Selülozik izolasyon 100 + 150 0,092	3'lü cam 0,58 Doğrama 0,77	25	123
21	4727	- / 2015 / 386 m ²	Burgos, İspanya	Üniversite	PUR 100 0,264	XPS 150 0,222	Cam yünü 300 0,133	3'lü cam (A.D.) 0,5 Doğrama 0,82	49	130
22	4749	- / 2014 / 287 m ²	Magheraveely, İngiltere	Müstakil konut	Polistiren - 0,136	Fenolik izolason - 0,097	Mineral yün - 0,112	3'lü cam (A.D.) 0,5 Doğrama 0,83	18	108

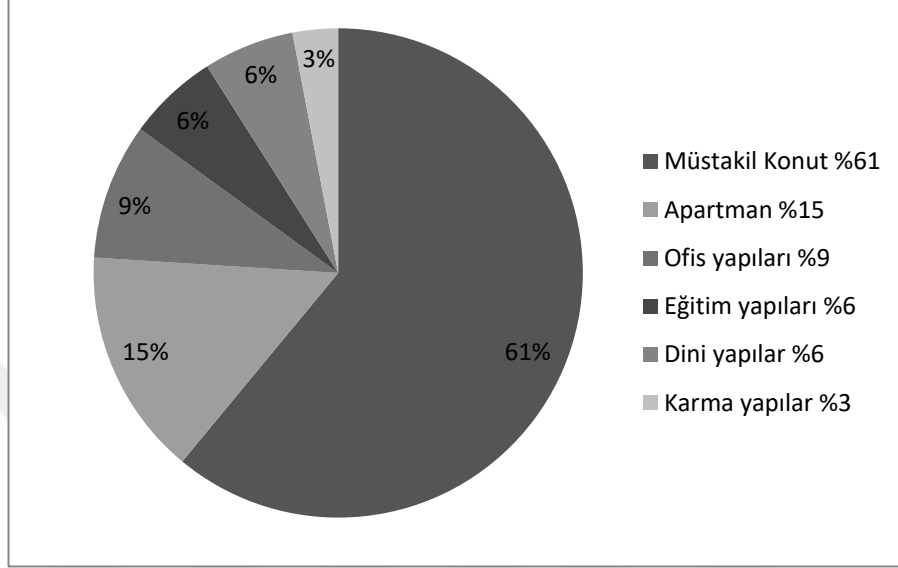
Tablo 3.3 devamı

23	4974	- / 2015 / 208 m ²	Gaziantep, Türkiye	Ofis	Mineral yün 150 0,149	XPS 200 0,169	Mineral yün 200 0,201	3'lü cam (A.D.) 0,56 Doğrama 0,81	20	79
24	5045	- / 2014 / 552 m ²	New York, ABD	Müstakil konut	Selülozik izolasyon - 0,259	Belirtilmemiş - 0,273	Selülozik izolasyon 239 0,116	3'lü cam (A.D.) 0,5 Doğrama 1,13	20	125
25	5070	- / 2015 / 98 m ²	Huddersfield, İngiltere	Kilise	Cam yünü 240 0,132	PUR 200 0,108	EPS+ Fibre izolasyon - 0,1	3'lü cam 0,53 Doğrama 0,78	33	136
26	5193	- / 2013 / 130 m ²	Bellbrae, Avustralya	Müstakil konut	Elyaf izolasyon - 0,223	Elyaf izolasyon - 0,284	Kingspan - 0,172	3'lü cam 0,9 Doğrama 1,09	14	69
27	5242	- / 2016 / 3326 m ²	Vitoria, İspanya	Ofis	EPS 200 0,132	Mineral yün 150 0,143	Foamglas 260 0,149	3'lü cam 0,65 Doğrama 0,83	20	105
28	5259	- / 2011 / 127m ²	Hokkaido, Japonya	Müstakil konut	Taş yünü 400 0,077	XPS 150 0,178	Taş yünü 443 0,063	3'lü cam 0,94 Doğrama 1,4	21	85
29	5279	- / 2016/ 558 m ²	Brooklyn, ABD	Müstakil konut	Selülozik izolasyon - 0,226	Belirtilmemiş - 0,27	Selülozik izolasyon 200 0,113	3'lü cam (A.D.) 0,47 Doğrama 1,05	16	92
30	5304	- / 2017/ 1207 m ²	Toyama, Japonya	Apartman	EPS + XPS 150 + 25 0,201	XPS 100 0,276	Fenolik izolasyon + XPS 130 + 25 0,145	3'lü cam 0,97 Doğrama 1,29	19,5	66
31	5345	- / 2015/ 169 m ²	Hooe, İngiltere	Müstakil konut	Taş yünü 200 0,20	Belirtilmemiş - 0,18	Taş yünü - 0,13	3'lü cam (A.D.) 0,54 Doğrama 0,74	52	158

Tablo 3.3 devamı

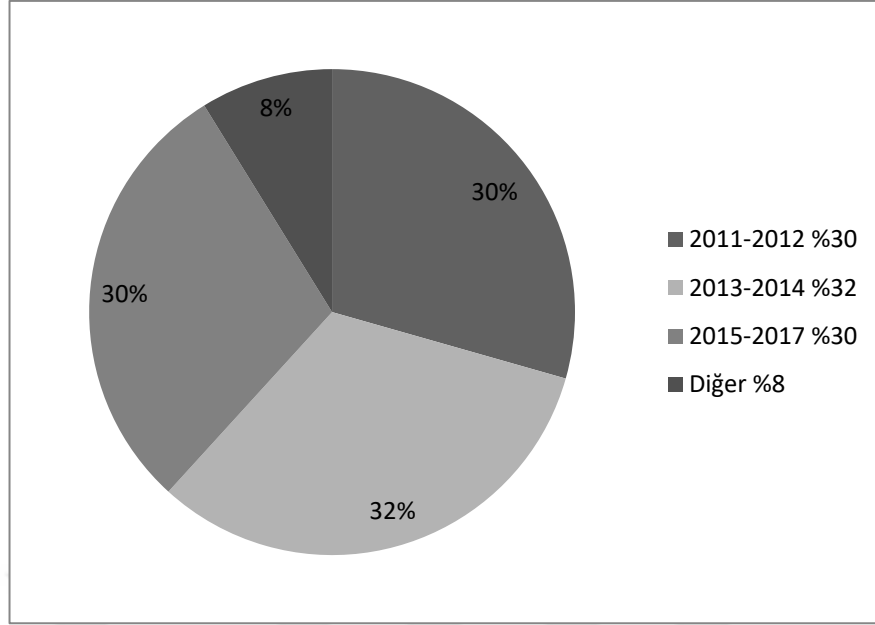
32	5349	- / 2015/ 352 m ²	Brooklyn, ABD	Müstakil konut	Selülozik izolasyon - 0,26	Belirtilmemiş - 0,26	Selülozik izolasyon 200 0,114	3'lü cam (A.D.) 0,6 Doğrama 1,13	19	102
33	5350	- / 2016 / 366 m ²	New York, ABD	Müstakil konut	Selülozik izolasyon - 0,296	Belirtilmemiş - 0,437	Selülozik izolasyon 200 0,145	3'lü cam (A.D.) 0,6 Doğrama 0,74	20	117
34	5413	- / 2016 / 93 m ²	Rhone, Fransa	Müstakil konut	İzolasyon 205 0,119	PU köpük 200 0,108	İzolasyon 500 0,086	3'lü cam (A.D) 0,50 Doğrama 0,79	29	124

Yapılan değerlendirmeler sonucunda; Şekil 3.3’de görüldüğü gibi, EnerPHit sertifikası almış yapıların %61’inin müstakil ev, %15’inin apartman, %9’unun ofis yapısı, %6’sının eğitim yapısı %6’sının dini yapı ve %3’ünün karma kullanımlı yapılar olduğu saptanmıştır.

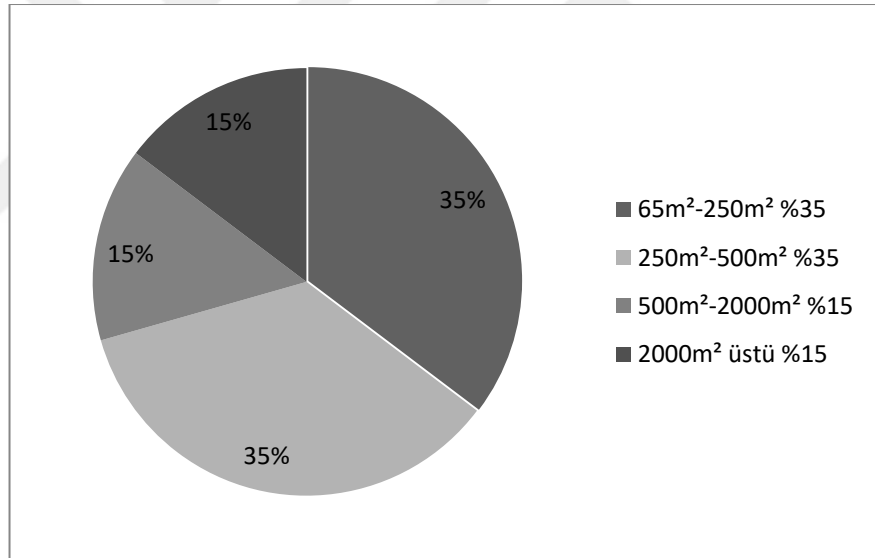


Şekil 3.3. İncelenen yapıların yapı tipine göre dağılımları

İncelenen 34 yapının enerji etkin iyileştirme sonucunda EnerPHit sertifikası aldığı yıllara göre dağılımları (2011-2017 arasında) Şekil 3.4’de ve yapının kullanım alanına (metrekare) göre dağılımları Şekil 3.5’te görülmektedir. 2011 ve 2017 arasındaki yıllarda EnerPHit sertifikası almış yapıların, her yıl periyodunda benzer sayıda olduğu ve bu yapıların 65 m² ile 8,897 m² arasında değişen, çeşitli kullanım amaçlarına sahip yapılar olduğu gözlenmiştir. Yapılardan 10’u 2011-2012, 11’i 2013-2014, 10’u 2015-2017 yılları arasında EnerPHit sertifikası almıştır. İncelenen yapılardan üçünün ise, EnerPHit sertifikası aldığı yıl belirtilmemiştir. 12 yapı 65 m²-250m² arasında, 12 yapı 250 m²-500 m² arasında, dört yapı 500 m²- 2000 m² arasında, beş yapı ise 2,000 m² üstünde kullanım alanında sahiptir.

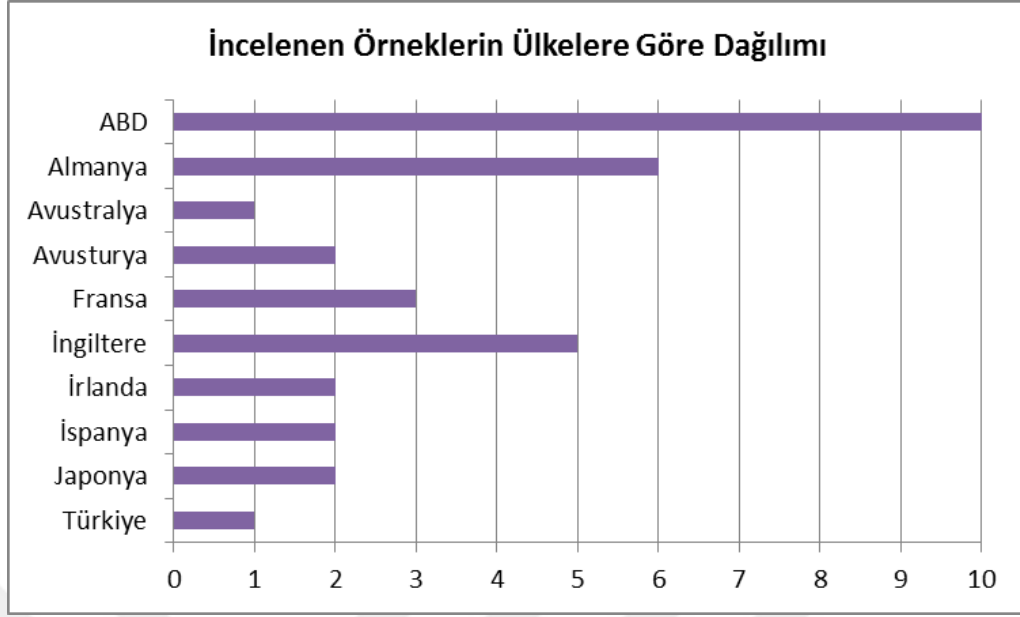


Şekil 3.4 İncelenen yapıların enerji etkin iyileştirme yıllarına göre dağılımları



Şekil 3.5 İncelenen yapıların metrekarelerine göre dağılımları

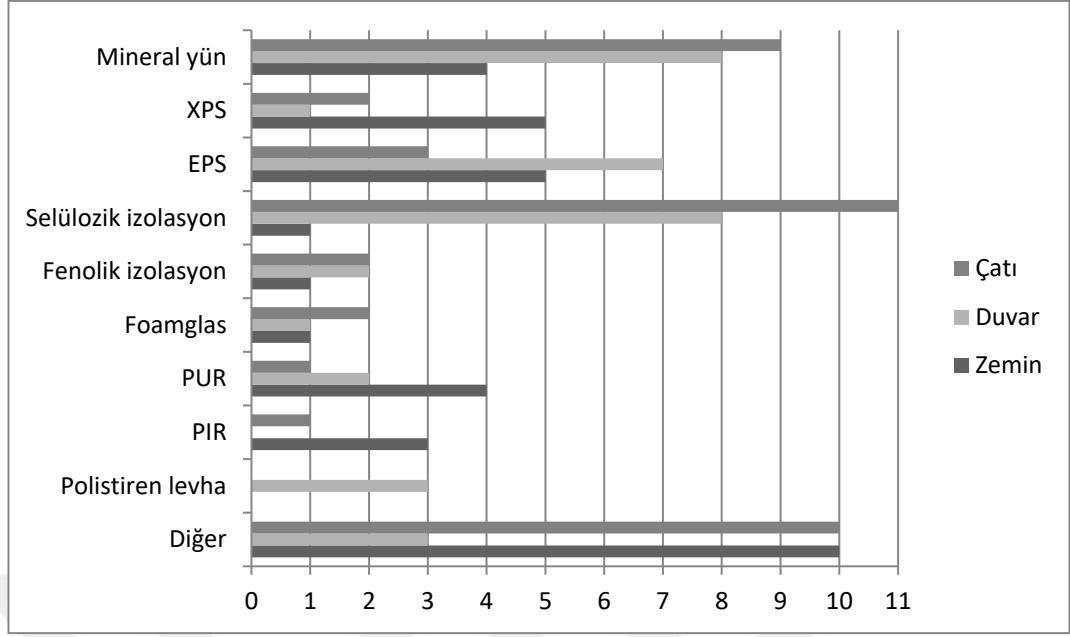
İncelenen yapılar bulundukları ülkedeki sayılara göre sıralandığında, Şekil 3.6’da belirtildiği gibi 10’u ABD’de, altısı Almanya’da, beşi İngiltere’de, üçü Fransa’da, ikişer tanesi Avusturya, İrlanda, İspanya ve Japonya’da, birer tanesi Türkiye ve Avustralya olmak üzere dünyanın farklı ülke ve bölgelerinden farklı sayılarda yapıların yer aldığı görülmektedir.



Şekil 3.6 İncelenen yapıların bulundukları ülkelere göre dağılımları

İncelenen yapılarda duvar, çatı ve zeminde enerji etkin iyileştirme yapılırken, kullanılan malzemeler ve kullanım sıklığı incelendiğinde; mineral yün (cam yünü, taş yünü, elyaf kaynaklı yün yalıtım vb.), XPS, EPS, selülozik izolasyon, fenolik izolasyon, foamglas, PUR, PIR, polistiren levha vb. yalıtım malzemelerinin kullanıldığı görülmüştür (Şekil 3.7).

Çatı yalıtım malzemesi olarak en yüksek sıklıkta sırasıyla; selülozik izolasyon, mineral yün ve EPS, duvar yalıtım malzemesi olarak da en yüksek sıklıkta sırasıyla; selülozik izolasyon, mineral yün, EPS, PUR ve XPS, zemin yalıtım malzemesi olarak en yüksek sıklıkta sırasıyla; XPS, EPS, mineral yün ve PUR kullanıldığı saptanmıştır. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi, farklı türlerde yalıtım malzemeleri kullanılarak, enerji etkin iyileştirmeler yapılmıştır. İncelenen yapıların bir kısmında, çatı, duvar ve zeminde ulaşılan toplam U-değeri paylaşılmış, kullanılan yalıtım malzemesi belirtilmemiştir. Bu yapılar için malzeme seçimleri diğer olarak belirtilmiştir.



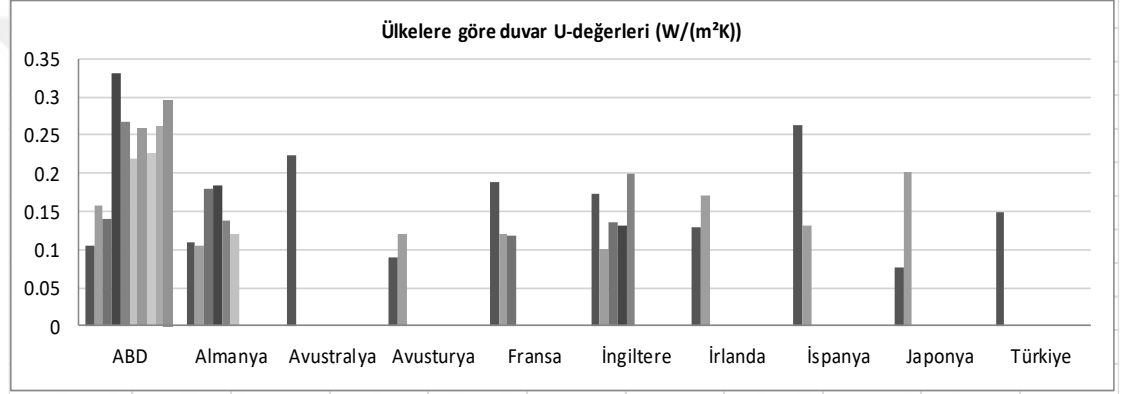
Şekil 3.7 Çatı, duvar ve zeminde kullanılan yalıtım malzemesi cinsi ve kullanım sıklığı

Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de gösterilen seçenekli EnerPHit kriterleri (yapı bileşenleri U-değerleri kriterleri ve enerji talebi yöntemi), yapının bulunduğu iklim bölgesine göre seçimler yapılması gerektiğini belirtmektedir. Daha önceden de açıklandığı gibi; Pasif Ev sertifikası için öncelikle, PHPP veri tabanından yapının bulunduğu iklim bölgesi verisi alınmaktadır. Bu sebeple, her ülkenin kendi iklim bölgesine uygun kriterler doğrultusunda mimari çözüm üretmesi beklenmektedir. Her ülkenin bulunduğu iklim koşulları ve bu koşullara mekânların enerji etkin ve konforlu adapte edilmesi amacı; ülkelerin malzeme tip seçimlerini, kalınlık seçimlerini, detay çözümlerini, farklı yapı bileşenlerinde ulaştıkları ısı iletkenlik değerlerini farklılaştırmaktadır. Bu nedenle ülkelere ait duvar, zemin ve çatı U-değerleri, Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’da verilmiştir.

İncelenen yapılarda, duvar, zemin ve çatıda ulaşılan U-değerleri; yapı bileşenine göre ve ülkelere göre farklılık göstermektedir. Ele alınan örneklerde, enerji etkin yenileme sonucunda duvarda ulaşılan en düşük U-değerinin 0,077 W/(m²K) ile Japonya’da, en yüksek U-değerinin ise 0,332 W/(m²K) ile ABD’de olduğu görülmektedir. Zeminde enerji etkin iyileştirme kapsamında yapılan yalıtıma bakıldığında ise; en düşük U-değerinin 0,097 W/(m²K) ile İngiltere’de, en yüksek U-değerinin ise 0,91 W/(m²K) ile ABD’de olduğu görülmektedir. İncelenen örnekler

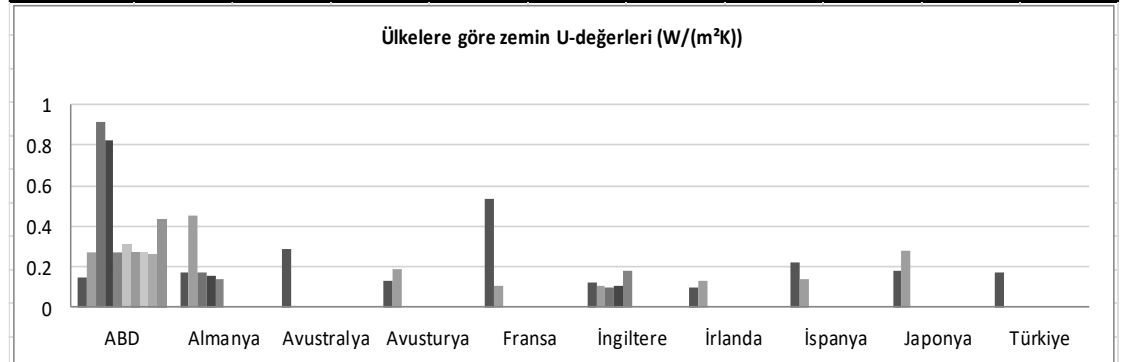
kapsamında çatıda, yapılan iyileştirme sonucunda ulaşılan en düşük U-değerinin 0,063 W/(m²K) ile Japonya’da, en yüksek U-değerinin 0,201 W/(m²K) ile Türkiye’de olduğu görülebilmektedir.

	Ülkelere göre duvar U-değerleri (W/(m ² K))									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ABD	0.106	0.158	0.14	0.332	0.268	0.219	0.259	0.226	0.26	0.296
Almanya	0.11	0.106	0.18	0.183	0.139	0.12				
Avustralya	0.223									
Avusturya	0.089	0.12								
Fransa	0.189	0.121	0.119							
İngiltere	0.173	0.101	0.136	0.132	0.2					
İrlanda	0.13	0.17								
İspanya	0.264	0.132								
Japonya	0.077	0.201								
Türkiye	0.149									



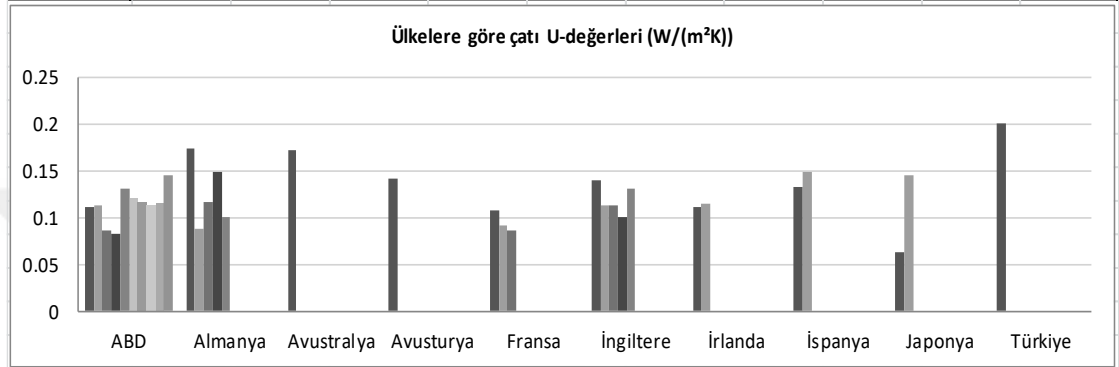
Şekil 3.8. İncelenen örneklerde ülkelere göre duvar U-değerleri W/(m²K)

	Ülkelere göre zemin U-değerleri (W/(m ² K))									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ABD	0.145	0.27	0.91	0.82	0.269	0.314	0.273	0.27	0.26	0.437
Almanya	0.174	0.452	0.169	0.16	0.14					
Avustralya	0.284									
Avusturya	0.128	0.189								
Fransa	0.538	0.108								
İngiltere	0.122	0.105	0.097	0.108	0.18					
İrlanda	0.1	0.131								
İspanya	0.222	0.143								
Japonya	0.178	0.276								
Türkiye	0.169									



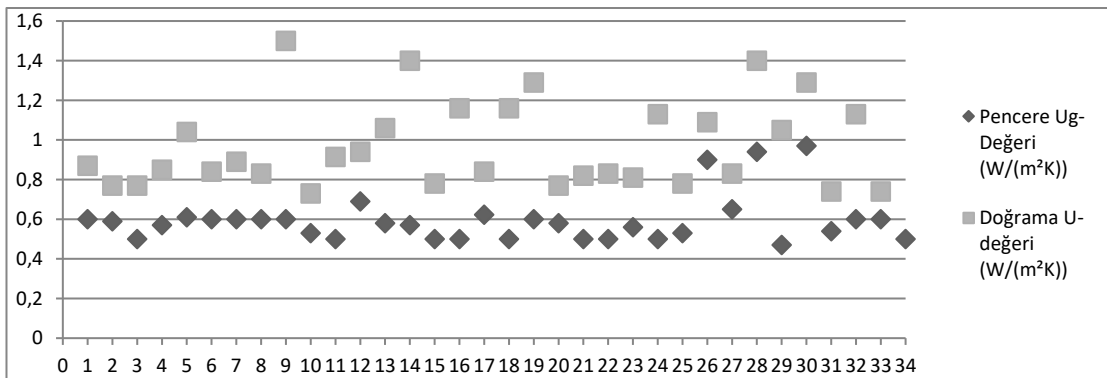
Şekil 3.9 İncelenen örneklerde ülkelere göre zemin U-değerleri W/(m²K)

	Ülkelere göre çatı U-değerleri (W/(m²K))									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ABD	0.11	0.112	0.086	0.083	0.13	0.12	0.116	0.113	0.114	0.145
Almanya	0.174	0.088	0.117	0.148	0.1					
Avustralya	0.172									
Avusturya	0.141									
Fransa	0.108	0.092	0.086							
İngiltere	0.14	0.112	0.112	0.1	0.13					
İrlanda	0.11	0.115								
İspanya	0.133	0.149								
Japonya	0.063	0.145								
Türkiye	0.201									



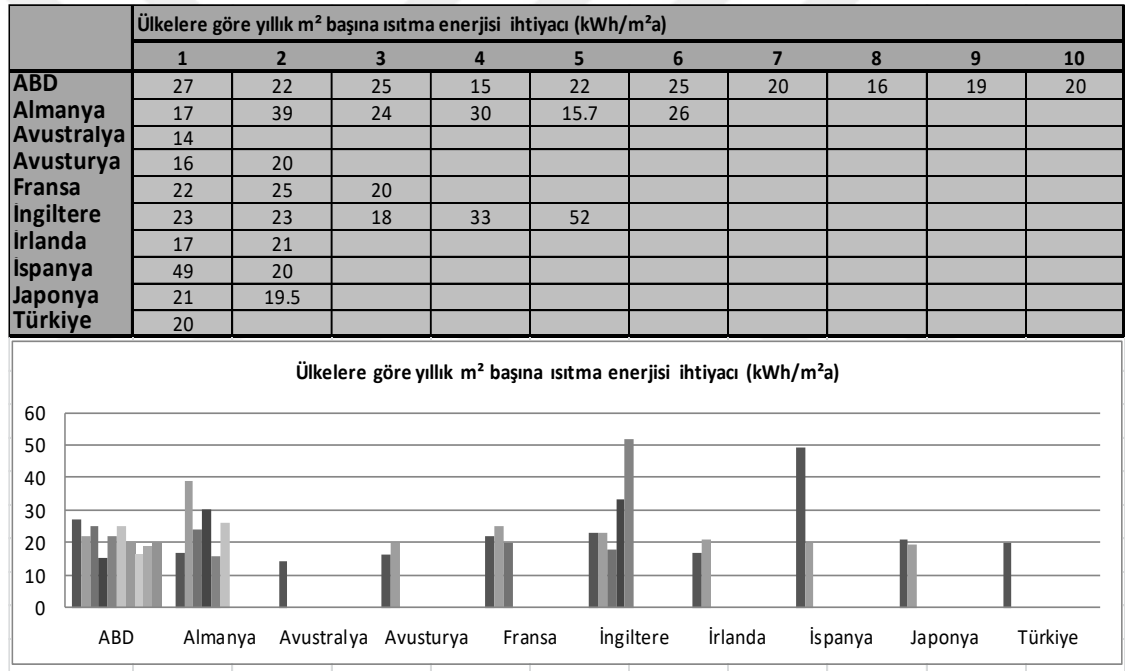
Şekil 3.10 İncelenen örneklerde ülkelere göre çatı U-değerleri W/(m²K)

İncelenen örneklerin tamamı göz önünde bulundurulduğunda; yalıtım kalınlığının en çok arttığı, dolayısıyla U-değerinin en az olduğu yapı bileşeninin çatı olduğu saptanmıştır. Bu açıdan bakıldığında, yapılan yalıtımın kalınlığı sırasıyla; zemin, duvar ve çatıda arttığı görülmektedir. Örneklerde genel olarak; yalıtımın en az düzeyde kullanıldığı yapı bileşeni olan zeminde; duvar ve çatıya kıyasla daha yüksek U-değerlerine ulaşıldığı saptanmıştır.



Şekil 3.11 İncelenen örneklerde pencere cam ve doğramalarına ait U-değerleri (W/(m²K))

İncelenen yapıların tamamı göz önüne alındığında; pencerelerde kullanılan cam Ug-değerinin büyük bir çoğunlukta 0,5 W/(m²K) ile 0,6 W/(m²K) arasında olduğu, yapıların üçünde ise (26,28 ve 30 no'lu), 0,8 W/(m²K)' in üstünde olduğu saptanmıştır. Doğramalarda ise U-değerinin çoğunlukla 0,8 W/(m²K) ile 1.2 W/(m²K) arasında değiştiği görülmekle birlikte, beş yapıda (9, 14, 19, 28 ve 30 no'lu) 1,2 W/(m²K)'in üstünde, sekiz (2, 3, 10, 20, 25, 31 ve 33 no'lu) yapıda ise 0,8 W/(m²K)'in altında olduğu görülmüştür (Şekil 3.11). Pencerelerin tamamının üçlü cam, birçoğunun da Argon dolgulu seçildiği görülmektedir. Yüksek yalıtımlı, hava sızdırmaz, düşük U-değerli pencere seçimleri ile, saydam yüzeylerde oluşan ısı kaybının önüne geçilebilmiştir.

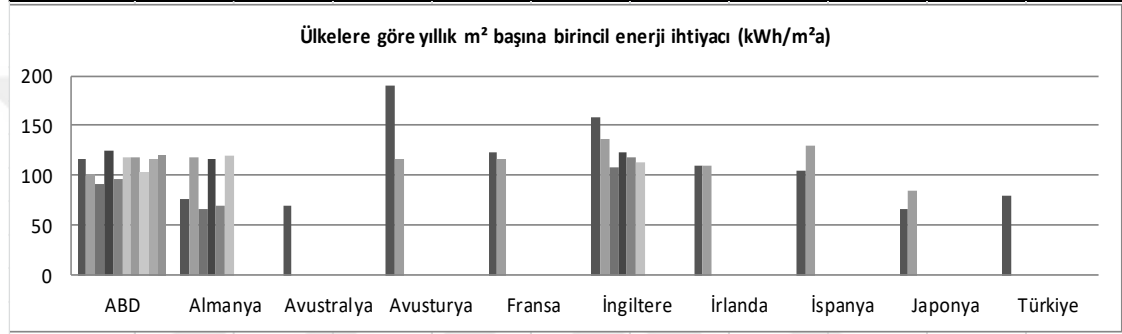


Şekil 3.12 İncelenen örneklerde yıllık m² başına ısıtma enerjisi ihtiyacı (kWh/m²a)

Çatı, duvar, zemin, pencerelerde EnerPHit sertifikası kriterleri doğrultusunda yapılan enerji etkin iyileştirmelere dair çözümler incelendikten sonra, yapılan iyileştirmelerin enerji tüketimine etkisi ve ulaşılan tüketim değerleri Şekil 3.12 ve 3.13'de belirtilmiştir. İncelenen EnerPHit sertifikalı yapılarda, ülkelere göre metrekare başına yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı en düşük 14 kWh/(m²a) ile Avustralya'da iken, en yüksek 52 kWh/(m²a) ile İngiltere'de görülmektedir. Metrekare başına yıllık toplam

birincil enerji ihtiyacı ise en düşük 66 kWh/(m²a) ile Japonya'da, en yüksek 190 kWh/(m²a) ile Avusturya'da görülmektedir.

	Ülkelere göre yıllık m ² başına birincil enerji ihtiyacı (kWh/m ² a)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ABD	117	102	92	125	96	118	119	103	117	120
Almanya	77	119	67	117	70	120				
Avustralya	69									
Avusturya	190	116								
Fransa	124	117								
İngiltere	158	136	108	123	118	114				
İrlanda	109	109								
İspanya	105	130								
Japonya	66	85								
Türkiye	79									



Şekil 3.13 İncelenen örneklerde yıllık m² başına birincil enerji ihtiyacı (kWh/m²a)

Türkiye'de bulunan tek EnerPHit yapısında ise metrekare başına yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının 20 kWh/(m²a), toplam birincil enerji ihtiyacının ise 79 kWh/(m²a) olduğu görülmekte ve bu değerler ile enerji tüketiminde yapılan tasarruf bakımından ülkeler arasında iyi bir konumda yer almaktadır. Ancak Türkiye'de EnerPHit sertifikasına sahip sadece bir örnek bulunmaktadır.

Avrupa Birliği tarafından yayınlanan Binalarda Enerji Performansı Direktifi doğrultusunda ülkeler kendi NZEB hedeflerini belirlerken; düşük enerji tüketimi, yaşam döngüsü sürecinde maliyet etkinlik, fosil yakıt tüketiminde ve karbon salımında önemli ölçüde azalma sağlayan yöntemlerin kullanılması ve geliştirmesini esas almışlardır. Pasif Ev ve mevcut yapılarda kullanılan versiyonu olan EnerPHit sertifika sistemi de ülkelerin çoğunun belirlediği enerji tüketimi değerlerini karşılayan bir sertifika sistemi olarak binalarda artan bir hızla kullanılmaya başlanmış ve sertifikalanmış yapı sayısında hızlı bir artış olmuştur.

Türkiye’de de Avrupa Birliği’ne uyum sürecinde; yeni yapıların enerji tüketimi açısından belirli sınır değerler çerçevesinde inşa edilmesi, mevcut yapıların kısa sürede EnerPHit sertifika sistemi doğrultusunda iyileştirilmesi, örneklerde de görüldüğü gibi enerji tüketim değerlerini büyük oranda düşürebilecektir. İncelenen örneklerle ve Türkiye’deki örneğe bakıldığında, ülkemizde yaygın kullanıma sahip XPS, mineral yün, EPS gibi yalıtım malzemelerinin büyük oranda tercih edildiği, dolayısıyla ülkemizde yalıtım malzemesi temini açısından da uygulanabilirliğinin olduğu görülebilmektedir.

Türkiye’deki yapı tipinin yaklaşık %87’sini oluşturan konutlarda, mevcut yapıların EnerPHit doğrultusunda iyileştirilmesi, bina sektörünün enerji tüketimini ve karbon salımını büyük oranda azaltacaktır. Enerjinin etkin ve verimli kullanılması ile gelecek nesillere sağlıklı bir dünya bırakmak konusunda çok büyük bir adım atılmış olurken, ülkenin enerji konusundaki dışa bağımlılığı azaltılmış, dünya enerji görünümüne uyum sağlanmış, daha düşük kullanım maliyetleri ile daha konforlu bir yaşam kazanılmış olacaktır.

EnerPHit sertifika sisteminin Türkiye’de mevcut yapılarda kullanımının artmasıyla birlikte,

- Binalarda enerji tüketimi büyük oranda azalacak,
- Kullanım süresince enerji maliyetleri azalacak,
- Enerji maliyetlerinin azalması ile birlikte; kullanıcıların tasarruf için seçtiği yöntemlerden birisinin binalarda ısıtma-soğutma olmasının önüne geçilip daha konforlu mekânlarda yaşamın devam etmesi sağlanacak,
- Gelecek nesillere sağlıklı ve yaşanabilir bir dünya bırakmak konusunda çok büyük bir adım atılmış olacak,
- Fosil yakıt tüketimi ve karbon salımı azalmış olacak,
- Enerjide dışa bağımlılık azaltılmış olacaktır.

3.2. Binalarda Enerji Simülasyonu

“‘Benzeşim’ olarak da Türkçeleştirilebilen simülasyon, karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş bir modelini oluşturarak, gerçek sistemin davranışını tahmin etmek ve analiz etmek üzere bu modeli kullanma süreci olarak tanımlanabilir ” (Harputlugil, 2014, sy.23). Günümüzde binalarda enerji performansını geliştirmek ve analiz etmek amacıyla, enerji simülasyon programlarından yararlanılmaktadır.

Binalarda enerji simülasyonunun etkinliğini ve geçerliliğini sağlamak için üç önemli kriterin sağlanması gerekmektedir. Bunlar; modelin karmaşıklık ve beklenen çözüm düzeyine uyumlu olması, modelin kullanılan yazılıma uyumlu hale getirilip kalibre edilmesi, simülasyonların alternatif çözümleri karşılaştırarak değerlendirmek üzere kullanılması olarak sıralanabilmektedir (Harputlugil , 2011).

3.2.1 Binalarda Enerji Performansı Simülasyon Programları

Bir binanın gerçeğe uygun modeli oluşturulup doğrulandıktan (kalibrasyonu yapıldıktan) sonra, gerçek verilere ulaşmak, müdahaleler sonucundaki performans değişikliklerini gözlemlemek ve analiz etmek amacıyla son yıllarda; elle hesaplamalar yerine simülasyon programları kullanılmaktadır. Bu programların yaygın olarak tercih edilenlerinden bir kaç; Energy Plus, ESP-r (Energy Simulation Software tool), IDA ICE (Indoor Climate Energy), IES-VE (Integrated Environmental Solutions – Virtual Environment), TRNSYS vb. dir. Binalarda enerji performansını analiz etmek amacıyla kullanılan programlardan yaygın olarak kullanılanların özellikleri Tablo 3.4’de özet olarak belirtilmektedir.

Tablo 3.4 Binalarda Enerji Performansı Simülasyon Programlarından Başlıcalarının Karşılaştırması
(Sousa, 2012)

	Energy Plus	ESP-r	IDA ICE	IES	TRNSYS
Simülasyon Çözümü					
Yüklerin, sistemlerin ve çözümlerin simülasyonu	X	X	X	X	X
Doğrusal olmayan sistemlerin yinelemeli çözümü	X	X	X	X	X
Zaman Hesaplama Süresi					
Aynı anda bina sistemleri ve kullanıcı seçimi		X	X	X	X
Geçici çözümlere dayalı dinamik değişkenler	X	X	X		
Tam Geometrik Açıklama					
Duvarlar, çatılar ve zeminler	X	X	X	X	X
Pencereler, çatı pencereleri, kapılar ve dış kaplamalar	X	X	X	X	X
Birçok yüzü olan çokgenler	X	X	X	X	
CAD programlarından aktarım	X	X	X	X	X
CAD yazılımı için Yapıların Geometrisi	X	X	X		
Programların simülasyon modellerinin içe / dışa aktarılması	X	X	X	X	
Termal dengenin hesaplanması	X	X	X	X	X
Yapı malzemelerinden nemin emilmesi / salınması	X		X	X	X
İç termal kütle	X	X	X	X	X
İnsan termal konforu	X	X	X	X	X
Güneş Analizi	X				X
İzolasyon Analizi	X	X	X	X	X
Gelişmiş fenestrasyon	X	X	X	X	X
Genel olarak binanın hesaplamaları	X	X		X	X
Bölgelerin yüzey sıcaklıkları	X	X	X	X	X
Pencerelerden hava akışı	X	X		X	X
Sürüş yüzeyleri	X	X	X	X	X
Toprakdan ısı transferi	X	X	X	X	X
Termofiziksel değişken			X		
Güneşliği ve aydınlatma kontrolleri	X	X	X	X	
Bir bölgeye sızma	X	X	X	X	X
Rüzgâr basıncı katsayılarının otomatik hesaplanması				X	

Tablo 3.4 devamı

Doğal havalandırma	X	X	X	X
Doğal havalandırma için pencerelerin açılması	X	X	X	X
Birden fazla bölgede hava sızıntısı	X	X	X	X
Yenilenebilir Enerji Sistemleri				
Güneş enerjisi	X	X	X	X
Trombe Duvarı	X	X	X	X
Fotovoltaik paneller	X	X	X	X
Hidrojen Sistemleri		X		X
Rüzgar enerjisi		X		X
Elektrik Sistemleri ve Ekipmanları				
R.E. ile Enerji Üretimi	X	X		X
Elektrik güç yüklerinin dağıtımı ve yönetimi	X	X		X
Elektrik jeneratörleri	X			X
Ağ bağlantısı	X	X		X
HVAC Sistemleri				
HVAC idealleştirildi	X	X	X	X
HVAC sistemlerinin olası konfigürasyonu	X	X	X	X
Tekrarlar hava döngüsü	X	X	X	X
Dağıtım sistemleri	X	X	X	X
CO2 modelleme			X	X
Alan başına her hava dağılımı	X	X	X	X
Bölge başına zorunlu hava birimi	X	X	X	X
Ekipman Birimi	X	X	X	X

Çalışmanın hedefleri ve kısıtları doğrultusunda, Tablo 3.4’ teki veriler incelendiğinde; EnergyPlus simülasyon programı ve ara yüzü olarak oluşturulan programların tercih edilebileceği görülmektedir.

Bu çalışmada kullanılan DesignBuilder; binalarda enerji performansı, konfor, aydınlatma performanslarını tespit etmek üzere tasarlanmış EnergyPlus ara yüzü bir

programdır. EnergyPlus, binalarda; ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve konfor kriterleri için kullanılan 3. nesil simülasyon programıdır (Fotopoulou, Semprini, Cattani, Schihin, Weyer, Gulli, Ferrante, 2018).

Performans verilerini oluşturmak için; EnergyPlus dinamik simülasyon yazılımını kullanan Design Builder; enerji tüketimi, karbon emisyonu, konfor koşulları, gün ışığı aydınlatması, HVAC vb. bir dizi parametre hakkında simülasyon yapılmasını sağlayan kullanıcı dostu bir modelleme ortamıdır (designbuilder, bt.).

Design Builder yazılımı;

- Çeşitli tasarım kararlarının bina enerji tüketimi üzerindeki etkisini hesaplamak,
- Aşırı ısınma ya da tasarım için cephe seçeneklerini değerlendirmek,
- Doğal havalandırmanın etkisini gözlemlemek amacıyla termal simülasyon,
- Doğal aydınlatmanın aydınlatma tasarrufuna etkisinin gözlemlenmesi,
- Güneş kırıcı tasarımının enerji tüketimine etkisi,
- CFD analizleri ile oda içerisindeki hava akımının gözlemlenmesi,
- ASHRAE 90.1 ve LEED enerji modelleri,
- İnşaat, hizmet ve yaşam döngüsü (LCC) maliyetlerine dayalı analiz,
- Birden çok hedef, kısıtlama ve tasarım değişkeniyle tasarım optimizasyonu,
- Yaşam döngüsü analizi (LCA)
- Mimarlık ve mühendislik öğrencilerine bina simülasyonunu öğretmek için eğitici bir araç olarak kullanılabilir (designbuilder, bt.).

Çalışmada, birden çok tasarım değişkeninin, belirli kısıtlamalar ve hedefler doğrultusunda mevcut bir binaya uygulanması ve elde edilen sonuçlarının enerji performansı açısından değerlendirilmesi amacıyla, Design Builder simülasyon programı kullanılmıştır.

3.2.2 Simülasyon Modelinin Kalibrasyonu

Binalarda enerji performansını ölçen programlar aracılığıyla yapılan modellemelerin simülasyon sonuçlarının gerçeğe en yakın değerleri vermesi amacıyla

kalibrasyonun yapılması gerekmektedir. Bina enerji performansını değerlendirmek üzere kullanılan simülasyon programlarında modellenen binaları kalibre etmek için pek çok yöntem bulunmaktadır. Simülasyona veriler girildikten sonra ulaşılan çıktılar ile ölçülebilen gerçek değerlerin karşılaştırılması yoluyla kalibrasyon yapılmaktadır.

Simülasyon sonucunda elde edilen enerji tüketim değerleri ile aylık faturalarda belirtilen enerji tüketim değerlerinin karşılaştırılması ya da saatlik ölçülen verilerin karşılaştırılması yoluyla kalibrasyon yapılabilir. Ashrae Guideline 2002'ye göre; saatlik ölçülen verilerle; grafiksel karşılaştırma ya da istatistiksel karşılaştırma yöntemleri kullanılarak kalibrasyon yapılabilir (Ashrae Guideline, 2002).

Günümüzde; simülasyon verisi ile ölçülmüş verinin farklılıklarını grafiksel yöntemler ile belirlemek kullanılsa da; daha detaylı ve kesin nicel sonuçlara ulaşmak için farklı yöntemler gerekmektedir. “Mean Bias Error” (MBE) ve “Root Mean Squared Error” (RMSE(CV)) istatistik yöntemleri; bu amaçla kullanılan iki yöntemdir (Kreider ve Haberl 1994a, 1994b; Haberl ve Thamilsaran 1996).

MBE; simüle edilmiş enerji ve ölçülmüş enerji arasındaki saatlik farkların kullanılması ile hesaplanmaktadır. Farklar, genellikle bir ay ya da yıllık veriler kullanılarak her saat için hesaplanmaktadır. MBE hesaplamalarının sonucunda; niceliksel olarak bir yüzde verisine ulaşılmaktadır (Ashrae Guideline 2002).

RMSE(CV) ise; bir değişkenlik ölçüsü olarak; verilerdeki hatanın dağılımını belirlemekte kullanılmaktadır. RMSE(CV)'nin yüzdesi; RMSE'nin ölçülmüş ortalama değere bölünmesiyle elde edilmektedir. RMSE (CV) bir modelin gerçeğe ne kadar uygun olduğunu belirlemede kullanılmaktadır ve hesaplamalar sonucunda elde edilen yüzde ne kadar düşükse, kalibrasyon o kadar başarılı olmaktadır. Saatlik veriler kullanılırken; $MBE \pm 10\%$, $CV(RMSE) \pm 30\%$ ya da aylık veriler kullanılırken $\%5$ - $\%15$ olduğunda kalibre edilmiş sayılmaktadır. Aşağıda Ashrae Guideline'da belirtilen RMSE(CV) ve MBE denklemleri gösterilmektedir (Ashrae Guideline, 2002).

$$CVRMSE = 100 \times [\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - p)]^{1/2} / \bar{y}$$

$$NMBE = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)}{(n - p) \times \bar{y}} \times 100$$

(3.1)

3.3 İstatistiksel Deney Tasarımı

Pasif Ev EnerPHit sertifikasının mevcut bir konut yapısında sağlanması için gerekli olan kriterler çalışmanın önceki bölümlerinde açıklanmıştır. Belirtilen kriterlerden; enerji tüketimi sınır değerleri kriterleri, yapı elemanlarının farklı derecelerde, çeşitli kombinasyonlar ile yalıtılması sonucu sağlanabilmektedir. Başka bir deyişle, ulaşılması hedeflenen sınır enerji tüketim değerleri, duvar, çatı, zemin döşemesi ve pencerelerin farklı yalıtım düzeylerine sahip durumlardaki kombinasyonlarıyla sağlanabilmektedir. Kriterleri karşılayan her bir kombinasyonun ilk yatırım maliyeti ve enerji tasarrufuna etkisi farklılık göstermektedir. Çalışmada, Pasif Ev EnerPHit sertifikası sınır değerleri içinde bulunan, ilk yatırım maliyeti ve enerji tüketim değeri açısından farklılık gösteren senaryoların bulunması ve değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Avrupa Birliğine üye devletlerin her birinin kendi NZEB hedeflerini oluştururken önem verdiği konuların başlıcalarını enerji tüketim değerleri ve maliyet etkinlik oluşturmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada, sertifika sistemi Türkiye'ye uyarlanırken, seçeneklerin; sadece enerji tüketimi açısından değil, maliyet etkinlik açısından da değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, enerji ihtiyacı açısından Design Builder simülasyon programı kullanılarak, maliyet analizleri de ayrıca yapılarak kombinasyonların denenmesi öngörülmüştür.

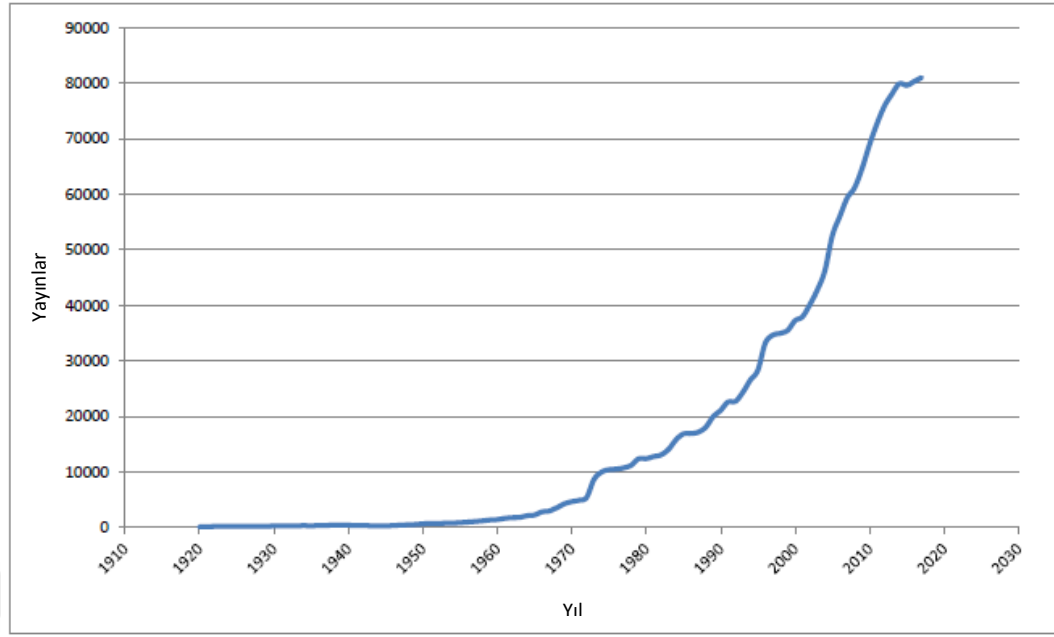
Çalışmada, 4 farklı parametre ve bu parametrelerin her birinin 4 farklı düzeyi bulunmaktadır. Bu farklı düzeylerin kombinasyonunun simülasyon yoluyla denenmesi çok sayıda deney ortaya çıkartmaktadır. Çok sayıda deneyin yapılması, hata ihtimalini

arttıracak gibi, maliyet, zaman ve karar verme açısından olumsuzluk oluşturmaktadır. Bu amaçla çalışmada, istatistiksel yaklaşım ve yöntemlerin kullanılması gereklilik oluşturmaktadır. Bu nedenle çalışmada daha sağlıklı sonuçlara ulaşabilmek için, deney tasarımı ile simülasyon yöntemi kullanılmıştır.

Simülasyon, karmaşık sistemlerin temel çıktı performans göstergelerinin doğru olarak tahmini için yaygın olarak kullanılan ve genel kabul görmüş bir tekniktir. Simülasyon modeli oluşturulduktan ve gerçek verilere uygun doğrulanması yapıldıktan sonra, çeşitli senaryolardaki parametre performansının yüksek doğrulukta ve kısa bir sürede elde edilebilmesi için etkin yöntemlere ihtiyaç vardır. Bu amaçla kullanılan yöntemlerden birisi de istatistiksel bir teknik olan “deney tasarımı (design of experiments)” yöntemidir. Simülasyon çalışmaları genellikle sınırlı kaynaklar (zaman, bütçe, insan gücü vb.) kullanılarak yapılır. Bu kaynakların büyük bir çoğunluğunun genellikle simülasyon modelinin geliştirilmesi, doğrulanması için harcandığı düşünüldüğünde simülasyon modeli ile deneyler yapılması ve girdi parametre değerlerinin belirlenmesi için gerekli kaynakların yeterli olmayacağı açıktır (Soykan, Erol, 2015).

Bu çalışmadaki örnek uygulamada, her biri 4 düzeye sahip 4 parametrenin eş zamanlı olarak ele alınması ve tüm kombinasyonların denenmesi, zaman, bütçe, insan gücü, hata payı gibi nedenlerle güçlük oluşturmaktadır. Simülasyon kullanılarak yapılan deney sayıları, gerçek ortamda yapılan deney sayılarından genellikle oldukça fazladır. Tüm girdi parametrelerinin, sistemdeki çıktı parametresine etkisinin belirlenmesi amacıyla deney tasarımı yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir.

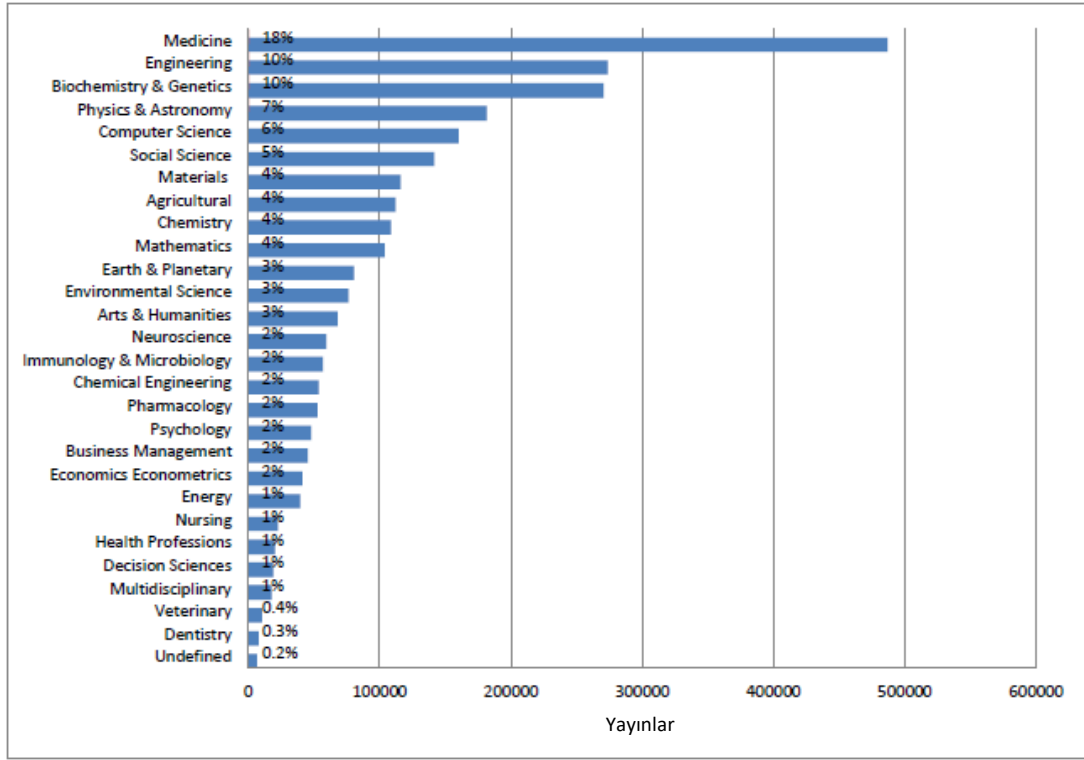
Günümüzde tıp, mühendislik, kimya, eczacılık, tarım, hayvancılık gibi oldukça fazla sayıda deney/simülasyon yapılması gereken alanlarda, deney sayılarını kombinasyonların belirli temsil noktalarını oluşturarak, geneli temsil edebilecek şekilde azaltmak ve yorumlamak üzere deney tasarım yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada da simülasyon deneme sayılarının azaltılması, yapılan simülasyonların yorumlanması, enerji ve maliyet etkin düzeyleri saptamak amacıyla deney tasarım yöntemleri kullanılmıştır.



Şekil 3.14 Bilimsel çalışmalarda deney tasarım yöntemlerinin kullanılma sıklığı (Durakovic, 2017)

Deney tasarımı (DOE)'nin araştırmalarda uygulanması 1920'lerde Fisher'in tarım araştırmasıyla başlamıştır. 1920'lerden sonraki yaklaşık 40 yıl, deney tasarımının bilimsel araştırmalarda kullanılması oldukça az görülmektedir. Deney tasarımının araştırmalardaki kullanımının önemi 1960'ların sonu ve 1970'lerde fark edilmiştir. Deney tasarımının araştırmalarda önemli bir yöntem olarak yer bulması yaklaşık olarak 50 yıl sürmüştür. Bu dönemde; deney tasarımının yaygın olarak kullanılmasını sağlayacak bir yazılım paketi geliştirilmediği için kullanım alanı ve sıklığında hızlı bir artış olmamıştır. 1990'larda ve sonrasında yapılan yazılımlar ve bu yazılımların geliştirilmesi ile birlikte; deney tasarımının bilimsel alanlardaki araştırmalarda kullanımı Şekil 3.14'de görüldüğü gibi, keskin bir şekilde artmıştır (Durakovic, 2017). 1970'lere kadar dünyada 10.000'den az bilimsel çalışmada kullanıldığı görülürken, bilgisayar ve yazılım teknolojisinin gelişmesine paralel olarak 2010'da 80.000'in üzerinde bilimsel çalışmada kullanıldığı görülebilmektedir.

Bilimsel yöntem olarak deney tasarımı; Şekil 3.15 de görüldüğü gibi tıp, mühendislik, biyokimya, fizik ve bilgisayar bilimi gibi bilimsel alanlarda yaygın bir kullanıma sahiptir. Bu alanlarda kullanımı, diğer tüm bilimsel alanlara kıyasla %50 oranındadır. Yalnızca tıp alanında kullanımı % 18 iken, mühendislik ve biyokimya-genetik alanlarındaki kullanımı ise %20'dir (Durakovic, 2017).



Şekil 3.15 Çalışma alanlarına göre deney tasarım yöntemlerinin kullanılma oranları (Durakovic, 2017)

Deney tasarımı yöntemi tıp alanında piyasaya yeni sürülen bir ilacın etkisini var olan benzer alanda kullanılan ilaçların etkisiyle karşılaştırmada, tarım alanında, gübre tiplerinin buğday verimliliği üzerindeki etkisini araştırmada, hayvancılık alanında inşa edilen barınak türlerinin elde edilecek et verimi üzerindeki etkisini araştırmak, ya da mühendislik alanında bir üretim sürecinin performansını iyileştirmek gibi hedeflerle kullanılabilir (Şenoğlu ve Acıtaş, 2011, sy.3).

“Deney birimlerinin, hakkında bilgi edinmek istenen karakteristik özelliklerine yanıt veya bağımlı değişken adı verilir. Bağımlı değişken nitel olabileceği gibi nicel de olabilir. Bağımlı değişkenin alacağı değerleri etkileyen kontrol edilebilir deneysel değişkenlere bağımsız değişken ya da faktör denir” (Şenoğlu ve Acıtaş, 2011, sy.4). Deney tasarımı, farklı koşullarda, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini belirlemek için gerekli tasarımları hazırlayan ve çözümlenmesini sağlayan bir istatistik dalıdır. Ayrıca deney tasarımı, bir faktörün farklı düzeylerinin etkilerinin ölçülmesinde de kullanılan bir yöntemdir (Çömlekçi,2003).

Deney tasarımı (DOE) ya da diğer bir deyişle tasarlanmış deney, deney birimlerinin belirli ilkeler ve kurallar çerçevesinde geliştirilen tasarımlar yardımıyla oluşturulmasıdır. Deney tasarımında deneyi oluşturan parametreler faktör olarak adlandırılmaktadır. Belirlenen faktörler, deneyi yapan kişinin kontrolü altında veya dışında iki ya da daha fazla sayıda düzeye sahip olabilir. Deneydeki faktörlerin düzeylerinin diğer faktör düzeyleri ile kombinasyonları deneme olarak adlandırılmaktadır. Birden fazla faktörün farklı düzeylerde bulunduğu deneylerde temel amaç, hem faktörlerin kendi etkilerini hem de birlikte etkileşim etkilerini test etmektir (Şenoğlu ve Acıtaş, 2011).

Bu çalışmada farklı yapı bileşenlerindeki, farklı yalıtım düzeylerinin toplam enerji tüketimine ve yatırım maliyetine etkisi araştırılmak istenmektedir. Bu amaçla; faktör olarak tanımlanabilecek parametreleri; çatı, duvar, zemin döşemesi ve pencereler oluştururken; faktörlerin düzeylerini; 4 farklı yalıtım seviyesi oluşturmaktadır.

Deney tasarımının temel amaçları; sonuca etki eden en etkin girdi faktörlerini saptamak, belirlenen hedefe en yakın sonuca ulaştıracak faktör seviyelerini belirlemek, kontrol edilemeyen girdi faktörlerinin sonuç üzerinde en az etkisi olacak şekilde, kontrol edilebilir girdi faktörleri kombinasyonları oluşturmak olarak sıralanabilmektedir (Ülker, 2015).

Deney tasarım yöntemleri kullanılarak yapılan simülasyon, karmaşık sistemlerin temel çıktı performans göstergelerinin doğru olarak tahmini için yaygın olarak kullanılan ve genel kabul görmüş bir tekniktir. Ancak, birçok simülasyon modelinin uygulama zamanı genellikle yavaştır ve paralel simülasyonlar haricinde her seferde sadece bir senaryo değerlendirilebilir. Karmaşık yapıdaki veri seti, çoğunlukla büyük miktarda girdi parametresi içerir ve bunların çoğu sistemin çıktı performansını etkileyebilmektedir. Çok sayıdaki girdi parametresinin her birini ayrı ayrı değerlendirmek yerine, “deney tasarımı” yöntemleri kullanılarak veri seti olarak kullanılacak parametreler düzenlenip, faktör sayısı azaltılarak, girdi parametrelerinin küçük bir kümesi, daha etkin ve verimli bir şekilde incelenmektedir. (Soykan ve Erol, 2015)

Deney tasarımı, hangi parametrelerin dikkate alınacağına karar verilmesine yardım eden güçlü bir yöntemdir. Deney tasarımında her bir simülasyon çalışması, tasarlanması gereken bir “deney” olarak tanımlanmaktadır. Deney tasarımı terminolojisinde simülasyon girdi parametreleri “faktörler”; simülasyon çıktıları ise “cevaplar” olarak ifade edilir (Soykan ve Erol, 2015).

3.3.1 İstatistiksel Deney Tasarımının İlkeleri

Benzer koşullarda oluşturulan deney birimlerinden alınan sonuçların benzer olması beklenir. Fakat deney birimlerinden elde edilen sonuçlarda, kontrol edilemeyen farklılıklar oluşmaktadır. Bu farklılıklara deneysel hata denilmektedir. Deney tasarımında, deneysel hatanın azaltılmasına yönelik kullanılan temel ilkeler; bloklama, rasgeleleştirme (rassallaştırma) ve tekrardır (Şenoğlu ve Acıtaş, 2011).

Deneyin hassaslığını arttırmak için, deney birimlerini kendi içinde homojen, kendi aralarında heterojen olacak şekilde gruplandırmaya bloklama denmektedir (Şenoğlu ve Acıtaş, 2011).

R.A. Fisher tarafından geliştirilmiş bir kavram olan rasgeleleştirme; denemelerin, deney birimlerine rasgele atanmasıdır. Rassallaştırma, deneysel verideki sistematik yanılığın ortaya çıkmasını engellemektedir. Bir başka deyişle, her bir deney biriminin, bir deneye atanma olasılığının eşit olmasını sağlamaktadır (Çömlekçi, 2003).

Denemelerin atandıkları, uygulandıkları deney birimi sayısı tekrar olarak adlandırılmaktadır. Denemelerin atandıkları deney birimi sayısı eşit ise dengeli, eşit değil ise dengeli olmayan deney tasarımı denmektedir (Şenoğlu ve Acıtaş, 2011). Tekrar sayısının artması deneysel hatayı küçültürken, deneyin hassasiyetini arttırmaktadır. Fakat tekrar sayısını arttırmak, deneyin maliyetini ve deneye ayrılan süreyi de beraberinde arttırmaktadır (Adıgüzel, 2012). Tekrar ilkesinin benimsenmesinin temel sebepleri olarak; yanılığın kareler ortalamasının en az iki tekrar olduğunda hesaplanabilmesi, tekrar sayısı arttırılırsa yanılığın değişkesinin denetiminin

sağlanabildiği, tekrar sayısının artmasına paralel olarak istatistiksel anlamlılık düzeyinin de artması gibi faktörler sayılabilmektedir (Çömlekçi, 2003).

3.3.2 İstatistiksel Deney Tasarımının Aşamaları

Deney süreci belirli aşamalardan oluşmaktadır. Bu aşamalar,

- Deneyin planlanması ve tasarımı,
- Deneyin yapılması ve verilerin elde edilmesi,
- Verilerin analizi ve sonuçların yorumlanması olarak sıralanabilmektedir (Şenoğlu ve Acıtaş, 2011).

3.3.3 İstatistiksel Deney Tasarımının Türleri

Araştırmacı, çözümlenmesi istenen sorunun belirlenmesine bağlı olarak bağımlı ve bağımsız değişkenleri ve bu değişkenlerin etkisini araştırırken, uygulama alanındaki koşulları göz önünde bulundurarak çalışmaya uygun deney tasarım biçimini seçmelidir (Çömlekçi, 2003).

Çalışmanın sonucunda ulaşılmak istenen sonuca, edinilmek istenen bilgiye, uygulama alanına ve yöntemine, kullanılan parametrelere, bu parametrelerin düzeylerine, deney yapılan birimin türüne ve sayısına bağlı olarak kullanılabilecek deney tasarım türleri farklılaşmaktadır.

Çalışmanın devamında deney tasarım türlerinden en yaygın kullanıma sahip, latin karesi, rassal bölükler tasarımı, rassal bölüntüler tasarım, iki-yönlü ANOVA (rasgele tam blok tasarımı), bölünmüş parseller tasarımı, faktöriyel tasarımlar, tam faktöriyel tasarımlar, kısmi faktöriyel tasarımlar, ortogonal dizayn ve taguchi metodu hakkında bilgi verilecektir.

3.3.3.1 Latin Karesi

Deney tasarımlarının farklılaşması, edinilen bilginin çeşidinin farklılaşmasını sağlamaktadır. Örneğin; seçilen parametrelerin deney birimlerine atanma sırasının etkisi ile ilgili bilgiye ulaşmak isteniyorsa “latin karesi tasarımı” kullanılmalıdır. (Çömlekçi, 2003) Fisher tarafından ortaya çıkarılan “Latin Karesi” tasarımı, satır, sütun ve deneme sayısının eşit olduğu bir tasarımdır. Satır ve sütunların kesiştiği her bir noktada bir deney birimi tanımlanmaktadır. Örneğin; üç farklı yemin, inekler üstündeki kilo alma etkisi araştırılmak isteniyor ve bu amaçla üç farklı ırktan, üç farklı yaş grubunda inek deney birimi olarak kullanılıyorsa bu örnek için en uygun deney tasarım yöntemi latin karesi olarak belirtilmektedir (Şenoğlu ve Acıtaş, 2011, sy:98).

3.3.3.2 Rassal bölükler tasarımı, Rassal bölüntüler tasarımı

Araştırmacı, bağımsız değişken etkilerinin, deney birimlerinin bir fonksiyonu olarak değişeceğini düşünüyor ve bununla ilgili sonuca ulaşmak istiyorsa “rassal bölükler tasarımı” benimsenebilir. Özellikle insanla ilgili deneysel araştırmalar yapılırken, seçilen parametrelerin az sayıda deney ile ilgili deney birimi (ör. İnsan) üzerinde denenmesi gerekebilir. Bu sebeple geliştirilebilecek bir sonuca ulaşabilmek için yapılan deneylerin tekrar sayısına göre tasarlanması önem kazanmaktadır (Çömlekçi, 2003). Bir diğer örnekte de, denek sayısı çok olmasına rağmen, her bir deneğe yalnızca bir kez bir parametre atanması zorunlu ise; örneğin günümüzdeki COVID-19 aşı geliştirilmesi deneylerinde de “rassal bölüntüler tasarımı” yöntemi kullanılabilmektedir.

3.3.3.3 İki-yönlü ANOVA (Rasgele Tam Blok Tasarımı)

“İki-yönlü ANOVA (Rasgele Tam Blok Tasarımı)”nda ise etkisi araştırılmak istenen parametrenin sayısı bir olduğunda kullanılmaktadır. İki-yönlü ANOVA kullanılmasının en önemli sebeplerinden birisi, ekonomik, fiziksel veya çevresel etkenlerden dolayı yeterli sayıda homojen deney yapılamamasıdır (Şenoğlu ve Acıtaş, 2011, sy:9). Örneğin üç farklı tohumun elde edilen domates verimine etkisinin araştırılması isteniyorsa, bu yöntem kullanılabilmektedir.

3.3.3.4 Bölünmüş Parseller Tasarımı

Yates tarafından geliştirilmiş olan “Bölünmüş Parseller Tasarımı” yönteminde, diğer yöntemlerden farklı olarak, ana-parcel ve alt-parcel olarak tanımlanan iki deney birimi vardır. Alt parseller ana parsellerin bölünmesiyle elde edilmiş deney birimleri olduğundan, ana parsellerin içerisinde yuvalanmış olarak bulunmaktadırlar. Bu deney tasarım yönteminde deney birimlerinin parcel olarak adlandırılmasının nedeni, ilk aşamada bu yöntemin tarımsal çalışmalarda kullanılmak üzere geliştirilmiş olmasıdır. Her ne kadar tarımsal uygulamalarda kullanılmak üzere geliştirilmiş olsa da, günümüzde endüstriyel çalışmalarda da kullanılmaktadır. Bu deney tasarım yöntemine örnek olarak; kâğıt hamuru hazırlanırken kullanılan metotlar ile kullanılan pişirme sıcaklıklarının; kâğıtların kopma mukavemeti üzerindeki etkisinin araştırılmasında kullanımı verilebilir. Bu doğrultuda öncelikle üç farklı metotla (ana parcel faktörü) kâğıt hamurları hazırlanıp, elde edilen hamurlar da kendi içinde dörde bölünüp farklı düzeylerde sıcaklıklar (alt parcel faktörü) deneye atanabilmektedir (Şenoğlu, Acıtaş 2014, sy:207).

3.3.3.5 Faktöriyel Tasarımlar

İki veya daha çok parametrenin, ana etkileri ve etkileşim etkilerini aynı anda saptamak amacıyla tasarlanmış olan, özellikle mühendislik alanında yaygın olarak kullanılan bir diğer önemli deney tasarım yöntemi; Fisher ve Yates tarafından geliştirilmiş olan “Faktöriyel Tasarımlar”dır (Şenoğlu, Acıtaş 2014, sy:147).

Faktöriyel deney tasarımı birden fazla sayıdaki parametrenin, birden fazla sayıdaki seviyesinin deney birimi üzerindeki etkilerinin saptanması amacıyla kullanılmaktadır (Ülker, 2015).

3.3.3.5.1 Tam Faktöriyel Tasarımlar. Tam faktöriyel deney tasarımında, deneydeki her bir parametrenin her bir seviyesinin birbiriyle kombinasyonu ile tüm alternatifler denenmektedir. Örneğin 6 seviyesi olan 2 parametrenin deney birimi üzerindeki etkisi

tam faktöriyel deney tasarımı yöntemi kullanılarak araştırılıyorsa, $2^6 = 64$ deney yapılması gerekmektedir.

Tam faktöriyel deney tasarımında elde edilebilen tüm kombinasyonlar denendiği için zaman ve maliyet kaybı meydana gelebilmektedir (Ülker, 2015, sy.139).

3.3.3.5.2 Kısmi Faktöriyel Tasarımlar. Tam faktöriyel tasarım yönteminin sebep olduğu maliyet ve zaman kaybının önüne geçmek amacıyla, kısmi faktöriyel tasarımlar kullanılabilir. Kısmi faktöriyel tasarımlarda, daha az sayıda deney birimi oluşturmak ve zaman-maliyet kaybını engellemek amacıyla ortogonal diziler oluşturulup kullanılmaktadır (Ülker, 2015, sy.140).

Çalışmada kullanılacak olan Ortogonal Dizayn yöntemi, deney sayısını azaltmayı hedefleyen, bir çeşit kısmi faktöriyel deney tasarımı türüdür (Şanyılmaz 2006; Bayrakdar, 2009). Bu çalışmada; seçilen parametreler, düzey sayısı ve ulaşılmak istenilen veriler göz önüne alınarak, yapılacak simülasyonların sayısını azaltmak amacıyla; faktöriyel tasarım tekniklerinden olan kısmi faktöriyel tasarıma ortogonal dizilerin dahil edilmesiyle geliştirilmiş ortogonal dizayn yöntemi kullanılmıştır.

3.3.4 Deney Tasarımında Ortogonal Dizayn

Bilim insanları ve araştırmacılar, ürün geliştirme sürecinde, ürün performansını etkileyen parametrelerin uygun düzeylerde seçimini amaçlamaktadırlar. Bu süreçte; sonuç ürünün performansını etkileyecek parametrelerin seçiminde, alternatif malzemeler, koşullar ve düzeylerin en düşük maliyetle elde edilip, optimum sonuçlara ulaşılması hedeflenmektedir (Ross 1996). Bu hedef doğrultusunda, sonuca daha etkin ve kısa sürede ulaşmak amacıyla deney tasarım yöntemlerinde kullanılan ortogonal diziler geliştirilmiştir.

Temel olarak hangi faktör seviyesinin hangi deneyde kullanılacağını belirleyen ortogonal diziler ilk kez 1897’de Fransız matematikçi Jacques Hadamard tarafından ortaya konulmuştur (Mercan, 2019).

Faktöriyel tasarım konusundaki öncü çalışmalar, Fisher ve Yates tarafından dünyanın ilk tarımsal araştırma enstitülerinden olan Rothamsted Experimental Station'da (1933, 1937, 1947) yapılmıştır. Bu çalışmaları; 1945'de Finney ve 1947'de Botes tarafından geliştirilen tasarım modelleri takip etmiştir. Bu alanda yapılan öncü çalışmalardan günümüze, kesirli faktöriyel tasarımların oluşturulma biçimleri, deney tasarımı alanında aktif olarak araştırma konusu olmuştur. Faktöriyel tasarımlar, tıp, mühendislik, gıda, biyoloji, endüstri ve son zamanlarda bilgisayar deneyleri gibi birçok uygulama alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Faktöriyel tasarımlar sıra-sütun (Yates)-blok tasarımlarıyla oluşturulan ortogonal dizilere, cebir ve grup teorilerine dayanan bir deney tasarım yöntemidir (Kobilinsky, et al., 2017).

Ortogonal diziler oluşturmak için pek çok bilim insanı tarafından yöntemler geliştirilmiştir. 1946'da Plackett ve Burman, 1956'da Chakravarti, 1961'de Box ve Hunter, 1961'de Connor ve Young, ve 1971'de Raghavarao ortogonal diziler hakkında kendi yöntemlerini geliştirmişlerdir (PROMEP, bt.).

Ortogonal dizilerden yararlanılarak elde edilen önemli deney tasarım yöntemlerinden olan Plackett-Burman tasarımları, Robin L Plackett ve J.P. Burman tarafından 1946 yılında geliştirilmiştir. Temel olarak amaç, ölçülebilen bir dizi bağımsız değişkenin (faktör), farklı seviyelerinin etkisini araştırmak için yapılacak deneylerin sayısını en aza indirmek üzere, uygun deneysel tasarımı bulmaktır. Tam faktöriyel bir deney tasarımı ile de sonuçlara ulaşılabilirken, bu yöntemde amaç; daha az sayıda işlem ile sonuçlara ulaşılabilmesini sağlamaktır (Plackett, Burman, 1946).

1956 yılında Taguchi tarafından, araştırmacının deneyinde kullanmak üzere belirlediği faktör ve faktörlere ait seviye sayısına göre uygun dizilerin seçilmesi üzerine ortogonal diziler kataloğu geliştirilmiştir (Danacıoğlu ve Muluk, 2005).

Ortogonal dizinin kullanımı sadece Taguchi'ye ait değildir. Ancak Taguchi, bu dizilerin kullanımlarını basitleştirip, kullanım alanının yaygınlaşmasını sağlayarak bu yöneme katkıda bulunmuştur (Taylan, 2009).

Addelman 1962'deki yayınında, ortogonal ana etki dizilerini oluşturmak üzere yöntemleri tanımlamıştır. Günümüzde üretilen ortogonal tasarımların pek çoğu, bu yayındaki yöntemlerin türetilmesi yoluyla oluşturulmuştur (Addelman, 1962) . Geçmişten günümüze pek çok araştırmacı tarafından deney tasarım yöntemleri geliştirilmeye devam edilmektedir. Pek çok farklı alanda uygulanabilirliği açısından, yazılım tasarımcıları bu alanla ilgili yazılımlar geliştirmektedir (Kobilinsky, Monod, Bailey, 2017).

SPSS Statistics programı, ortogonal dizileri oluştururken, Plackett-Burman ve Addelman algoritmalarından yararlanmaktadır. Bir diğer deyişle, deneyde belirlenen faktör ve seviye sayısını dikkate alarak ve bu amaçla geliştirilmiş algoritmaları kullanarak, uygun diziyi araştırmacıya sunmaktadır.

3.3.4.1 Deney Tasarımında Ortogonal Dizaynın Kullanıldığı Çalışmalar

1920 yılında Fisher tarafından geliştirilen istatistiksel deney tasarımı ilk olarak tarım alanında yaygınlaşmış, daha sonra hayvancılık, eczacılık, mühendislik gibi birçok alanda kullanım alanı bulmuştur (Adıgüzel, 2012).

Yiu-Wing Leung ; Yuping Wang tarafından yapılan çalışmada, ortogonal dizayn adı verilen deney tasarım metodu bir niceleme (quantization) tekniği olarak önerilmiştir. Bu metot; çalışmada çözüm alanı üzerinde eşit olarak dağılmış bir başlangıç nokta popülasyonu oluşturmak için kullanılmıştır. Böylece oluşturulan algoritmada çözüm alanı eşit olarak taranabilmekte ve sonraki yinelemelerde daha fazla test için iyi temsil noktaları bulunmuş olmaktadır. Ek olarak, bu çalışmada niceleme ve ortogonal dizayn birlikte kullanılmış ve temsili noktalar örneği oluşturulmuştur. Bu çalışmada; 15 parametre 30-100 arasında değişken doğrultusunda değerlendirilmiştir. Sonuçlarda önerilen algoritmanın, optimal ya da optimale yakın çözümler bulabileceği görülmüştür (Leung ve Wang, 2001).

Wenyin Gong, Zhihua Cai Liangxiao Jiang tarafından yapılan çalışmada, Differential evolution (DE) optimizasyon algoritması araştırılmıştır. Bu çalışmada DE

için yakınsama hızını arttırmak amacıyla ortogonal dizayn yöntemi kullanılmıştır. Bu doğrultuda 25 problem üzerinde deneyler yapılmış ve sonuçlar yaklaşımın her durumda optimum ya da optimuma yakın sonuçlara ulaşılabilirdiği saptanmıştır (Gong, Cai ve Jiang, 2008).

Liu Ruijiang, Zhang Yewang, Wen Chongwei, Tang Jian çalışmalarında, Ortogonal dizayn yönteminin önemi, prensip ve karakteristiği hakkında bilgi aktarımı yapmışlardır (Ruijiang, Yewang, Chongwei ve Jian, 2010).

Puneet Sharma, Amitabh Verma, R.K.Sidhu, O.P.Pandey, bu çalışmada, stronsiyum ferrit sinterlenmiş mıknatıslarda optimal manyetik özellikler elde etmek için işletme parametrelerinin seçimini tartışmaktadır. Manyetik özellikler; kalıntı, zorlayıcılık ve enerji ürünü gibi çeşitli kalite özelliklerine sahiptir. Parametrelerin seçiminde, belirtilen kalite özelliklerine optimum noktada ulaşmak için Ortogonal dizayn yöntemi benimsenmiştir. Bu yaklaşım deneysel sonuçlar gösterilerek aktarılmıştır (Sharma, Verma, Sidhu ve Pandey, 2005).

Vivekananda Mandal, Yogesh Mohan, Siva Hemalatha bu çalışmada, ekstraksiyon koşulları, yani mikrodalga gücü; ısıtılma süresi, parçacık boyutu ve değiştirici hacmi Taguchi Ortogonal Dizayn tasarım yaklaşımı kullanılarak optimize edilmiştir. Çalışma sonunda; faktörler arasındaki etkileşim çalışmalarından optimum koşullar elde edilmiştir (Mandal, Mohan ve Hemalatha, 2008).

Laisuo Su, Jianbo Zhang, Caijuan Wang, Yakun Zhang, Zhe Li, Yang Son, Ting Jin, Zhao Ma çalışmalarında, Lityum-iyon hücrelerin döngü koşulları altındaki yaşlanma oranının etkilendiği faktörlerin önem sırasını tespit etmişlerdir. 7 ana faktör sistematik olarak ortogonal dizayn yöntemi kullanılarak incelenmiş ve güç açısından kapasitenin azalmasına neden olan ana faktörlerin sırasını belirlemek için istatistiksel analiz kullanılmıştır. Ortogonal dizayn yöntemi kullanılarak bu çalışmada 18 test birimi seçilmiştir (Su, Zhang, Wang, Zhang, Li, Song ve Ma, 2016).

Yong Liu, Rongjian Deng, Mingfeng Hao, Hua Yan, Weimin Yang çalışmalarında, Eriyik elektrospinningde elyaf çapını etkileyen faktörleri bulmak için polimerin eriyik sıcaklığını, eğirme voltajını, eğirme mesafesini ve eriyik akış hızını (MFR) incelemek için ortogonal dizayn yöntemi kullanmışlardır. Sonuçlar, mevcut üç seviyedeki MFR'nin ortalama çaplar ve elyaf çaplarının standart sapmaları üzerinde en önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Liu, Deng, Hao, Yan ve Yang, 2010).

Zhi Ge, Zhili Gao, Renjuan Sun, Li Zheng bu çalışmada, kil-tuğla tozunun (CBP) basınç dayanımı, statik elastik modülü ve eğilme dayanımı dahil olmak üzere beton mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Ortogonal experimental dizayn yöntemi, su/çimentolu malzeme oranı, kum oranı, replasman seviyesi ve CBP'nin ortalama partikül büyüklüğü dahil olmak üzere etkileyen tüm faktörlerin önem sırasını incelemek için kullanılmıştır. Referans olarak bir normal çimento betonu dahil olmak üzere toplam 17 karışım test edilmiştir. Deney sonuçlarına göre optimum karışım oranı, deneysel ve ortogonal analize göre belirlenmiştir. Deneylerde; kil-tuğla-toz ve karışım oranının beton mekanik özellikler üzerine etkileri değerlendirilmiştir (Ge, Gao, Sun ve Zheng, 2012).

Shenghua Ma, Hui Wang, Yu Wang, Huaiyu Bu, Jinbo Bai bu çalışmada, Anaerobik fermantasyon ile mısır atıklarından biyo-hidyojen (biyo-H₂) üretimini optimize etmek için “one factor at a time dizayn” ve ortogonal dizayn metotları kullanılmıştır. Çalışmada; doğal çamurun aşılama olarak kullanılması ile substrat konsantrasyonu ve başlangıç pH'ının biyo-H₂ üretimi üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla seri deneyler tasarlanmıştır. Önerilen yöntem, birkaç iyi tanımlanmış deney seti ile optimum tasarım parametrelerinin optimizasyonunu kolaylaştırmaktadır (Ma, Wang, Wang, Bu ve Bai, 2011).

Wenyan Gong, Zhihua Cai bu çalışmada, ilk deney popülasyonunu oluşturmak için ortogonal dizayn metodunu kullanmıştır (Gong ve Cai, 2009). Gang Liu, Zhongqin Lin, Youxia Bao, bu çalışmada, U şeklindeki parçaların oluşturulmasındaki temel endişe, geri esnemenin geometri üzerindeki etkisidir. Blankholder değişkeni geri yaylanmayı azaltmaktadır. Ancak, blankholder kuvvet yörüngesini belirlemek için

herhangi bir yöntem bulunmamaktadır. Bu çalışmada blankholder değişkeni için bir optimizasyon tasarımı önerilmektedir. FEM yazılımı ile ortogonal dizayn metodu birlikte kullanılmıştır. Bu çalışmada simülasyon sayıları, deney tasarımı kullanılarak en aza indirilmiştir (Liu, Lin ve Bao, 2002).

Se-Jong Kim, Yi-Gil Cho, Chang-Seok Oh, Dong Eun Kim, Man Been Moon, Heung Nam Han çalışmalarında, 50 kg-grade soğuk haddelenmiş çift fazlı bir çelik bu çalışmada ortogonal dizayn metodu kullanılarak geliştirilmiştir. Isıl işlem sırasındaki kritikler arasındaki tavlama, yaşlanma ve galvanizlenme sıcaklıkları kontrol edilebilir faktörler olarak kabul edilmiş ve bu faktörlerin her biri için üç seviye seçilmiştir (Kim, Cho, Oh, Kim, Moon ve Han, 2009).

Gang Lei, Y. G. Guo, J. G. Zhu, X. M. Chen, W. Xu, K. R. Shao bu çalışmada, elektromanyetik cihazların tasarım problemlerini ele almak için; ortogonal experimental dizayn yöntemi ile geliştirilmiş bir ardışık optimizasyon yöntemi (SOM) sunulmaktadır. Önerilen yöntemleri uygulamak için öncelikle tasarım faktörleri, çok önemli, önemli ve önemsiz faktörler olarak üç gruba ayrılmıştır. Daha sonra tüm tasarım alanı, bu üç faktör setine karşılık gelen üç alana bölünmektedir. Bu alt alanları sırasıyla optimize etmek için SSOM sunulmaktadır. Alt alanlarda optimum çözümler elde etmek için ortogonal dizayn yöntemine dayanan gelişmiş bir SOM kullanılmıştır (Lei, Guo, Zhu, Chen, Xu ve Shao, 2012).

Hong Li, Yong-Chang Jiao, Li Zhang, Ze-Wei Gu bu çalışmada, çok boyutlu knapsack problemlerini çözmek için ortogonal dizayn yöntemine dayanan bir genetik algoritma önerilmektedir. Deneysel bir tasarım yöntemi olan faktör analizi ile ortogonal tasarım, algoritmanın daha sağlam, istatistiksel olarak gerçekçi ve hızlı olmasını sağlamak için genetik algoritmaya uygulanmıştır. Ortogonal dizayn yöntemi ile temsili noktalar üretilmiştir. Simülasyon sonuçları, önerilen algoritmanın daha az hesaplama yükü ile optimal veya optimele yakın çözümler bulunabileceğini göstermektedir (Li, Jiao, Zhang ve Gu, 2006).

Taguchi Yöntemi, parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımı üzerine kurulmuş bir deney tasarım ve optimizasyon yöntemidir. En yaygın olarak, kalite güvence sistemleri kapsamında toplanan verilerin, istatistiksel analizinde kullanılmaktadır. Taguchi'nin deney tasarım yöntemi, farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından optimum kombinasyonu saptamak adına oldukça yararlı bir yöntemdir (Gökçe ve Taşgetiren, 2009).

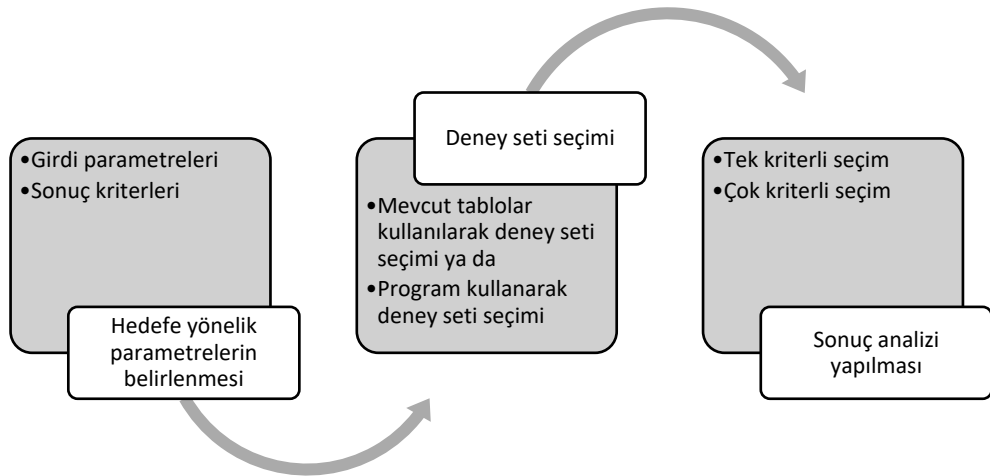
Taguchi, çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri oluşturmuştur. Ortogonal dizinin en önemli özelliği, birçok faktörün en az sayıda test edilmesi ve faktör seviyelerini eş zamanlı olarak değiştirme yapmaya olanak sağlamasıdır. Ortogonal diziler problemin özelliğine göre, 2 kademeli, 3 kademeli, 2 ve 3 kademeli olarak belirlenmektedir. Ortogonal dizilere tasarım matrisi de denilmektedir (Taylan, 2009).

BÖLÜM DÖRT

PASİF EV EnerPHit SERTİFİKASI ÇERÇEVESİNDE UYGUN SEÇİMİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK YAKLAŞIMIN TANIMLANMASI

Bu çalışmada, mevcut binalarda EnerPHit Sertifikası sınırları çerçevesinde farklı sonuç kriterleri açısından tek kriterli ya da çok kriterli seçim yapılmasına yönelik bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen yaklaşım, farklı girdi parametrelerine sahip farklı yapı tiplerine de uyarlanmaya olanak sağlamaktadır. Tasarımcıya, kendi girdi parametreleri ve araştırdığı çıktı kriterleri bağlamında tek kriterli sonuçlarda optimum parametre dizilimine sahip senaryoyu, çok kriterli sonuçlarda ise %90'ın üzerinde performansa sahip parametre dizilimine sahip senaryoyu bulma imkanını sağlamaktadır.

Önerilen yaklaşım Şekil 4.1'de gösterildiği gibi üç adımdan oluşmaktadır. İlk aşamada, araştırılan hedefe yönelik girdi parametreleri ve sonuç kriterleri belirlenmektedir. İkinci aşamada belirlenen girdi parametreleri ve parametre seviyelerinin sayısına uygun deney tasarım seti seçilmektedir. Seçilen senaryoların her birinin ayrı ayrı araştırılan hedef doğrultusunda enerji ve maliyet analizleri yapılmaktadır. Son aşamada ise, tek ya da çok kriterli seçim doğrultusunda en uygun senaryo seçilmektedir.



Çalışmanın bu bölümünde, önerilen yaklaşım aktarılacak, çalışmanın beşinci bölümünde ise İzmir ilinde tek katlı bir bina üzerinde uygulanacaktır.

4.1 Ortogonal Dizayn Yöntemi ile Deney Tasarımının Aşamaları

Araştırmacılar, genellikle belirli bir süreç veya sistem hakkında bir şeyler keşfetmek için neredeyse tüm sorgulama alanlarında deneyler yaparlar. Kelimenin tam anlamıyla, deney bir testtir. Genel olarak, bir deneyi, bir sürecin girdi değişkenlerinde amaca yönelik değişikliklerin yapıldığı bir test veya bir dizi test olarak tanımlayabiliriz. Böylece çıktı yanıtında gözlemlenebilecek değişikliklerin nedenlerini belirlemek için bilimsel bir yol izlenmiş olmaktadır (Montgomery, 2005).

Genellikle ürün geliştirme çalışmaları çok sayıda faktör içerir. Bu nedenle tam faktöriyel tasarım ile deneylerin gerçekleştirilmesi çok fazla zaman ve maliyet kaybına neden olmaktadır. Kesirli faktöriyel tasarımlar deneylerin tüm kombinasyonlarının denenmesi yerine ortogonal dizinleri kullanarak sadece bir kısmının yapılmasıyla, en iyi performans karakteristiği değerini veren faktör seviyelerinin bulunabileceğini ifade eder. Ortogonal dizinler tam faktöriyel tasarımdan farklı olarak faktör seviyelerini birer birer değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirme yaparak deney sayısını azaltır. Ortogonal dizinin sütunlarına atanan faktörlerin her seviyesi eşit sayıda yer alır. Bu da her ikili faktör grubunun kendi aralarında bir faktöriyel tasarım oluşturmaya ve aralarındaki ilişkinin belirlenebilmesine olanak sağlamaktadır (Şimşek ve Dilmaç, 2018).

Genel olarak deneyler, süreç ve sistemlerin performansını incelemek için kullanılır. Süreci genellikle bazı girdileri (genellikle bir malzemeyi) bir veya daha fazla gözlemlenebilir yanıt değişkenine sahip bir çıktıya dönüştüren işlemlerin, makinelerin, yöntemlerin, kişilerin ve diğer kaynakların bir kombinasyonu olarak görselleştirebiliriz. Deneyin hedefleri aşağıdakileri içerebilir:

- Hangi değişkenlerin yanıtta en etkili olduğunu belirleme,
- Etkili girdilerin hangi düzeye ayarlanacağını belirleme, böylece çıktı

neredeysse her zaman istenen nominal değere yakın olur,

- Çıktı değişkenliğinin küçük olması için etkili girdilerin nereye ayarlanacağını belirleme (Montgomery, 2005).

Girdilerin (faktörlerin) sayısı arttıkça, gerekli çalışma sayısı hızla artar, örneğin, tüm faktörleri iki seviyede içeren 10 faktörlü bir deney, 1024 çalışma gerektirir. Bu durum, zaman ve kaynak açısından hızlı bir şekilde gerçekleştirilemez hale gelir. Çalışmada dört, beş veya daha fazla faktör varsa, tüm olası faktör seviyesi kombinasyonlarını çalıştırmak genellikle düzensizdir. Kesirli faktöriyel deneme, çalışmaların yalnızca bir alt kümesinin kullanıldığı temel faktöriyel tasarımın bir varyasyonudur (Montgomery, 2005).

Deneyisel tasarımlar, endüstriyel araştırma ve geliştirmede ve süreç iyileştirmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneyisel tasarım yöntemleri birçok disiplinde geniş uygulama alanı bulmuştur. Deneyselligi, bilimsel sürecin bir parçası ve sistemlerin veya süreçlerin nasıl çalıştığını öğrenmenin yollarından biri olarak görebiliriz.

Deneyisel tasarım tekniklerinin süreç geliştirmenin erken aşamalarında uygulanması,

- İyileştirilmiş süreç verimi,
- Azaltılmış değişkenlik ve nominal veya hedef gereksinimlere daha yakın uyum,
- Azaltılmış geliştirme süresi,
- Azaltılmış genel maliyet avantajlarını sağlamaktadır.

Yeni ürünlerin geliştirildiği ve mevcut ürünlerin iyileştirildiği mühendislik tasarım faaliyetlerinde deneyisel tasarım yöntemleri de temel öneme sahiptir. Mühendislik tasarımında deneyisel tasarımın bazı uygulamaları şunları içermektedir;

- Temel tasarım konfigürasyonlarının değerlendirilmesi ve karşılaştırılması,
- Malzeme alternatiflerinin değerlendirilmesi,

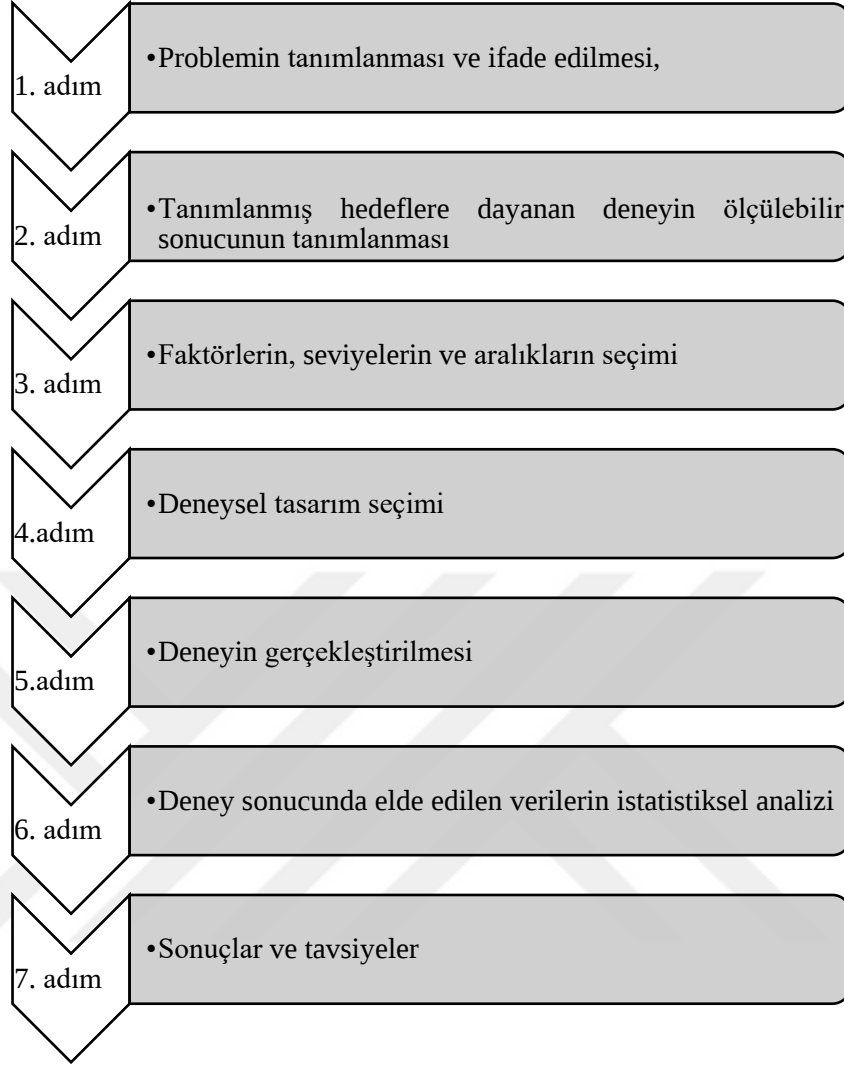
- Ürünün farklı koşullarında iyi çalışabilmesi için tasarım parametrelerinin seçimi,
- Ürün performansını etkileyen temel tasarım parametrelerinin belirlenmesi,
- Yeni ürün formülasyonu.

Ürün gerçekleştirmede deneysel tasarımın kullanılması, üretilmesi daha kolay ürünler, gelişmiş saha performansı ve güvenilirliği olan ürünler, daha düşük ürün maliyeti ve daha kısa ürün tasarımı ve geliştirme süresi ile sonuçlanabilir (Montgomery, 2005).

Önerilen prosedürün ana hatları aşağıda adımlar halinde sıralanmaktadır. Bir deney tasarlamak için yönergeler sırasıyla aşağıdaki gibidir (Şekil 4.2);

- 1) Problemin tanınması ve ifade edilmesi, hedeflerin belirlenmesi - araştırılacak sorunların belirlenmesi,
- 2) Yanıt değişkeninin seçimi, yanıt değişkeni tanımı – tanımlanmış hedeflere dayanan deneyin ölçülebilir sonucunun tanımlanması
- 3) Faktörlerin, seviyelerin ve aralıkların seçimi, yanıt değişkeninde durum değişikliğine neden olan bağımsız değişkenlerin (faktörlerin) ve seviyelerinin belirlenmesi,
- 4) Deneysel tasarım seçimi, deneysel tasarım tipinin belirlenmesi,
- 5) Deneyi yapmak, tasarım matrisi kullanılarak deneylerin yapılması,
- 6) Verilerin istatistiksel analizi
- 7) Sonuçlar ve tavsiyeler, sonuçların grafiksel gösterimi ve değerlendirilmesi.

2. ve 3. adımlar genellikle aynı anda veya ters sırada yapılır (Durakovic, 2017), (Montgomery, 2005).



Şekil 4.2 Deney tasarımı süreci ve aşamaları (Montgomery, 2005) (Durakovic, 2017)

4.1.1 Sorunun tanınması ve ifadesi

Bu aşama oldukça açık bir nokta gibi görünebilir, ancak uygulamada deney gerektiren bir problemin var olduğunu fark etmek ve deneyin hedefleri hakkında tüm fikirleri geliştirmek çoğu zaman basit değildir. Bu fikirler pek çok yönde geliştirilebilir. Örneğin; Hangi durumda hedef optimum olabilir? Bir deneyin birçok olası hedefi vardır, bunlar arasında doğrulama (sistem geçmişte aynı şekilde çalışıyor mu?), keşif (yeni malzemeleri, değişkenleri, çalışma koşullarını vb. keşfedersek ne olur?), ilgili yanıt değişkenleri hangi koşullar altında ciddi şekilde farklılaşır? veya doğrudan kontrol edemediğimiz kaynaklardan kaynaklanan yanıt değişkenindeki değişkenliği nasıl azaltabiliriz? Gibi sorulara yanıt aranabilmektedir. Problem

tanımlanmasının önemli bir yönü, geniş kapsamlı bir deneyin, deney yapanların birçok sorunun cevabını bilmesini gerektirdiğinin ve eğer bilgilerden bir kısmı yanlışsa, sonuçların hayal kırıklığı yaratacağının kabul edilmesidir. Bu durum zamanın, materyallerin ve diğer kaynakların israfına yol açar ve araştırma sorularını tatmin edici bir şekilde cevaplamamaya neden olabilir. Böyle bir durumda deney tasarımı gibi belirli bir amaca sahip olan bir dizi küçük deney grubu kullanan sıralı bir yaklaşım daha iyi bir stratejidir (Montgomery, 2005).

Örneğin son yıllarda gelişen enerji krizi, enerji kaynaklarında maliyet artışı, ekonomik krizler ve küresel ısınma gibi nedenler; enerjinin etkin ve verimli kullanılmasına dair çözümler geliştirilmesine sebep olmuştur. Bu çözümlerin önemli bir kısmını da binalarda enerjinin etkin ve verimli kullanılmasına dair çözümler oluşturmaktadır. Binalarda enerji etkin kullanılırken aynı zamanda maliyet etkinlik de önemli bir konu olmaktadır. Bu çalışmada binalarda enerji etkin iyileştirme yapılırken EnerPHit sertifikası çerçevesinde yapılan müdahalelerin optimum koşullarının belirlenmesine yönelik bir yaklaşım izlenmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda; yapı kabuğu elemanlarının her biri birer parametre olarak kabul edilmiş ve etkin düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

4.1.2 Yanıt Değişkeninin Seçimi

Yanıt değişkeni seçilirken, deneyi yapan kişi, bu değişkenin incelenen süreç hakkında gerçekten yararlı bilgiler sağladığından emin olmalıdır. Çoğunlukla, ölçülen özelliğin ortalama veya standart sapması (veya her ikisi) yanıt değişkeni olacaktır. Deney tasarımı, sistemlerin performansını incelemek ve iyileştirmek için de kullanılmaktadır (Montgomery, 2005).

Deney tasarımı binalarda EnerPHit doğrultusunda iyileştirme amacıyla kullanılırken bazı sonuç kriterleri (yanıt değişkenleri) belirlenebilmektedir. Örneğin bu çalışmada ulaşılan toplam yıllık enerji tüketimi, toplam ısıtma enerjisi tüketimi, ilk yatırım maliyeti, elde edilen enerji tasarrufu, geri dönüş süresi, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı gibi kriterler yanıt değişkeni olarak seçilmiştir.

4.1.3 Faktörlerin, Seviyelerin ve Aralıkların Seçimi

Araştırmacı tasarım faktörlerini seçtikten sonra, bu faktörlerin çeşitlendirileceği aralıkları ve işlemlerin yapılacağı seviyeleri seçmelidir. Bu faktörlerin istenen değerlerde nasıl kontrol edileceği ve nasıl ölçüleceği de belirlenmelidir. Bu süreç bilgisi genellikle pratik deneyim ve teorik anlayışın bir birleşimidir. Önem arz edebilecek tüm faktörleri araştırmak önemlidir (Montgomery, 2005).

Yanıt değişkeni seçildikten sonra, yanıt değişkenini etkileyen parametreler (faktörler) ve bu parametrelerin düzeyleri (seviyeleri) belirlenmelidir. Bir binanın EnerPHit doğrultusunda enerji etkin iyileştirilmesi için yapı kabuğu elemanlarından duvar, çatı, zemin ve pencerelerin belirli düzeylerde yalıtılması gerekmektedir. Bu aşamada; EnerPHit kriterlerinde belirtilen sınır U-değerlerinden (Tablo 3.1) ya da sertifikalı yapılardan benzer iklim kuşağında bulunanlarda tercih edilmiş U-değerlerinden yararlanarak parametre düzeyleri belirlenmektedir. Bu çalışmada benzer iklim kuşağında bulunan sertifikalanmış yapıların U-değerleri saptanmış ve düzey olarak belirlenmiştir. Tablo 3.1’de belirtilen EnerPHit-Standardı, yapı bileşeni U-değerleri kriterleri yöntemine göre ise; ılıman iklim kuşağında bulunan İzmir ili için yapı kabuğunda $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ’in, pencerelerde $1,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ ’in altında kalacak U-değerlerini sağlayan yalıtım malzemesi seçimiyle de düzeyler belirlenebilmektedir.

4.1.4 Deneysel Tasarım Seçimi

Seçim tasarımı, faktör ve seviye sayılarının oluşturduğu deney büyüklüğünün dikkate alınmasını, denemeler için uygun bir çalışma sırasının seçilmesinin belirlenmesini içerir. Montgomery, 2005 yılında yayınlanan kitabında önemli deneysel tasarım türlerinden bazılarını tartışmaktadır ve bu yayın çok çeşitli problemler için uygun bir deneysel tasarım seçmek için bir katalog olarak kullanılabilmektedir (Montgomery, 2005).

Deneysel tasarımın bu aşamasını destekleyen birkaç etkileşimli istatistiksel yazılım paketi de vardır. Araştırmacı, faktörlerin, seviyelerin ve aralıkların sayısı hakkında

bilgi girebilir ve bu programlar, değerdendirilmek üzere bir dizi tasarım sunar veya belirli bir tasarımı tavsiye eder. Bu programlar genellikle deneyin yürütölmesinde kullanılmak üzere bir çalışma sayfası da sağlayabilmektedir (Mongomery, 2005).

Tasarım seçerken deneysel hedefleri belirlemiş olmak önemlidir. Birçok mühendislik deneyinde, bazı faktör seviyelerinin yanıt için farklı değerdlerle sonuçlanacağını bilinmektedir. Sonuç olarak, bu farklılığa hangi faktörlerin neden olduğunu belirlemek ve yanıt değışikliğinin büyüklüğünü tahmin etmek için deney tasarımı kullanılmaktadır. Bazı durumlarda, deney tasarımı ile ürün ya da süreçlerin doğrulanması sağlanabilmektedir. Örneğın, iki üretim koşulu A ve B karşılaştırılabilir, A standarttır ve B daha uygun maliyetli bir alternatiftir. Araştırmacı, böyle bir durumda, iki koşul arasında verimde hiçbir fark olmadığını göstermekle ilgilenecektir (Mongomery, 2005).

Deney tasarımı günümüzde, uygun istatistiksel yazılımlar aracılığıyla hızlı bir şekilde uygulanıp analiz edilebilmektedir. Bu amaçla bazı yazılım paketleri bulunmaktadır. Bu alanda en yaygın kullanılan paketler; SPSS, Minitab, Statistica, SAS, Design-Expert, Statgraphics, Prisma vb., yazılım paketleri ise R, Action for Microsoft Excel'dir (Durakovic, 2017).

SPSS programı uygun deney tasarımı seçimi prosedürünü tanımlamıştır. Bu prosedür ile, ortogonal ana etki tasarımı oluşturulmaktadır. Bu yöntem ile, faktörlere ait kombinasyonlardan oluşan en küçük ortogonal plan bulunabilmektedir. Hazırlanmış ortogonal planlardan oluşmuş kütüphaneden bir planı seçmek ya da kullanıcının tasarımına uyarlamak, minimum boyut gereksinimini karşılamaktadır. SPSS programında Plackett and Burman ve Addelman'ın ortogonal dizi oluşturma metodlarından yararlanarak ortogonal plan kütüphanesi oluşturulmuştur. Plackett and Burman (1946) tek bir sütunun rotasyonu ile elde edilen bir dizi plan belirlemişlerdir. Addelman (1961) ise ortogonal ana etki planlarını oluşturmak için genel yöntemleri tanımlamıştır. 1961 ve 1962'de yayınladığı makalelerinde genel yöntemleri ve bu yöntemlerle oluşturulmuş ortogonal dizileri tanımlamaktadır. Addelman'ın yöntemlerini kullanarak yazarlar daha fazla sayıda dizi üretmiştir. (SPSS, bt.)

Bu çalışmada kullanılacak senaryolar; rastgele seçimle oluşturulmak yerine, tüm seviyeleri ve faktörleri eşit ve dengeli bir şekilde dikkate alarak toplam örnek uzayının bir alt kümesini oluşturan ortogonal dizayn yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Senaryoların ortogonal dizayn ile oluşturulması aşamasında; bu amaç için yaygın olarak kullanılan SPSS programından yararlanılmıştır.

Bir ortogonal dizi $L_N(s^k)$ şeklinde gösterilmektedir;

N = Deney sayısı

S = Seviye sayısı

K = Faktör sayısı

Örneğin 4 faktörü ve her bir faktöre ait 4 seviyesi olan bir çalışma için oluşturulan dizi; $L_{16}(4^4)$ olarak ifade edilmektedir.

Tablo 4.1’de bir L16 ortogonal dizisini göstermektedir. Yapılacak toplam 16 deney vardır ve her deney tabloda gösterildiği gibi seviye değerlerinin kombinasyonuna dayanmaktadır. Örneğin, üçüncü deney, bağımsız tasarım değişkeni 1’i 4. seviyede, 2. değişkeni 4. seviyede, 3. değişkeni 1. seviyede ve 4. değişkeni 4. seviyede tutarak yapılır.

Tablo 4.1 L₁₆ (4⁴) Ortogonal dizisine ait deney kombinasyonları

L ₁₆ (4 ⁴) Ortogonal dizisi					
	Bağımsız Değişkenler				Performans Parametresi Değeri
Deney	Değişken 1	Değişken 2	Değişken 3	Değişken 4	
1	1	1	1	1	p1
2	3	3	1	3	p2
3	4	4	1	4	p3
4	2	2	1	2	p4
5	2	4	3	1	p5
6	4	3	2	1	p6
7	3	2	4	1	p7
8	1	4	4	3	p8
9	4	1	4	2	p9
10	1	3	3	2	p10
11	2	3	4	4	p11
12	2	1	2	3	p12
13	3	1	3	4	p13
14	3	4	2	2	p14
15	4	2	3	3	p15
16	1	2	2	4	p16

Ortogonal diziler, yapılacak deneylerin sayısını azaltan aşağıdaki özelliklere sahiptir (Umass, bt.).

- Yukarıdaki tablonun her bağımsız değişkeninin altındaki dikey sütun, özel bir seviye ayarları kombinasyonuna sahiptir. Tüm seviye ayarları eşit sayıda görünür. Örneğin; Değişken 4 altındaki L16 dizisi için, düzey 1, düzey 2, düzey 3 ve düzey 4 dört kez görülür. Buna, ortogonal dizilerin dengeleme özelliği denir.
- Deneylerin yürütülmesi için bağımsız değişkenlerin tüm seviye değerleri kullanılmıştır.
- Deneylerin gerçekleştirilmesi için seviye değerlerinin sırası değiştirilmeyecektir. Bu, Deney 1'in Değişken 1, Düzey 2 kurulumu ve Deney 4'ü Değişken 1, Düzey 1 kurulumuyla gerçekleştiremeyeceği anlamına gelir. Bunun nedeni, her faktör sütununun dizisinin diğer herhangi bir seviye değerleri sütununa karşılıklı olarak ortogonal olmasıdır.
- Ağırlıklara karşılık gelen vektörlerin iç çarpımı sıfırdır. Yukarıdaki 4 seviye - 2 ile 2 arasında normalize edilirse, o zaman seviye 1, seviye 2, seviye 3, seviye 4 için ağırlık faktörleri sırasıyla -2, -1, 0, 1, 2 olur.
Bu durumda, bağımsız Değişken 1 ve bağımsız Değişken 2'nin ağırlıklandırma faktörlerinin iç çarpımı,;

$$\begin{aligned}
&(-2 \times -2) + (1 \times 1) + (2 \times 2) + (-1 \times -1) + (-1 \times 2) + (2 \times 1) + (1 \times -1) + \\
&(-2 \times 2) + (2 \times -2) + (-2 \times 1) + (-1 \times 1) + (-1 \times -2) + (1 \times -2) + (1 \times 2) + \\
&(2 \times -1) + (-2 \times -1) = 0 \text{ olur.}
\end{aligned}$$

Farklı sayıdalardaki faktör-seviye kombinasyonları için, ortogonal diziler kullanılarak elde edilen deney setlerine ait kombinasyon sayıları Tablo 4.2'de gösterilmektedir. Örneğin sekiz faktör dört seviyeden oluşturulan bir deneyde, tüm kombinasyonların denenmesi 65536 deneme gerektirirken, deney tasarımı yöntemi ile elde edilen deney seti kullanılarak 32 kombinasyon ile sonuca ulaşmak mümkün olmaktadır. Yüksek sayıda faktör ya da seviye içeren araştırmalar için büyük hız ve kolaylık sağlayan bir yöntem olduğu açıkça görülmektedir.

Çalışmanın devamında dört faktör dört seviyeli deney tasarım seti ile, beş faktör sekiz seviyeli deney tasarım setinin EK 1 den yararlanılarak oluşturulması

örneklendirilecektir. Deney tasarım setlerinin klavuzdan yararlanılarak oluşturulması yerine bilgisayar uygulamaları aracılığıyla elde edilmesi pratikte daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tablo 4.2 Farklı faktör-seviye sayıları için oluşturulmuş deney seti sayıları

No	Faktör	Seviye	Kombinasyonların Tamamının Sayısı	Deney Tasarımı ile Elde Edilen Kombinasyonların Sayısı
1	5	2	32	8
2	4	3	81	9
3	9	2	512	12
4	4	4	256	16
5	6	3	729	18
6	8	4	65536	32
7	4	8	4096	64
8	5	8	32768	64
9	3	9	729	81
10	5	9	59049	81

Bu çalışmada duvar, çatı, zemin ve pencere olarak dört farklı parametre ve her birine ait dörder farklı düzey belirlenmiştir. Dört parametre ve dört düzeye uygun deney seti seçimi için hem SPSS istatistik programı kullanılmış, hem de Addelman'ın hazır kataloğundan yararlanılmıştır. Her ikisinde de aynı deney setine ulaşılmış ve 16 farklı senaryo elde edilmiştir.

Çalışmanın EK 1 kısmında, bir deney tasarım setinin bir bilgisayar programı kullanmaksızın basit hesaplarla elde edilmesi aktarılmaktadır. Bilgisayar programları, literatürdeki farklı kaynaklar ve yöntemi geliştiren araştırmacılar en düşük seviyeyi “1” ya da “0” ile tanımlamaktadırlar. Çalışmada en düşük seviye “1” olarak ele alınsa da, EK 1’ de yararlanılmış olan kaynakta en düşük seviye “0” ile başlamaktadır.

Tablo 4.3 Dört faktör dört seviyeli veri seti

	Faktörler			
	Duvar	Çatı	Zemin	Pencere
Seviyeler	1	1	1	1
	2	2	2	2
	3	3	3	3
	4	4	4	4

Çalışmada kullanılan ve Tablo 4.3’ te gösterilen parametreler ve deney seti seçimi için çalışmanın EK 1 kısmında yer alan katalogdan yararlanıldığında;
Her bir L (tasarımdaki maksimum seviye sayısı) değeri için farklı bir karar kuralı bulunmaktadır. Bu kuralları tanımlarken;

M: Minimum satır sayısı,

F: Tasarımdaki faktör sayısı

Çalışmadaki maksimum seviye sayısı 4 olduğu durumda;

P =Seviyesi 2 den fazla olan faktörlerin sayısı ve $K=F+2P$.

Eğer $M < 17$ ve $K < 15$ ise, Tablo 73-6 “16 satır, 4 seviyeli 5 sütun” planı temel alınmaktadır.

Çalışmanın uygulama aşaması için EK’de belirtilen kurallar doğrultusunda aşağıdaki hesaplama yapılmış ve Tablo 73-6 “16 satır, 4 seviyeli 5 sütun” planının temel alınabileceği saptanmıştır.

$$P=4, F=4$$

$$K=F+2P.$$

$$K= 4+(2 \times 4) =12, K \leq 15$$

$$M=16, M \leq 17$$

Ayrıca tüm faktör ve seviyelerine ait veriler Tablo 4.1’deki kaynaktan farklı olarak SPSS programına veri olarak girilmiş ve hesaplama doğrultusunda Tablo 73-6’daki deney planına ulaşılmıştır. Her iki deney planı da ortogonal dizi özelliği taşıyan deney tasarım setleridir. Elde edilen deney planına ait faktörler ve seviyelerin dağılımını içeren deney planı Tablo 4.4’de gösterilmektedir.

Tablo 4.4 Dört faktör dört seviyeli veri setine ait deney planı

	Duvar	Çatı	Zemin	Pencere
Senaryo	Seviyeler			
1	1	1	1	1
2	2	1	2	2
3	3	1	3	3
4	4	1	4	4
5	1	2	2	3
6	2	2	1	4
7	3	2	4	1
8	4	2	3	2
9	1	3	3	4
10	2	3	4	3
11	3	3	1	2
12	4	3	2	1
13	1	4	4	2
14	2	4	3	1
15	3	4	2	4
16	4	4	1	3

Bir başka örnek üzerinden deney planı oluşturmak istenmiştir. Bu doğrultuda; faktörlere ara kat döşemesi de eklenmiş ve faktör sayısı beşe çıkartılmıştır. Ayrıca çok daha geniş aralıkta seviye sayısı seçilirse elde edilen deney planı nasıl olurdu sorusuna yanıt aramak için her bir faktörün sekiz seviyeli olduğu varsayılmıştır. Tablo 4.5’de her biri sekiz seviyeli, beş faktörlü bir veri seti gösterilmektedir.

Tablo 4.5 Beş faktör sekiz seviyeli veri seti

	Faktörler				
	Duvar	Çatı	Zemin	Ara kat	Pencere
Seviyeler	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5
	6	6	6	6	6
	7	7	7	7	7
	8	8	8	8	8

Çalışmada kullanılan faktörlerin seviye sayısı maksimum 8 olduğu durumda; $P=$ Seviyesi 2 den fazla olan faktörlerin sayısı ve Q seviyesi 4’den fazla olan faktörlerin seviyesidir.

EK 1’e göre; eğer $M<17$ ve $F<10$ ve $P<2$ ise, Tablo 73-9 “16 satır, 8 seviyeli 1 sütun artı 2 seviyeli 8 sütun” planı temel alınmaktadır.

Eğer $M<33$ ve $Q<2$ ve $F+2P+4Q<32$ ise, ş 73-10 “31 satır, 8 seviyeli 1 sütun artı 4 seviyeli 8 sütun” planı temel alınmaktadır.

Eğer $M<65$ ve $F+6P<64$ ise, Tablo 73-11 “64 satır, 8 seviyeli 9 sütun” planı temel alınmaktadır.

$P=5$, $F=5$

$P<2$ olmadığı için 16 satır, 8 seviyeli 1 sütun artı 2 seviyeli 8 sütun” planı temel alınamamaktadır.

$Q<2$ olmadığı için 31 satır, 8 seviyeli 1 sütun artı 4 seviyeli 8 sütun” planı temel alınamamaktadır.

$F+6P<64$ kuralına uyarak; $5+6 \times 5=35<64$ olduğu için 64 satır, 8 seviyeli 9 sütun planı temel alınmıştır.

Elde edilen deney planına ait faktörler ve seviyelerin dağılımını içeren deney planı Tablo 4.6’da gösterilmektedir.

Tablo 4.6 Beş faktör sekiz seviyeli veri setine ait deney planı

	Duvar	Çatı	Zemin	Ara Kat	Pencere
Senaryo	Seviye				
1	8	2	6	5	5
2	1	4	2	3	8
3	7	8	3	6	1
4	7	4	6	7	3
5	1	6	4	7	5
6	5	1	4	4	7
7	2	1	6	6	8
8	1	8	7	2	6
9	5	4	3	2	2
10	8	5	7	3	1
11	6	1	7	7	2
12	5	6	1	6	3
13	5	8	6	3	4
14	2	3	1	3	7
15	3	7	6	4	1
16	4	4	4	1	4
17	1	7	3	5	4
18	8	7	4	6	2
19	2	7	8	2	5
20	3	1	8	8	4
21	4	2	7	8	3
22	5	7	2	8	6
23	2	8	4	5	3
24	7	3	2	4	5
25	7	5	4	8	8
26	5	2	8	7	1
27	7	6	8	3	2
28	7	1	5	5	6
29	4	5	6	2	7
30	4	1	3	3	5
31	4	3	8	6	6
32	6	8	1	8	5
33	6	6	6	1	6
34	3	5	1	5	2
35	3	3	3	1	3
36	1	3	6	8	2
37	8	3	5	7	4

Tablo 4.6 Devamı

38	8	4	1	4	6
39	8	6	3	8	7
40	6	5	2	6	4
41	1	1	1	1	1
42	2	5	3	7	6
43	4	6	2	5	1
44	8	8	8	1	8
45	6	3	4	2	1
46	5	3	7	5	8
47	1	2	5	6	7
48	7	2	1	2	4
49	3	8	2	7	7
50	3	6	5	2	8
51	6	7	5	3	3
52	1	5	8	4	3
53	6	4	8	5	7
54	3	2	4	3	6
55	8	1	2	2	3
56	3	4	7	6	5
57	7	7	7	1	7
58	6	2	3	4	8
59	2	6	7	4	4
60	2	4	5	8	1
61	4	8	5	4	2
62	2	2	2	1	2
63	5	5	5	1	5
64	4	7	1	7	8

Her biri sekiz seviyeli beş faktörlü bir veri setine ait olası tüm kombinasyonları denemek için 32.768 deney yapmak gerekirken, deney tasarımı ile 64 senaryo ile istatistiksel olarak analiz edilebilir çok kriterli ya da tek kriterli sonuçlara ulaşmak mümkün olmaktadır.

4.1.5 Deneyin yapılması

Deneyi gerçekleştirirken, her şeyin plana göre yapıldığından emin olmak için süreci dikkatlice izlemek çok önemlidir. Bu aşamadaki deneysel prosedürdeki hatalar

genellikle deneysel geçerliliği yok eder (Montgomery, 2005). Bu sebeple bir önceki adımda tariflenen deney tasarım planına/matrisine/dizisine uygun deneylerin gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Deney setleri belirlendikten sonra, deney setine uygun parametre/düzey kombinasyonlarını içeren deneyler yapılmalıdır. Her bir deney için belirlenen sonuç kriterlerine yönelik nicel veriler toplanmaktadır. Örneğin bu çalışmanın uygulama aşamasında; her bir deneyin ya da simülasyonun sonucunda, her bir deney için ayrı ayrı enerji ve maliyet analizleri yapılmıştır.

4.1.6 Verilerin istatistiksel analizi

Verileri analiz etmek için istatistiksel yöntemler kullanılmalıdır, böylece sonuçlar ve sonuçlar öznel olmaktan çok nesneldir. Deney düzgün tasarlanmışsa ve tasarıma göre yapılmışsa, analiz için gerekli istatistiksel yöntemler ayrıntılı değildir. Veri analizine yardımcı olmak için tasarlanmış birçok yazılım paketi vardır ve 4. adımda tasarımı seçmek için kullanılan programların çoğu, istatistiksel analize kesintisiz, doğrudan bir arayüz sağlar. Birçok deneyin sonuçlarını ampirik bir model, yani yanıt ile önemli tasarım faktörleri arasındaki ilişkiyi ifade eden verilerden türetilen bir denklem açısından sunmak da genellikle çok yararlıdır. Analiz aşamasında kullanılan istatistiksel yöntemler, sonuçların güvenilirliği ve geçerliliği ile ilgili yönergeler sağlarlar. Uygun bir şekilde uygulandığında, istatistiksel yöntemler hiçbir şeyin deneysel olarak kanıtlanmasına izin vermez, ancak bir sonuçtaki olası hatayı ölçmemize veya bir ifadede bir güven düzeyine ulaşmamıza izin verir. İstatistiksel yöntemlerin birincil avantajı, karar verme sürecine tarafsızlık katmalarıdır. İyi mühendislik veya süreç bilgisi ve sağduyu ile birleştirilmiş istatistiksel teknikler genellikle kesin sonuçlara götürür (Montgomery, 2005). Bu çalışmada elde edilen sonuç kriterleri tek kriterli analiz yöntemi olan ana etki (main effect) ve çok kriterli analiz yöntemi olan TOPSİS ile ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu sayede ana etki yöntemi ile ilgilenilen sonuç kriteri çerçevesinde, örneğin en yüksek enerji tasarrufu ya da en hızlı geri dönüş süresi gibi kriterler çerçevesinde en etkin parametre düzey kombinasyonu bulunabilmektedir. TOPSİS ile ise, ilgilenilen tüm sonuç kriterlerin eşit

düzeyde ağırlıklandırılması sonucunda seçilen deney seti içerisindeki performansı en yüksek senaryonun bulunabilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu aşamada deneylerin sonuçlarını analiz etmek amacıyla kullanılan pek çok istatistiksel yöntem bulunmaktadır. İstatistiksel yöntemlerle ile sonuçların değerlendirilmesi, faktörlerin etkin seviyelerinin belirlenmesi, her bir faktörün sonuca olan etkisinin analiz edilmesi mümkün olmaktadır. Bir araştırmayı deney tasarımı ile yürütmek için genel adımlar aşağıda sıralanmaktadır;

- Hedeflerin belirlenmesi - araştırılacak sorunların belirlenmesi,
- Yanıt değişkeni tanımı – tanımlanmış hedeflere dayanan deneyin ölçülebilir sonucunun tanımlanması,
- Faktörlerin ve seviyelerin belirlenmesi – yanıt değişkeninde durum değişikliğine neden olan bağımsız değişkenlerin (faktörlerin) ve seviyelerinin belirlenmesi,
- Deneysel tasarım tipinin belirlenmesi,
- Tasarım matrisi kullanılarak deneylerin yapılması,
- Verilerin analizinin yapılması,
- Sonuçlar ve tavsiyeler- Sonuçların grafiksel gösterimi ve değerlendirilmesi (Durakovic, 2017).

Deney tasarımı günümüzde, uygun istatistiksel yazılımlar aracılığıyla hızlı bir şekilde uygulanıp analiz edilebilmektedir. Bu amaçla bazı yazılım paketleri bulunmaktadır. Bu alanda en yaygın kullanılan paketler; SPSS, Minitab, Statistica, SAS, Design-Expert, Statgraphics, Prisma vb., yazılım paketleri ise R, Action for Microsoft Excel'dir (Durakovic, 2017).

4.2 Maliyet Analizi

Binalarda belirli kriterler çerçevesinde enerji etkin iyileştirme yapılırken, süreçte pek çok parametre değişkeni seviyesi söz konusu olmaktadır. Farklı tasarım, iyileştirme süreçlerinde kullanılan malzemelerin nitelikleri de farklılık göstermektedir.

Bu farklılıklar, sonuçta ulaşılan enerji tüketim değerlerini ve tasarruf miktarını etkilediği gibi, yatırım maliyetini de etkilemektedir. Bina simülasyon programlarında çıktı olarak değerlendirilen enerji tüketim değerlerinin etkin seviyesine ulaşmak hedeflenirken, yatırım maliyeti açısından da maliyet etkinliğin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

EPBD-recast 2010'da, binalarda enerji performansını iyileştirirken, maliyet etkinliğin de göz önünde bulunduran çözümler geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır (EPBD, 2010). Binalarda enerji etkin iyileştirme sürecinde; kullanılan malzeme ve uygulama maliyetlerinin toplamından oluşan yatırım tutarı ile bu yatırımdan sağlanacak faydanın başka bir deyişle sağlanacak enerji tasarrufu önem taşımaktadır.

Bu çalışmada; mevcut bir binaya yapılacak olan enerji etkin iyileştirme bir yatırım projesi olarak düşünülecek olursa, yatırım projesi değerlendirme yöntemleri bu çalışmada kullanılabilir.

Uygulayıcılar, farklı alternatifler arasından seçim yaparken farklı yöntemler kullanabilmektedir. Bazı uygulayıcılar ayrıntılı bir analize gerek görmeden sezgisel seçimler yaparken bazı uygulayıcılar ise bu konuda geliştirilmiş olan proje değerlendirme yönteminden yararlanmaktadır. Proje değerlemesi konusunda geliştirilmiş çok sayıda yöntem olmasına karşın bu yöntemleri “statik yöntemler” ve “dinamik yöntemler” olmak üzere iki grupta incelemek mümkündür. Statik yöntemlerin ortak özelliği, paranın zaman değerini göz önüne almaksızın değerlemeye olanak vermeleridir. Dinamik yöntemlerin ortak özelliği ise paranın zaman değerini göz önüne alınarak değerlendirme yapılmasıdır. Statik yöntemler olarak “geri ödeme süresi yöntemi”, “karlılık oranı yöntemi”, “yıllık karın yatırım tutarına oranı yöntemi”, “ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı yöntemi” sayılabilmektedir. Dinamik yöntemler olarak da “net bugünkü değer yöntemi”, “fayda/masraf oranı (karlılık indeksi) yöntemi”, “ iç karlılık oranı yöntemi”, “yıllık eşdeğer masraf yöntemi” sayılabilmektedir (Aşıkoğlu, Kaderli, Demir, Çelikkol, 2011).

Ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde gelecek 20 yılı içeren ekonomik kestirimlerde bulunmak zordur. Bu nedenle yatırımın faydalı ömrünü içeren zaman diliminde enflasyon oranlarını ve faiz oranlarını isabetli bir şekilde tahmin etmek mümkün olmadığı için birçok yatırımcı dinamik yöntemler yerine, statik yöntemler kullanmayı tercih etmektedir. Bu nedenle çalışmada, statik yöntemler ile değerlemeler yapılmıştır. Çalışmada; geri ödeme süresi yöntemi ve ortalama yıllık karın yatırım tutarında oranı yöntemi ile alternatifler değerlendirilmiştir.

4.2.1 Geri Ödeme Süresi Yöntemi

Binalarda enerji etkin iyileştirme alternatiflerinden elde edilen sonuçlar, uygulayıcılara, ilk yatırım maliyeti ve elde edilen enerji tasarrufu ilişkisi bakımından farklı alternatifler sunmaktadır. Enerji etkin iyileştirme yapmak isteyen tasarımcının karar aşamasında; bu alternatiflerden birini seçmesi gerekmektedir. Uygulayıcının; hangi iyileştirme alternatifini seçeceğine, ilk yatırım maliyeti ve elde edeceği tasarrufu karşılaştırarak karar vermesine yönelik yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri; geri ödeme süresi yöntemidir.

“ Yatırımcılar, yatırım için tahsis edilen fonlarını sağlanacak gelirler ile ne kadar sürede karşılanacağını önceden belirlemek istiyorlarsa, yatırım projelerini değerlemede geri ödeme süresi yöntemini kullanırlar. Geri ödeme süresi yöntemi ile proje değerlemede amaç, yatırımların geri ödeme süresini belirlemektir. Yatırım alternatifleri arasında geri ödeme süresi en kısa olan; tercih edilecek olan projedir. Geri ödeme süresi, yatırımın “yıllık net nakit girişlerinin” başlangıçtaki yatırım tutarına eşit hale gelinceye kadar geçmesi gerektiği süredir ” (Aşıkoğlu R. Kaderli Y. Demir S. Çelikkol H. 2011, sy.289).

Bu çalışma için; “yıllık net nakit girişi” olarak tanımlanan kısım enerji etkin iyileştirme sonucunda elde edilen yıllık enerji tasarrufunun parasal değeridir.

“Yatırımdan sağlanacak gelirler yıllar itibari ile değişiklik göstermiyorsa, bu durumda yatırım tutarı, yıllık yatırım gelirine bölünmek suretiyle yatırımın geri

ödeme süresi bulunur ve aşağıdaki formül kullanılır ” (Büker, Aşıkoğlu, Sevil, 2018, sy.296);

$$n = \frac{I}{NNG} \quad (4.1)$$

n = Yatırımın geri ödeme süresi,

I = Yatırım tutarı,

NNG = Yatırımın yıllık net nakit girişi.

4.2.2 Ortalama Yıllık Karın Yatırım Tutarına Oranı Yöntemi

Bu yöntem, paranın zaman değerini dikkate almayan statik bir yöntemdir. Bu yöntemde temel amaç, karlı olan yatırım projelerinin ortalama yıllık karlılık oranlarına göre öncelik sıralamasını yapmaktır. Yatırımdan faydalı ömrü boyunca sağlanacak gelirleri, herhangi bir yılını esas alarak, yatırım tutarına oranlanması pek sağlıklı sonuçların elde edilmesini olanaklı kılmamaktadır. Bu tür özellik taşıyan yatırım projelerinde kara/faydaya dayalı daha sağlıklı bir sıralama yapmak isteniyorsa ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı yönteminin kullanılması gerekmektedir. Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranını aşağıdaki formül yardımıyla hesaplamak mümkündür (Büker, Aşıkoğlu, Sevil, 2018, sy.296):

$$\text{Yatırım Ortalama Karlılık Oranı} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{K_t}{n}}{S+(C-H)} \quad (4.2)$$

K: Yıllık karlar

n: Yatırımın faydalı ömrü

S: İşletme sermayesi

C: Sabit yatırım tutarı

H: Yatırımın faydalı ömrü sonundaki hurda değeri

t: Yıllar

4.3 Deney Sonuçlarının Analiz Edilmesi

Çalışmada deney sonuçlarının analiz edilmesi amacıyla iki farklı yöntem kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerden ilki, ana etki yöntemi, ikincisi ise TOPSİS yöntemidir. Çalışmanın devamında, kullanılan analiz yöntemleri açıklanmıştır.

Geleneksel deney tasarımı yöntemleri sonuçların analizini sağlamak için istatistiksel ve grafiksel araçlar sunmaktadır. Ana etki grafikleri faktör seviyelerinin bir fonksiyonu olarak yanıtın faktöre göre yönünü ve büyüklüğünü gösteren temel grafiksel temsil yöntemidir (Mahieux, 2005). TOPSİS ise, yanıt değişkenlerinin tamamı kullanılarak oluşturulan bir performans sıralaması yöntemidir.

4.3.1 Ana Etki (Main Effect) Yöntemi

Ana etkiler grafiği, bir tasarım parametresinin veya süreç değişkeninin her seviyesindeki ortalama yanıt değerinin bir grafiğidir. Bir ana etki grafiğinin yönü bize sonuç değerini arttırıp arttırmadığını gösterir, büyüklük/diklik ise bize etkinin gücünü anlatmaktadır. Bir tasarım parametresinin etkisinin pozitif olması, parametre ayarının düşük seviyesinden ziyade yüksek seviyede ortalama tepkinin daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir (Antony, 2014), (Mahieux, 2005), (Xin, 2013), (Vignesh ve Ramanujam, 2020). Faktörler arasında bir etkileşim olup olmadığı etkileşim grafikleri ile belirlenebilmektedir. Etkileşim grafiklerinde doğrular paralel ise etkileşim olmadığı, paralellik bozuluyor ise faktörler arasında etkileşim olduğu söylenebilmektedir (Mahieux, 2005).

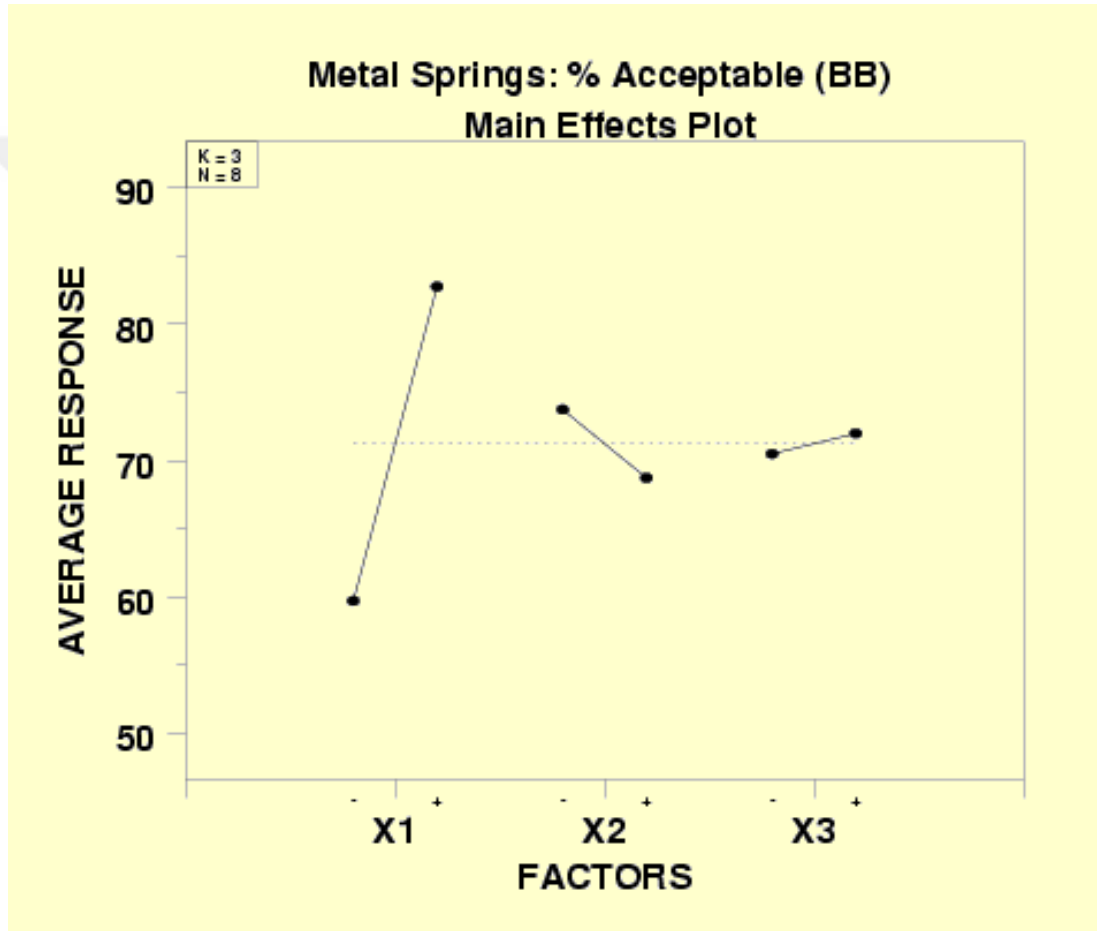
Yanıt değişkenine etki eden faktörlerin etki düzeyleri ve en etkin seviyeleri ana etki grafikleri ile saptanabilmektedir. Ana etki grafikleri parametrelerin yanıt üzerindeki önemi hakkında bir fikir vermektedir. Ana etki grafiklerinde, belirli bir parametrenin çizgisi yataya yakınsa, parametrenin önemli bir etkisi yoktur. Öte yandan çizginin en yüksek eğime sahip olduğu bir parametre en önemli etkiye sahip olacaktır (Sahoo, 2012). Etki her bir faktörün minimum ve maksimum değerindeki sonuçlar hesaplanarak belirlenir (Bharath, Manjunatha ve Santhosh, 2019).

Ana etki diyagramında;

Dikey eksen: Bir faktörün düzeylerinin her biri için ortalama yanıt,

Yatay eksen: Her faktör için düzeyler yerleştirilmektedir.

Ana etki grafikleri ile tek bir faktör yerine birden çok faktörün etkisi hakkında çıkarımda bulunmak mümkün olmaktadır (NIST/SEMATECH, bt.).



Şekil 4.2 3 faktör 2 seviyeli ana etki grafiği (NIST/SEMATECH, bt.)

Faktör düzeylerindeki değişikliklerin, yanıt değişkeni üzerindeki etkisinin her bir faktöre göre sıralanması üzerine en etkin faktör ve en az etkili faktör arasında bir sıralama yapılabilmektedir. Faktörleri yanıtı etki açısından en önemliden en az önemliye sıralamak için, her bir faktör için düzey değişikliklerinde ortalama yanıtın konumunda bir kayma olup olmadığına bakılmalıdır. Eğer bir kayma var ise, en büyük

kaymaya sahip faktörü yani en dik çizgiye sahip faktör en önemli faktör, ikinci en büyük kaymaya sahip faktöre ikinci önemli faktör vb. belirlenebilmektedir. Bu süreçte tüm faktörler değerlendirilip yanıt etki etme seviyelerine göre sıralanabilmektedir. Bu adım, faktör sıralama listesinin oluşturulmasında en önemli adımdır. Şekil 4.2’de X1, X2 ve X3 faktörlerinin yanıt üzerindeki etkisi ve düzeylere göre yanıt değişkenliği gösterilmektedir.

Her bir faktör için en iyi düzeyin belirlenmesi için öncelikle yanıt değerinin az olmasının mı çok olmasının mı tercih edildiği belirlenmelidir. Örneğin, bir tasarruf konusunda yanıtın çok olması daha iyi iken, maliyet konusunda yanıtın az olması beklenmektedir. Yanıt maliyet gibi, azaldıkça pozitif etkisi olan bir durum ise, faktörün yanıt üzerindeki minimum etki ettiği noktayı saptamak gerekmektedir. Ortalama yanıt düzeyleri incelendiğinde, yanıt değerinin çok olmasının bekleniyorsa, yanıt etki eden en önemli faktör X1 iken, X2 ve X3’teki düzey değişiklikleri daha az etki etmektedir. Buna göre; faktörlerin yanıt üzerinde en etkin seviyeleri X1 için 2, X2 için 1 ve X3 için 2’dir (NIST/SEMATECH, bt.).

Ana etki diyagramları basit hesaplamalarla oluşturulabildiği gibi bilgisayar paket programlarından da yararlanabilmektedir. Bu çalışmada faktörlerin ana etkilerini ve etkin düzeylerini belirlemek amacıyla hem hesaplamalı yöntem hem de Minitab programı aracılığı ile grafiksel yöntem kullanılmıştır.

Parametrelerin düzeylerinin yanıt etkisi bir diğer değişle performans ölçüsü, kontrol edilebilen parametrelerin düzeylerinin karşılaştırılması ve en iyisinin seçilmesinin, sağlayan bir ölçüttür (Hasgöl, 2010). Etkinliği belirlemek amacıyla aritmetik ortalama, varyans analizi vb. hesaplamalar yapılmaktadır (Fowlkes ve Creveling, 1995).

Bu çalışmada da faktörlerin yanıt etki eden düzeylerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan hesaplamalardan biri aritmetik ortalamadır. Hesaplaması çok basit olan bu ortalama, birçok istatistik yönteminin dayandığı temel ölçü niteliğindedir. Parametrelere ait numerik karşılıkların parametre sayısına bölünmesi ile elde

edilmekte ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Orhunbilge, 2000), (Fowlkes ve Creveling, 1995).

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.3)$$

Bir sürecin veya tasarım parametresinin etkisi ise, aşağıdaki basit denklem kullanılarak matematiksel olarak hesaplanabilmektedir (Antony, 2014):

$$E_f = \bar{F}_{(+1)} - \bar{F}_{(-1)} \quad (4.4)$$

$\bar{F}_{(-1)}$: Faktörün en üst düzey ayarında ortalama yanıt

$\bar{F}_{(+1)}$: Faktörün en alt düzey ayarında ortalama yanıtı ifade etmektedir.

4.3.2 TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) Yöntemi ile Değerlendirme

TOPSIS; birçok bilimsel çalışma alanında değerlendirme aşamasında karar destek sistemi olarak kullanılmaktadır. Çok kriterli çalışmalarda, ele alınan kriterlerin tamamını dikkate alarak, karmaşık işlemler ve algoritmalar içermeyen kolay uygulanabilir bir yöntemdir.

Çalışmalardaki performans puanını hesaplamak ve araştırılan alternatifleri performans puanına göre sıralamak için kullanılan pek çok yöntem bulunmaktadır. Hwang ve Yoon tarafından 1981’de geliştirilmiş olan TOPSIS kolay uygulanabilirliği, net tanımlanmış aşamalardan oluşması ve tartışmasız sonuçlar elde etmesi sebebiyle tercih edilen bir yöntemdir (Cheng-Min ve Wang, 2001).

TOPSİS yönteminin özelliklerini;

- Yalın ve anlaşılabilir bir içeriğe sahip olması,

- Hesaplama yeteneğinin güçlü olması,
- Alternatiflerin arasındaki ilişkiyi basit matematiksel formda sunabilir olması,
- Alternatiflerin, çalışma kapsamında belirlenmiş kriterlerin alabileceği minimum ve maksimum değerler arasında karşılaştırılmasına olanak sağlaması olarak sıralamak mümkündür (Ecer, 2007).

4.3.2.1 TOPSIS Yönteminin Adımları

Çalışmanın değerlendirme aşamasında TOPSIS yöntemini kullanarak alternatiflerin sıralanması, ve ele alınan kriterler doğrultusunda en etkin alternatifin seçilmesi için tariflenen adımlardan yararlanılmaktadır. Bu adımlar (Dilbaş, 2020), (Eleren, 2007) ;

- Karar matrisinin oluşturulması aşamasında; $i \times j$ boyutlarında bir matris oluşturulur. Bu matriste; yöntemde ele alınacak veriler satırlarda alternatifler, sütunlarda etkenler olacak şekilde yer almaktadır.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

- Normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması aşamasında, matristeki sütunlarda bulunan her değerın karesi alınır. Her bir değer, ait olduğu sütundaki kareler toplamının kareköküne bölünür ve normalleştirilmiş değeri bulunur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (4.6)$$

R matrisi aşağıdaki gibi elde edilir;

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

- Normalleştirilmiş karar matrisinin ağırlıklandırılması aşamasında, normalleştiren matris değerleri, gerekli görüldüğü durumlarda uygulayıcı tarafından ağırlıklandırılabilir. Her bir ağırlık katsayısı 0 ile 1 arasında değişebilmektedir. Bu çalışmada tüm etkenlere 1 ağırlık değeri verilmiş, bu sebeple etkenlere göre değişen bir ağırlıklandırma yapılmamıştır. Sonuçta ulaşılmak istenen sıralamaya tüm etkenlerin etkisi eşit kabul edilmiştir.
- Pozitifleştirme (Değerlerin inceleme havuzuna katkılarının ortak ve pozitif hale getirilmesi),
- Pozitif ideal (A^*) ve negatif ideal (A^-) çözüm matrisi aşamasında normalize edilmiş sütun değerlerinin en büyükleri ve en küçükleri seçilmektedir.

$$A^* = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (4.8)$$

Formülü ile hesaplanacak pozitif ideal değerler $A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$

$$A^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (4.9)$$

Formülü ile hesaplanacak negatif ideal değerler $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$ şeklinde gösterilir.

Yukarıdaki formüllerde de J maksimizasyon, J' ise minimizasyon değerlerini ifade etmektedir.

- Pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklıkların hesaplanması (d^+), (d^-) aşamasında, pozitif ve negatif ideal çözümlere en yakın mesafeler hesaplanmaktadır. Pozitif ideale uzaklık (d^+), pozitif ideal çözüme en yakın mesafeyi ifade etmektedir.

$$d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (4.10)$$

$$d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (4.11)$$

Negatif ideale uzaklık (d^-), ideal çözüme en yakın mesafeyi ifade etmektedir.

- Contingency Coefficient değerlerinin (ideal çözüme göreceli yakınlık değeri), performans puanlarının hesaplanması ve sıralama aşamasında, pozitif ideale uzaklık ve negatif ideale uzaklık değerlerinden faydalanılır.

$$CC = \frac{d^-}{d^- + d^+} \quad (4.12)$$

- 0 ile 1 arasında değişen sonuç değerler; 1'e yaklaştıkça ideale yaklaşıldığını ifade etmektedir. 0 ile 1 arasında elde edilen değerlerin yüzdesel karşılıkları bulunup ideallik yorumu yapılabilmektedir.

BÖLÜM BEŞ

ÖNERİLEN YAKLAŞIMIN İZMİR İLİNDE TEK KATLI BİR BİNA ÜZERİNDE UYGULANMASI

Çalışmanın dördüncü bölümünde, önceki bölümde aktarılmış olan yöntemin; örnek bir bina üzerinde uygulaması yapılacaktır. Bu kapsamda izlenecek olan yöntem Şekil 5.1’de şematik olarak belirtilmektedir.



Şekil 5.1 Çalışmanın uygulama bölümünde izlenmiş olan yöntem

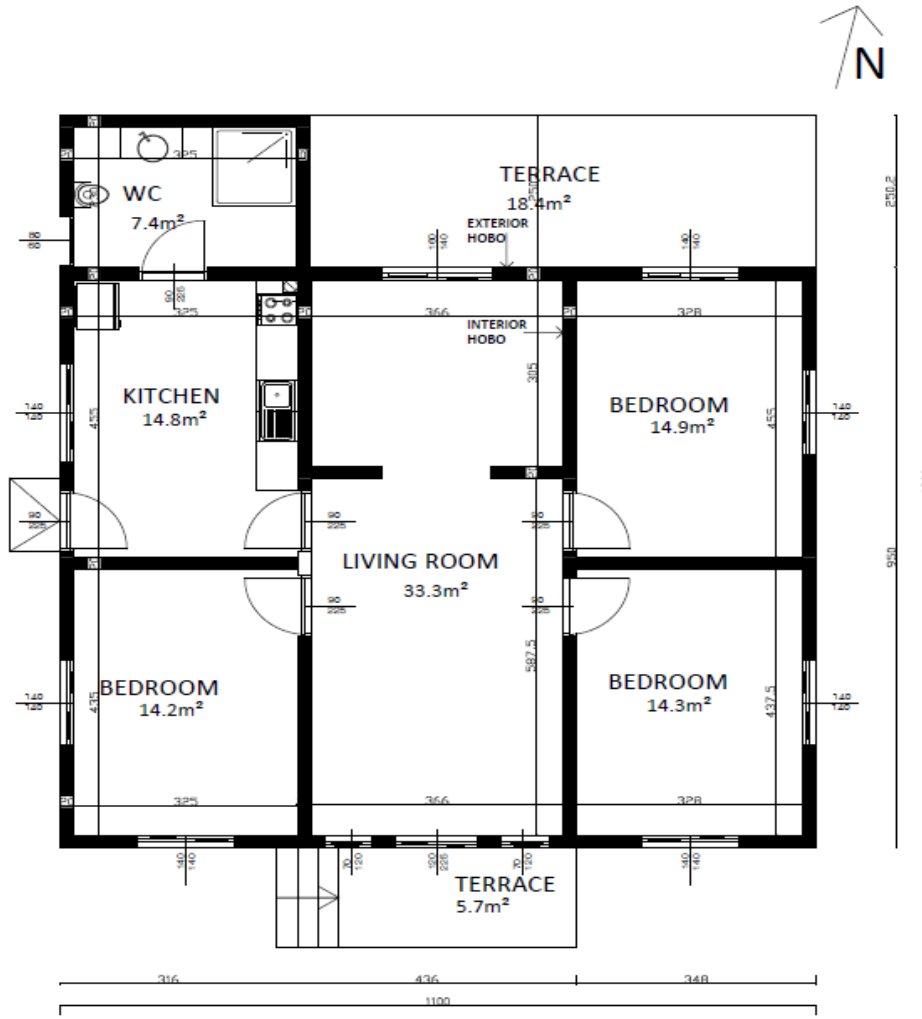
5.1 Seçilen Yapının Tanıtımı

İzmir'in bulunduğu ılıman iklim kuşağında mevcut bir yapıyı EnerPHit kriterlerine uygun hale getirmek amacıyla yapılacak iyileştirmeler için; Pasif Ev Enstitüsü tarafından önerilen yöntemlerle enerji tüketimi analizi yaparak sürece başlamak gerekmektedir. Bu çalışmada, önerilen yöntemlerin seçimine yönelik karar verme süreci hakkında simülasyon destekli örneklem çalışması yapılmıştır.

Örnek bina seçilirken, dünyada EnerPHit sertifikası almış yapıların tamamı; metrekare, yapı tipi, yapım sistemi, yapı malzemesi vb. parametreler açısından incelenmiştir. Çalışma kapsamına 2018 yılına kadar yapılmış tüm EnerPHit sertifikalı yapılar; belirtilen parametreler doğrultusunda incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda; dünyada EnerPHit sertifikası almış yapıların %62'sinin müstakil ev, %14'ünün apartman, %12'sinin ofis, %6'sının dini yapı ve %6'sının eğitim yapısı olduğu saptanmıştır. Ayrıca bu yapıların konstrüksiyonlarının, %48'inin yığma, %26'sının karma, %14'ünün ahşap, %12'sinin betonarme olduğu belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, EnerPHit kriterlerine uygun hale getirilerek, EnerPHit sertifikası almış yapılara benzer nitelikte yapım sistemi yığma olan müstakil bir konut yapısı örneklem olarak seçilmiştir.

5.1.1 Fiziksel Özellikleri ve Konumu

Mevcut enerji tüketimi ve retrofit sonrası enerji tüketimi karşılaştırması için simülasyonu yapılan yapı Türkiye'nin batısında ılıman iklim kuşağında bulunan İzmir ilinde konumlanmaktadır. Yapının enlemi $38^{\circ}28'20''$, boylamı $27^{\circ}05'48''$ 'dir ve doğu-batı doğrultusunda uzanmaktadır ve yönelim açısı 12° 'dir. Yapının deniz seviyesinden yüksekliği 12m.dir. Tek katlı 94,9m² olan mevcut yapı 1962 yılında inşa edilmiş olup, günümüzde yılın belirli periyotlarında kullanılmaktadır. Yapının doğusunda 3 katlı betonarme bir yapı, batısında tek katlı yığma bir yapı, kuzeyinde narenciye bahçesi güneyinde ise taşıt yolu bulunmaktadır.



Şekil 5.2 Seçilen binanın planı



Şekil 5.3 Seçilen binanın güney cephesinden fotoğraflar

94,9m² kullanım alanına sahip tek yatlı yapıya ana giriş kuzey cephesinden yapılmaktadır. Giriş aynı zamanda salon olarak kullanılan mekâna doğrudan ulaşım

sağlamaktadır. Yapıda 3 yatak odası, 1 salon, 1 mutfak ve 1 WC bulunmaktadır. Yapıya aynı zamanda batı cephesinde bulunan mutfakla açılan kapıdan da giriş mevcuttur. 1962’de yapılan yapıda, dönemin o bölgede yaygın kullanılan malzemelerinden olan dolu tuğla kullanılmıştır.

5.1.2 Malzeme Özellikleri

Mevcut yapının yapı bileşenlerinin malzemeleri ve kalınlıkları doğrultusunda Design Builder programı kullanılarak U değerleri hesaplanmış ve Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Mevcut binanın malzeme özellikleri

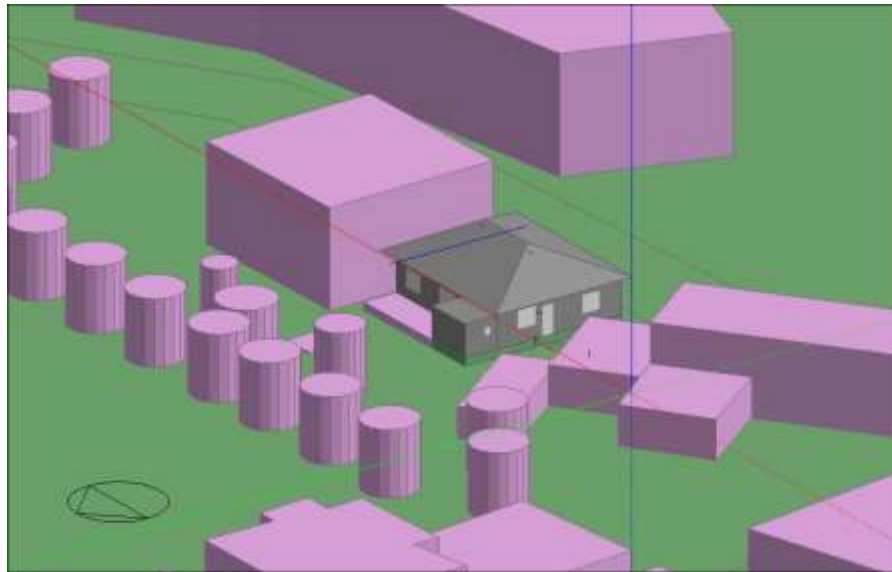
	Malzeme	Kalınlık (cm)	U-değeri (W/mk)	Özgül ısı (J/kgK)	Yoğunluk (kg/m ³)
Dış Duvar	Sıva	2	0.82	840	1680
	Dolu tuğla	19	0.85	840	1500
	Sıva	2	0.82	840	1680
	U-değeri (W/m²k)		2.261		
İç Duvar	Sıva	2	0.82	840	1680
	Dolu tuğla	19	0.85	840	1500
	Sıva	2	0.82	840	1680
	U-değeri (W/m²k)		2.261		
Çatı	Kiremit	2.5	1	800	2000
	Bitümlü membran	0.5			
	Ahşap levha	0.5	0.09	1880	460
	U-değeri (W/m²k)		3.002		
Tavan	Ahşap levha	3	0.19	2390	700
	Sıva	2	0.8	840	1600
	U-değeri (W/m²k)		2.149		

Tablo 5.1 Devamı

Zemin	Mermer	3	2.9	840	2750
	Düzeltilme betonu	3	1.13	1000	2000
	Grobeton	10	1.13	1000	2000
	Taş dolgu	80	3.5	1000	2800
U-değeri (W/m²k)			1.575		
Pencere	Cam				
	Hava boşluğu				
	Cam				
U-değeri (W/m²k)			1.96		
Kapı	Ahşap	3.5	0.19	2390	700
U-değeri (W/m²k)			2.823		

5.2 Modelin Oluşturulması ve Kalibrasyon

Mevcut binanın, yapılı çevre ile ilişkili hali Design Builder programında modellenerek Şekil 5.4’de gösterilmiştir.

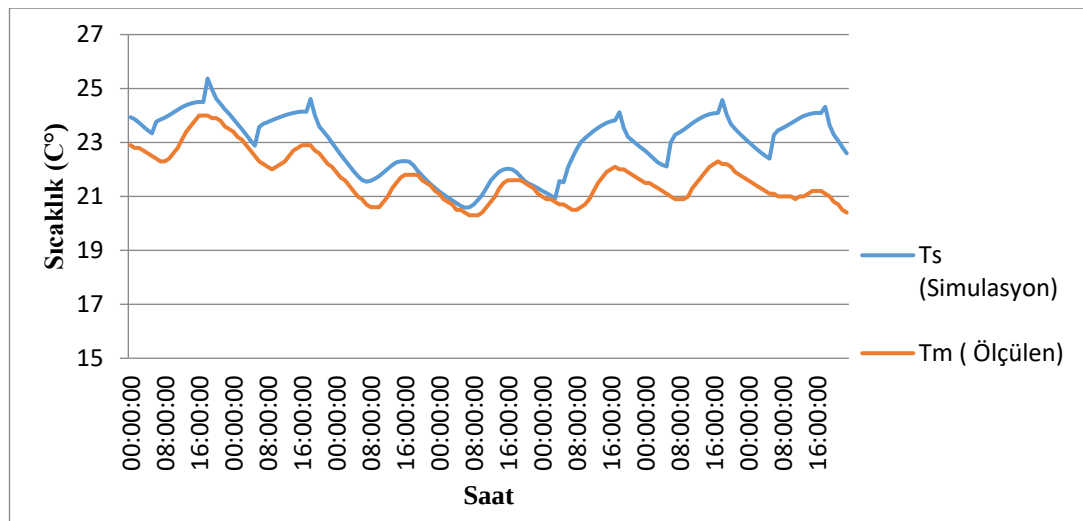


Şekil 5.4 Seçilen binanın DesignBuilder modeli

Amaçlanan araştırma yöntemi doğrultusunda; ilk olarak yapının salon olarak kullanılan mekânın iç ve dış duvarlarına 20.04.2016-27.04.2016 tarihleri arasında, HOBO veri kaydedici cihazı yerleştirilmiş ve 7 gün boyunca saatlik iç/dış sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır. Yapı ve yakın çevresi, bölgesel iklim verileri kullanılarak modellenmiştir. İlk simülasyon sonucunda çıkan sıcaklık değerleri MBE <%10, RMSE<%30 olacak şekilde kalibre edilmiştir. Bu doğrultuda çevredeki ağaçların geçirgenlikleri ve boyları değiştirilmiş, yansıtıcılığı olduğu bilinen havuza malzeme atanmış, yapıdaki malzeme kalınlıkları gerçeğe en yakın hale getirilmiştir. İlk denemede MBE değeri %6.571, RMSE değeri %7.46 bulunmuştur. Yapılan değişikliklerle birlikte ikinci denemede MBE değeri %5.789, RMSE değeri %6.89 bulunmuştur. Elde edilen RMSE ve MBE değerleri Tablo 5.2’ de gösterilmektedir. Şekil 5.5’de 7 günlük ölçülen ve simülasyon sonucunda elde edilen sıcaklıklara ait değişim gösterilmektedir.

Tablo 5.2 Kalibrasyon sonucunda elde edilen RMSE ve MBE değerleri

$\sum(T_s-T_m)^2$	N	1/N	$1/N*\sum(T_s-T_m)^2$	$\sqrt{1/N*\sum(T_s-T_m)^2}$	T_{ma}	100/ T_{ma}	RMSE(%)
373.4565	167	0.005988	2.24	1.50	21.70	4.61	6.89
N	$\sum(T_s-T_m)$	T_{ma}	MBE (%)				
167.0	209.8	21.70299	5.78908				

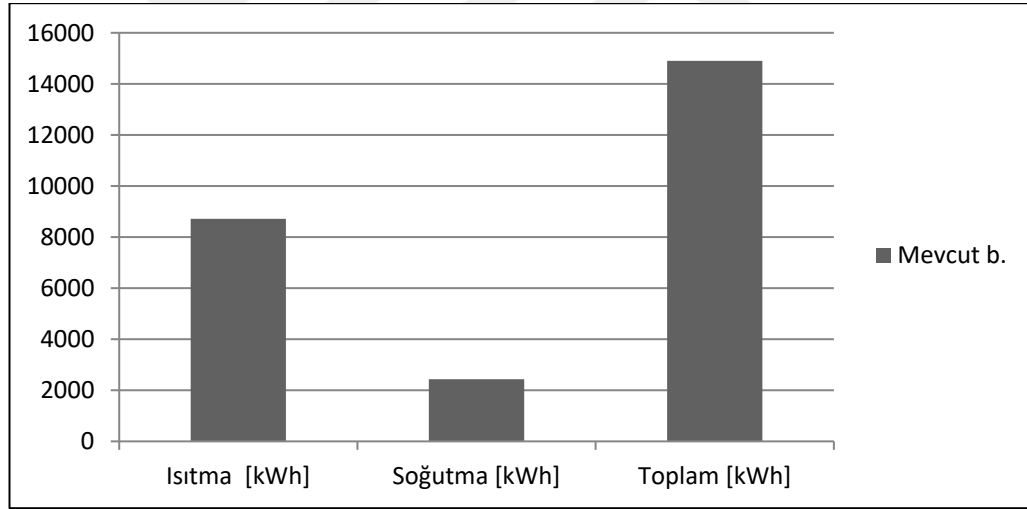


Şekil 5.5 Bina modelinin saatlik sıcaklık değerlerine göre kalibrasyonu

Kalibrasyon tamamlandıktan sonra binanın mevcut halinin simülasyonu alınmış ve şekilde gösterilen tüketim değerlerine ulaşılmıştır. Mevcut binanın yıllık ısıtma, soğutma ve birincil enerji ihtiyacına ve metrekare başına düşen enerji tüketim değerleri Tablo 5.3’de gösterilmiştir. Mevcut binaya ait simülasyon sonuçları EK 2’dedir.

Tablo 5.3: Mevcut bina için enerji ihtiyaçları

	Yıllık Toplam Isıtma Enerjisi İhtiyacı	Yıllık Toplam Soğutma Enerjisi İhtiyacı	Yıllık Toplam Enerji İhtiyacı	Bina Taban Alanı	m² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı	m² için Toplam Enerji İhtiyacı
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	m ²	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
Mevcut bina	8715,56	2432,29	14902,4	94,9	91,84	157,01



Şekil 5.6 Mevcut bina için enerji ihtiyaçlarının grafiksel gösterimi

5.3 EnerPHit Sertifikalı Yapıların Analizi Sonucunda Uygulama İçin Malzeme Tipi ve Kalınlığı Seçimi

İncelenen örneklerin analizi sonucunda, dünyadaki EnerPHit sertifikalı yapılarda kullanımı yaygın, Türkiye’de ulaşılabilirliği kolay malzeme türleri, kullanım yerlerine göre çeşitlendirilerek seçilmiştir. Bu doğrultuda firmalarla görüşmeler yapılmış, ilk yatırım maliyeti-enerji tasarrufu dengesi ve malzemenin fizyolojik özelliklerinin

kullanım alanına uygunluğu göz önüne alınıp malzeme seçimleri yapılmıştır. Duvar için EPS, çatı için cam yünü, zemin için XPS levha, Pencere için ise Isıcam seçilmiştir. Seçilen malzemelere ait U-değerleri ve kalınlıkları Tablo 5.4’de gösterilmektedir. Piyasada satışa sunulan malzeme kalınlıklarından, EnerPHit sertifikası almış örneklerde kullanılan kalınlık aralıkları göz önünde bulundurularak seçimler yapılmış, metrekare başına birim fiyat maliyetleri hesaplanmıştır ve Tablo 5.5’de gösterilmektedir.

Tablo 5.4 Çalışmada kullanılacak malzemelerin özellikleri, kalınlıkları

	Yalıtım Malzemesi	U değeri (W/m²K)	Kalınlık (mm.)
Duvar	EPS (Karbon)	0.032	120
	levha		140
	(İzocam İzopor		160
	Plus)		200
Çatı	Camyünü şilte	0.04-0.044	140
	(İzocam Camyünü		160
	Çatı Şiltesi Tip-		180
	350/Tip-400)		200
Zemin	XPS levha	0.035	80
	(İzocam		100
	Foamboard Tip-		120
	1500 D, 2000 D, 3000 D)		150
Pencere	Şişecam (Isıcam	1,3	4+16+4 (Hava) K
	Standart, Konfor,	1,1	4+16+4 (Argon)
	Konfor 3+)		K
		0,7	4+16+4 +16+4 (Hava) K
		0,6	4+16+4+16+4 (Argon) K

Tablo 5.5 Çalışmanın uygulama aşamasında kullanılan “İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik-Araç Gereç Rayiç Listeleri” ne göre yatırım maliyetleri

ÇŞB İnşaat Birim Fiyat Listelerine Esas İşçilik Araç ve Gereç Rayiç Listeleri ‘ne göre (2021)					
	Yalıtım Malzemesi	U değeri (W/m ² K)	Kalınlık (mm.)	Birim Maliyet (TL/m ²)	Toplam maliyet (TL)
Duvar	EPS (Karbon) levha (İzocam İzopor Plus)	0,032	120	108,21	12641,09
			140	113,37	13243,88
			160	118,49	13842
			200	128,69	15033,57
Çatı	Camyünü şilte (İzocam Camyünü Çatı Şiltesi Tip-350/Tip-400)	0.04-0.044	140	12,3	1163,58
			160	17	1608,2
			180	18,3	1731,18
			200	19,6	1854,16
Zemin	XPS levha (İzocam Foamboard Tip- 1500 D, 2000 D, 3000 D)	0,035	80	46,81	4428,226
			100	57,74	5462,204
			120	65,42	6188,732
			150	76,94	7278,524
Pencere	Şişecam (Isıcam Standart, Konfor, Konfor 3+) Çerçeve payı %10 düşülerek net cam alanı hesaplanmıştır.	1,3	4+16+4 (Hava) K	108,9	2075,634
		1,1	4+16+4 (Argon) K	115,9	2209,054
		0,7	4+16+4 +16+4 (Hava) K	212,85	4056,921
		0,6	4+16+4+16+4 (Argon) K	219,85	4190,341

Çalışmanın uygulama kısmında belirtilen malzemelerin, belirtilen kalınlıklarının kombinasyonları, istatistiksel bir deney tasarım yöntemi olan ortogonal dizayn ile tasarlanıp senaryolar oluşturulacaktır.

5.4 Ortogonal Dizayn Yöntemi İle Senaryoların Oluşturulması

Çalışmanın bu aşamasında, çalışmada kullanılacak senaryoların seçimi amacıyla öncelikle parametreler ve seviyeleri belirlenip tanımlanmıştır. Çalışmada dört

parametre ve dört parametreye ait dört seviye bulunmaktadır. Farklı yalıtım kalınlıklarının kombinasyonlarının enerji ve maliyet etkinlik düzeylerinin belirleneceği elemanlara parametre, bu parametrelerin farklı düzeylerdeki yalıtımlarına ise seviye denilmektedir. Çalışmada; duvar, çatı, zemin ve pencere dört farklı parametreyi, artan yalıtım değerleri ise 1-4 arasındaki düzeyleri temsil etmektedir. Senaryoların oluşturulması amacıyla hazırlanan parametreler ve seviyeleri Tablo 5.6’da gösterilmektedir.

Tablo 5.6 Senaryoların oluşturulması amacıyla hazırlanan parametreler ve seviyeleri

		Parametreler			
		Duvar	Çatı	Zemin	Pencere
Seviyeler	1	EPS 120 mm. 0,239 (W/m ² K)	Cam yünü 140 mm. 0,256 (W/m ² K)	XPS 80 mm. 0,342 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 (Hava) K 1,3 (W/m ² K)
	2	EPS 140 mm. 0,208 (W/m ² K)	Cam yünü 160 mm. 0,227 (W/m ² K)	XPS 100 mm. 0,286 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 (Argon) K 1,1 (W/m ² K)
	3	EPS 160 mm. 0,184 (W/m ² K)	Cam yünü 180 mm. 0,204 (W/m ² K)	XPS 120 mm. 0,246 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 +16+4 (Hava) K 0,7 (W/m ² K)
	4	EPS 200 mm. 0,149 (W/m ² K)	Cam yünü 200 mm. 0,185 (W/m ² K)	XPS 150 mm. 0,203 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K 0,6 (W/m ² K)

Oluşturulan parametreler ve seviyeleri, IBM SPSS Statistic 20 programına veri seti olarak girilmiştir. IBM SPSS Statistic 20 programında Data > Orthogonal Design >

Generate Orthogonal Design > Create New Dataset > Display adımları izlenerek ortogonal dizayn yöntemine uygun temsil senaryo kümesine ulaşılmıştır.

Çalışmada kullanılmak üzere seçilen tüm faktörler ve seviyeleri SPSS programına veri seti olarak girildikten sonra; temsil kümesi olarak seçilecek olan senaryolar listesi, program çıktısı olarak alınmıştır. İhtiyaç halinde faktör ve seviyeler sayılarında değişiklik yapılarak yeni ortogonal diziler oluşturulabilmektedir.

SPSS programına veri girişleri tamamlandı, ortogonal dizi tasarımı için gerekli adımlar izlendikten sonra çıktı dosyasına ulaşılmıştır. Çıktı dosyasında senaryoların her biri “Card” olarak adlandırılmakta ve her bir senaryo için kombinasyonların içerikleri verilmektedir. SPSS programı aracılığı ile; çalışmada kullanılacak parametreler ve parametrelere ait seviyeler ile 16 farklı senaryo içeren bir ortogonal dizi elde edilmiştir.

```

BASIC PLAN 5: 45; 35; 215; 16 trials
12345 12345 00000 00001 11111
***** ***** 12345 67890 12345

00000 00000 00000 00000 00000
01123 01121 00001 10111 01110
02201 02211 00010 11011 10011
03312 01112 00011 01100 11101
10111 10111 01100 00110 11011
11032 11012 01101 10001 10101
12320 12120 01110 11101 01000
13203 11201 01111 01010 00110
20242 20222 10100 01011 01101
21301 11101 10101 11100 00011
22013 22011 10110 10000 11110
23130 21110 10111 00111 10000
30333 10111 11000 01101 10110
31210 11210 11001 11010 11000
32102 12102 11010 10110 00101
33021 11021 11011 00001 01011

1-000 2-000 3-000 4-111 5-111
*-123 *-456 *-789 *-012 *-345

```

Şekil 5.7 Çalışmada L16(4⁴) için kullanılmış olan plan (Addelman S., Kempthorn O., Orthogonal main effect diagrams, 1961, Sy:141)

Çalışmada L16(4⁴) için kullanılmış olan plan, Addelman’ın 1962 yılında yayınlamış olduğu, “Orthogonal main effect diagrams” yayınından, pek çok faktör-seviye kombinasyonuna uygun planlar arasından da hazır olarak seçilebilmektedir. Şekil 5.7’de ilgili yayından alıntılanmış, çalışmada kullanılan plan gösterilmektedir. Farklı faktör ve düzey sayıları için seçim yapılması için EK’de Addelman planları ve seçim yönergesi bulunmaktadır.

1. 16’lı sete ait ana etki uygulaması

Elde edilen senaryolar listesi; Tablo 5.8 ve Tablo 5.9’da yalıtım düzeyleri ve kullanım sıralamaları dikkate alınarak belirtilmiştir. Her bir parametrenin her bir düzeyi; Tablo 5.7’de görüldüğü gibi aynı sayıda, dörder kez tekrarlanarak ortogonal dizide senaryo kombinasyonları oluşturulmuştur.

Tablo 5.7 Elde edilen senaryoların düzeyleri ve kullanım kombinasyonları

	1,3	1,1	0,7	0,6	120	140	160	200	80	100	120	150	140	160	180	200
	Pencere				Duvar				Zemin				Çatı			
Senaryo	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

5.5 Senaryoların Simülasyon Programı Aracılığı İle Uygulanması

16 farklı senaryo; Design Builder simülasyon programındaki kalibre edilmiş mevcut binaya uygulanmıştır. Bu aşamada örneğin 1. Senaryo için; dış duvarlara 120 mm. EPS uygulanmış ve dış duvarların U-değeri 0,239 (W/m²K) olarak, çatıya 140 mm. cam yünü uygulanmış ve çatının U-değeri 0,256 (W/m²K) olarak, zemine 80 mm. XPS uygulanmış ve zeminin U-değeri 0,342 (W/m²K) olarak, pencereler ise Isıcam 4+16+4 hava dolgulu konfor cam ile değiştirilmiş ve U-değeri 1,3 (W/m²K) olarak Tablo 5.8’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Tablo 5.8’de gösterilen tüm senaryo kombinasyonlarının modellemeleri tamamlanmış ve simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Simülasyon sonuçlarında yıllık toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı, yıllık toplam birincil enerji ihtiyacı, yıllık toplam soğutma enerjisi ihtiyacı, metrekare başına ısıtma enerjisi ihtiyacı, metrekare başına birincil enerji ihtiyacı ve metrekare başına soğutma enerjisi ihtiyacı değerlerine ulaşılmıştır. Senaryolara ait belirtilen enerji ihtiyaçları Tablo 5.9’da gösterilmektedir.

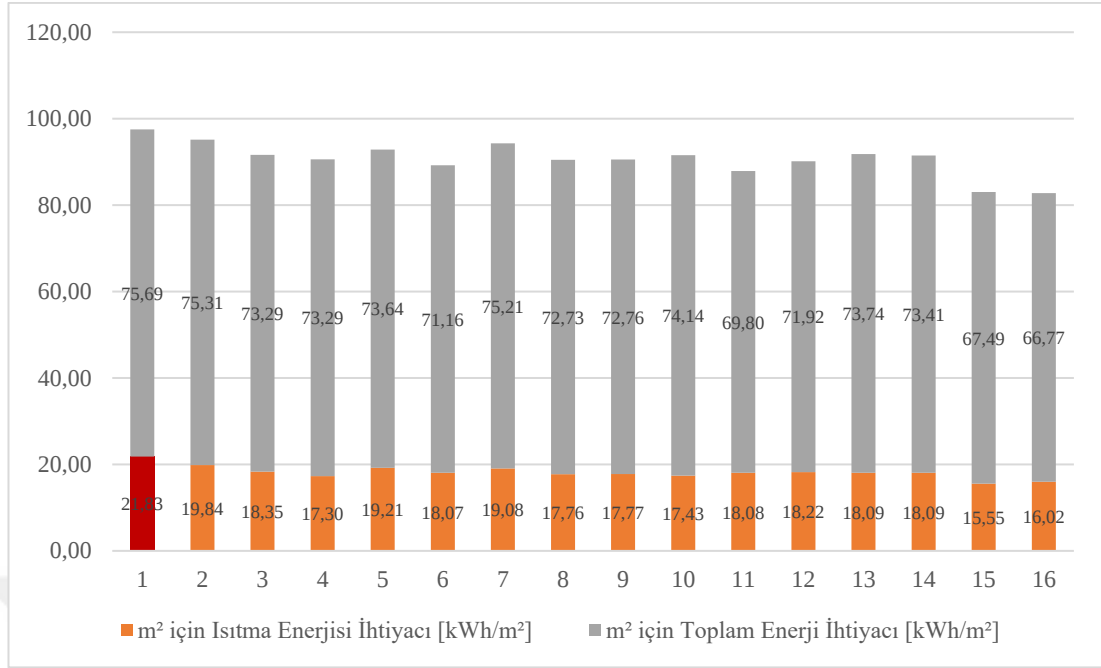
Tablo 5.8 Senaryolardaki düzeylerin Design Builder Programına aktarılan karşılıkları ve elde edilen yapı bileşeni U-değerleri

Senaryo	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Mevcut	Tek cam	Yalıtım Yok	Yalıtım Yok	Yalıtım Yok
1	Isıcam 4+16+4 (Hava) K 1,3 (W/m ² K)	EPS 120 mm. 0,239 (W/m ² K)	XPS 80 mm. 0,342 (W/m ² K)	Cam yünü 140 mm. 0,256 (W/m ² K)
2	Isıcam 4+16+4 (Argon) K 1,1 (W/m ² K)	EPS 120 mm. 0,239 (W/m ² K)	XPS 100 mm. 0,286 (W/m ² K)	Cam yünü 160 mm. 0,227 (W/m ² K)
3	Isıcam 4+16+4 +16+4 (Hava) K 0,7 (W/m ² K)	EPS 120 mm. 0,239 (W/m ² K)	XPS 120 mm. 0,246 (W/m ² K)	Cam yünü 180 mm. 0,204 (W/m ² K)
4	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K 0,6 (W/m ² K)	EPS 120 mm. 0,239 (W/m ² K)	XPS 150 mm. 0,203 (W/m ² K)	Cam yünü 200 mm. 0,185 (W/m ² K)
5	Isıcam 4+16+4 (Hava) K 1,3 (W/m ² K)	EPS 140 mm. 0,208 (W/m ² K)	XPS 100 mm. 0,286 (W/m ² K)	Cam yünü 180 mm. 0,204 (W/m ² K)
6	Isıcam 4+16+4 (Argon) K 1,1 (W/m ² K)	EPS 140 mm. 0,208 (W/m ² K)	XPS 80 mm. 0,342 (W/m ² K)	Cam yünü 200 mm. 0,185 (W/m ² K)
7	Isıcam 4+16+4 +16+4 (Hava) K 0,7 (W/m ² K)	EPS 140 mm. 0,208 (W/m ² K)	XPS 150 mm. 0,203 (W/m ² K)	Cam yünü 140 mm. 0,256 (W/m ² K)
8	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K 0,6 (W/m ² K)	EPS 140 mm. 0,208 (W/m ² K)	XPS 120 mm. 0,246 (W/m ² K)	Cam yünü 160 mm. 0,227 (W/m ² K)
9	Isıcam 4+16+4 (Hava) K 1,3 (W/m ² K)	EPS 160 mm. 0,184 (W/m ² K)	XPS 120 mm. 0,246 (W/m ² K)	Cam yünü 200 mm. 0,185 (W/m ² K)
10	Isıcam 4+16+4 (Argon) K 1,1 (W/m ² K)	EPS 160 mm. 0,184 (W/m ² K)	XPS 150 mm. 0,203 (W/m ² K)	Cam yünü 180 mm. 0,204 (W/m ² K)
11	Isıcam 4+16+4 +16+4 (Hava) K 0,7 (W/m ² K)	EPS 160 mm. 0,184 (W/m ² K)	XPS 80 mm. 0,342 (W/m ² K)	Cam yünü 160 mm. 0,227 (W/m ² K)
12	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K 0,6 (W/m ² K)	EPS 160 mm. 0,184 (W/m ² K)	XPS 100 mm. 0,286 (W/m ² K)	Cam yünü 140 mm. 0,256 (W/m ² K)
13	Isıcam 4+16+4 (Hava) K 1,3 (W/m ² K)	EPS 200 mm. 0,149 (W/m ² K)	XPS 150 mm. 0,203 (W/m ² K)	Cam yünü 160 mm. 0,227 (W/m ² K)
14	Isıcam 4+16+4 (Argon) K 1,1 (W/m ² K)	EPS 200 mm. 0,149 (W/m ² K)	XPS 120 mm. 0,246 (W/m ² K)	Cam yünü 140 mm. 0,256 (W/m ² K)
15	Isıcam 4+16+4 +16+4 (Hava) K 0,7 (W/m ² K)	EPS 200 mm. 0,149 (W/m ² K)	XPS 100 mm. 0,286 (W/m ² K)	Cam yünü 200 mm. 0,185 (W/m ² K)
16	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K 0,6 (W/m ² K)	EPS 200 mm. 0,149 (W/m ² K)	XPS 80 mm. 0,342 (W/m ² K)	Cam yünü 180 mm. 0,204 (W/m ² K)

Tablo 5.9 Senaryolara ait enerji ihtiyacı değerleri

Senaryo	Yıllık Toplam Isıtma Enerjisi İhtiyacı	Yıllık Toplam Enerji İhtiyacı	Yıllık Toplam Soğutma Enerjisi İhtiyacı	Bina Taban Alanı	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı	m ² için Soğutma Enerjisi İhtiyacı
	kWh	[kWh]	kWh	m ²	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
1	2071,528	7183,28	1366,037	94,9	21,829	75,693	14,394
2	1882,924	7147,07	1434,988	94,9	19,841	75,312	15,121
3	1741,346	6955,29	1395,3	94,9	18,349	73,291	14,703
4	1642,205	6955,36	1442,154	94,9	17,305	73,291	15,197
5	1823,31	6988,22	1389,753	94,9	19,213	73,638	14,644
6	1714,369	6753,52	1310,809	94,9	18,065	71,165	13,813
7	1810,406	7137,4	1478,727	94,9	19,077	75,210	15,582
8	1685,474	6901,89	1406,882	94,9	17,761	72,728	14,825
9	1686,745	6905,11	1422,866	94,9	17,774	72,762	14,993
10	1653,868	7035,93	1511,069	94,9	17,427	74,140	15,923
11	1716,069	6623,7	1252,68	94,9	18,083	69,797	13,200
12	1729,197	6825,04	1358,332	94,9	18,221	71,918	14,313
13	1716,61	6998,03	1489,741	94,9	18,089	73,741	15,698
14	1716,515	6966,52	1472,284	94,9	18,088	73,409	15,514
15	1475,308	6405,26	1274,374	94,9	15,546	67,495	13,429
16	1520,315	6336,31	1214,817	94,9	16,020	66,768	12,801

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; tüm parametrelerin en düşük düzeylerinin kombinasyonundan oluşturulmuş olan 1 numaralı senaryonun, EnerPHit kriterlerinden yıllık metrekare başına ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değerlerini (Tablo 3.2) karşılamadığı, sertifika sisteminde belirtilen sınır değerlerin üzerinde enerji ihtiyacı olduğu saptanmıştır. Bu sebeple çalışmanın devamında; çalışmanın sınırlarından dolayı; 1 numaralı senaryo seçilebilecek senaryolar arasından elenmiştir. (Şekil 5.8)



Şekil 5.8 Senaryolara ait enerji ihtiyacı değerleri

5.6 Senaryoların Maliyet Analizi

Çalışmanın bu aşamasında, 16 farklı senaryonun maliyet analizleri yapılmıştır. Bu doğrultuda, geri ödeme süresi yöntemi ile ve ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı yöntemiyle değerlendirilmiştir.

5.6.1 Senaryoların Geri Ödeme Yöntemi İle Değerlendirilmesi

Uygulamada ele alınan 16 farklı senaryonun; Design Builder enerji simülasyon programı aracılığıyla yıllık ısıtma ve toplam enerji tüketim değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca, ne ölçüde enerji tasarrufunun ortaya çıktığını saptamak amacıyla; binanın mevcut halinin yıllık ısıtma ve toplam enerji tüketim değerlerine ulaşılmıştır.

Uygulamada kullanılacak olan yalıtım malzemeleri; yalıtım firmaları ile görüşülerek; duvar, çatı, zemin ve pencere için ayrı ayrı seçilip birim fiyatlarına ulaşılmıştır. Yapı bileşenlerinde kullanılan; senaryoya göre farklılık gösteren malzeme kalınlıklarına ve özelliklerine göre birim fiyatlarının ve uygulama maliyetlerinin yer aldığı fiyat tablosu Tablo 5.5’de oluşturulmuştur.

Uygulamada kullanılan 16 senaryonun her birinde; yapı bileşenlerinde, farklı kalınlıkta yalıtım malzemelerinin kombinasyonları yer almaktadır. Bu sebeple, her bir senaryoya ait ilk yatırım maliyetleri farklılaşmaktadır. Bu farklılaşma, her bir senaryonun yıllık enerji tüketim değerlerini de etkilemektedir. Enerji tüketim değerlerinin farklılaşması da; mevcut yapıya göre elde edilen enerji tasarrufunu farklılaştırmaktadır. Uygulamada ele alınan her bir senaryoya ait enerji tüketim değerleri ve yatırım tutarları Tablo 5.9’da gösterilmektedir.

Tablo 5.10 Senaryolara ait enerji ihtiyacı ve yatırım tutarı değerleri

Senaryo	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı	Tasarruf Yüzdesi	Enerji Tasarrufu	kWh ücreti	Senaryonun Yıllık Tasarrufu	Senaryo Yatırım Tutarı
	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	%	kWh	TL	TL	TL
1	21,829	75,693	51,788	7719,12	0,6	4631,472	35308,53
2	19,841	75,312	52,031	7755,33	0,6	4653,198	36920,55
3	18,349	73,291	53,318	7947,11	0,6	4768,266	39617,92
4	17,305	73,291	53,318	7947,04	0,6	4768,224	40964,11
5	19,213	73,638	53,097	7914,18	0,6	4748,508	37512,90
6	18,065	71,165	54,672	8148,88	0,6	4889,328	36735,32
7	19,077	75,210	52,096	7765	0,6	4659	40742,90
8	17,761	72,728	53,676	8000,51	0,6	4800,306	40231,15
9	17,774	72,762	53,655	7997,29	0,6	4798,374	38960,52
10	17,427	74,140	52,777	7866,47	0,6	4719,882	40060,75
11	18,083	69,797	55,544	8278,7	0,6	4967,22	38935,34
12	18,221	71,918	54,192	8077,36	0,6	4846,416	39658,12
13	18,089	73,741	53,031	7904,37	0,6	4742,622	40995,92
14	18,088	73,409	53,243	7935,88	0,6	4761,528	39594,93
15	15,546	67,495	57,010	8497,14	0,6	5098,284	41406,8508
16	16,020	66,768	57,472	8566,09	0,6	5139,654	40383,3128

Senaryolara göre değişen sonuçlar, binalarda enerji etkin iyileştirme yapan kullanıcılara, ilk yatırım maliyeti ve elde edilen enerji tasarrufu ilişkisi bakımından farklı alternatifler sunmaktadır. Enerji etkin iyileştirme yapmak isteyen tasarımcının

karar aşamasında; bu seçeneklerden birini seçmesi gerekmektedir. Tasarımcının; hangi senaryoyu seçeceğine, ilk yatırım maliyeti ve elde edeceği tasarrufu karşılaştırarak Senaryolara ilişkin yatırım tutarları ve sağlanacak enerji tasarrufları; her bir senaryo için farklılık göstermektedir. Bu durumda enerjietkin iyileştirme yapılırken; hangi senaryonun seçileceği konusunda yatırımcılar sezgisel karar verebileceği gibi, geliştirilen yöntemlere dayalı olarak da karar vermeleri mümkün olabilmektedir. Binaya enerji etkin iyileştirme amacıyla yapılacak yatırım bir proje olarak kabul edilebilmektedir.

Ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde gelecek 20 yılı içeren ekonomik kestirimlerde bulunmak zordur. Bu nedenle yatırımın faydalı ömrünü içeren zaman diliminde enflasyon oranlarını ve faiz oranlarını isabetli bir şekilde tahmin etmek mümkün olmadığı için birçok yatırımcı dinamik yöntemler yerine, statik yöntemler kullanmayı tercih etmektedir. Bu nedenle çalışmada, statik yöntemler ile değerlemeler yapılmıştır.

“Yatırımdan sağlanacak gelirler yıllar itibari ile değişiklik göstermiyorsa, bu durumda yatırım tutarı, yıllık yatırım gelirine bölünmek suretiyle yatırımın geri ödeme süresi bulunur ve aşağıdaki formül kullanılır ” (Büker S., Aşıkoğlu R., Sevil G., 2018, sy.296) :

$$n = \frac{I}{NNG} \quad (5.1)$$

n = Yatırımın geri ödeme süresi,

I = Yatırım tutarı,

NNG = Yatırımın yıllık net nakit girişi.

NNG (Net nakit girişi) senaryolarda elde edilen toplam enerji tüketiminin, her bir senaryo için ayrı ayrı olmak üzere; mevcut binaya kıyasla tasarrufunun parasal olarak ifadesini temsil etmektedir. Konutlarda farklı saatlerde farklı tarifelerde farklı elektrik kullanım ücretleri hesaplandığı için 2021 yılına ait KWh başına enerji tüketim tarifi (Tablo 5.11) İzmir Elektrik Mühendisleri Odasından alınmış ve ortalama 0,60 TL KWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.11 1 Ocak 2021 Tarihinden İtibaren Uygulanan Faaliyet Bazlı Elektrik Tarifesi

EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Ocak 2021 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler									
1/1/2021		Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)					Güç Bedeli Hariç Toplam Tarifeler (kr/kWh)		
İletim Sistemi Kullanıcıları	Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puanlı Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Gece
	Tüketici	55,1544	55,9104	92,0586	26,7352	0,0000	55,1544	55,9104	92,0586
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puanlı Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Gece
	Tüketici	55,1544	55,9104	92,0586	26,7352	0,0000	55,1544	55,9104	92,0586
Orta Gerilim Çift Tırnıklı	Orta Gerilim Çift Tırnıklı	54,7497	55,5058	91,6541	26,3306	10,8794	65,6291	66,3852	102,5335
	Sanayi	54,7497	55,5058	91,6541	26,3306	10,8794	65,6291	66,3852	102,5335
Orta Gerilim Çift Tırnıklı	Orta Gerilim Çift Tırnıklı	59,4037	60,0904	99,4221	28,7957	16,9552	76,3589	77,0456	116,3773
	Ticarethane	59,4037	60,0904	99,4221	28,7957	16,9552	76,3589	77,0456	116,3773
Orta Gerilim Çift Tırnıklı	Orta Gerilim Çift Tırnıklı	40,8361	41,6527	71,3956	17,8679	16,7941	57,6302	58,4468	88,1897
	Mesken	40,8361	41,6527	71,3956	17,8679	16,7941	57,6302	58,4468	88,1897
Orta Gerilim Çift Tırnıklı	Orta Gerilim Çift Tırnıklı	53,8485	54,4682	89,8390	26,2035	13,9639	67,8124	68,4321	103,8029
	Tarımsal Sulama	53,8485	54,4682	89,8390	26,2035	13,9639	67,8124	68,4321	103,8029
Orta Gerilim Çift Tırnıklı	Orta Gerilim Çift Tırnıklı	54,3429				16,2734	70,6163		
	Aydınlatma	54,3429				16,2734	70,6163		
Tek Tırnıklı	Tek Tırnıklı	54,4844	55,2408	91,3891	26,0655	12,0172	66,5016	67,2580	103,4063
	Sanayi	54,4844	55,2408	91,3891	26,0655	12,0172	66,5016	67,2580	103,4063
Tek Tırnıklı	Tek Tırnıklı	59,4796	60,1663	99,4981	28,8715	21,1497	80,6293	81,3160	120,6478
	Ticarethane	59,4796	60,1663	99,4981	28,8715	21,1497	80,6293	81,3160	120,6478
Tek Tırnıklı	Tek Tırnıklı	40,1894	41,0061	70,7486	17,2210	20,7364	60,9258	61,7425	91,4850
	Mesken	40,1894	41,0061	70,7486	17,2210	20,7364	60,9258	61,7425	91,4850
Tek Tırnıklı	Tek Tırnıklı	53,8419	54,4616	89,8324	26,1965	17,3866	71,2285	71,8482	107,2190
	Tarımsal Sulama	53,8419	54,4616	89,8324	26,1965	17,3866	71,2285	71,8482	107,2190
Tek Tırnıklı	Tek Tırnıklı	54,4011				20,2997	74,7008		
	Aydınlatma	54,4011				20,2997	74,7008		
Alçak Gerilim Çift Tırnıklı	Alçak Gerilim Çift Tırnıklı	55,2276	55,9836	92,1319	26,8085	18,5931	73,8207	74,5767	110,7250
	Sanayi	55,2276	55,9836	92,1319	26,8085	18,5931	73,8207	74,5767	110,7250
Alçak Gerilim Çift Tırnıklı	Alçak Gerilim Çift Tırnıklı	59,9118	60,5984	99,9301	29,3037	25,1976	85,1094	85,7960	125,1277
	Ticarethane	59,9118	60,5984	99,9301	29,3037	25,1976	85,1094	85,7960	125,1277
Alçak Gerilim Çift Tırnıklı	Alçak Gerilim Çift Tırnıklı	39,7629	40,5797	70,3224	16,7946	24,6441	64,4070	65,2238	94,9665
	Mesken	39,7629	40,5797	70,3224	16,7946	24,6441	64,4070	65,2238	94,9665
Alçak Gerilim Çift Tırnıklı	Alçak Gerilim Çift Tırnıklı	14,1787				16,7144	30,8931		
	Sehit Aileleri ve Muharip Malul Gazdler	14,1787				16,7144	30,8931		
Alçak Gerilim Çift Tırnıklı	Alçak Gerilim Çift Tırnıklı	54,1959	55,8187	90,1866	26,5508	20,7044	74,9003	76,5231	110,8910
	Tarımsal Sulama	54,1959	55,8187	90,1866	26,5508	20,7044	74,9003	76,5231	110,8910
Alçak Gerilim Çift Tırnıklı	Alçak Gerilim Çift Tırnıklı	54,8099				24,1338	78,9437		
	Aydınlatma	54,8099				24,1338	78,9437		
Alçak Gerilim Çift Tırnıklı	Alçak Gerilim Çift Tırnıklı	33,7854							
	Genel Aydınlatma	33,7854							

Simülasyonlar sonucunda elde edilen KWh cinsinden tasarruflar, Tablo 5.10'da gösterildiği gibi; simülasyonlar sonucunda elde edilen tüketim miktarı, belirtilen katsayı ile çarpılarak, her bir senaryo için parasal değeri bulunmuştur.

Senaryo 1 için yatırımın geri ödeme süresi hesaplanacak olursa;

$$I = 35308,5 \text{ TL.}$$

$$NNG = 4631,5 \text{ TL.}$$

$$n = 35308,5 / 4631,5 = 7,62 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Bu sonucu yıl/gün cinsinden 7 yıl 226 gün olarak ifade etmek mümkündür. Geri ödeme süreleri baz alınarak Tablo 5.12 düzenlenmiştir. Geri ödeme sürelerine göre kendini en kısa sürede ödeyen yatırım öncelik sırasında 1 numaralı olarak ifade edilen 6. Senaryodur. 1. Senaryo ise, EnerPHit sertifikası kriterlerini karşılamadığı için, öncelik sırasında 2. olarak görünse de, uygulanabilecek alternatifler arasında yer almamaktadır.

Tablo 5.12 Senaryolara ait geri ödeme süreleri ve öncelik sıraları

Senaryo	Geri Ödeme Süresi	Öncelik Sırası
1	7 yıl 226 gün	2
2	7 yıl 339 gün	6
3	8 yıl 30 gün	10
4	8 yıl 215 gün	14
5	7 yıl 324 gün	5
6	7 yıl 186 gün	1
7	8 yıl 270 gün	16
8	8 yıl 139 gün	12
9	8 yıl 44 gün	7
10	8 yıl 179 gün	13
11	7 yıl 306 gün	3
12	8 yıl 66 gün	9
13	8 yıl 234 gün	15
14	8 yıl 113 gün	11
15	8 yıl 44 gün	8
16	7 yıl 314 gün	4

5.6.2 Senaryoların Ortalama Yıllık Karın Yatırım Tutarına Oranı Yöntemine Göre Değerlendirilmesi

Bu yöntem, paranın zaman değerini dikkate almayan statik bir yöntemdir. Bu yöntemde temel amaç, karlı olan yatırım projelerinin ortalama yıllık karlılık oranlarına göre öncelik sıralamasını yapmaktır. Yatırımdan faydalı ömrü boyunca sağlanacak gelirleri, herhangi bir yılını esas alarak, yatırım tutarına oranlanması pek sağlıklı sonuçların elde edilmesini olanaklı kılmamaktadır. Bu tür özellik taşıyan yatırım projelerinde kara/faydaya dayalı daha sağlıklı bir sıralama yapmak isteniyorsa ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı yönteminin kullanılması gerekmektedir.

Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranını aşağıdaki formül yardımıyla hesaplamak mümkündür (Büker S. Aşıkoğlu R. Sevil G. 2018, sy.296) :

$$\text{Yatırım Ortalama Karlılık Oranı} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{K_t}{n}}{S+(C-H)} \quad (5.2)$$

K: Yıllık karlar

n: Yatırımın faydalı ömrü

S: İşletme sermayesi

C: Sabit yatırım tutarı

H: Yatırımın faydalı ömrü sonundaki hurda değeri

t: Yıllar

Hesaplama, kullanılan yatırım malzemelerinin, kullanım ömrü tamamlandıktan sonra yeniden kullanımı mümkün olmadığı bilindiğinden, hurda değeri (H) dikkate alınmamıştır. Ayrıca yatırımlarda, sabit yatırım tutarına ek olarak işletme sermayesi (S) bulunabilmektedir. Bu uygulamada işletme sermayesi bulunmadığı için hesaplara dâhil edilmemiştir.

Senaryo 1 için yatırımın ortalama karlılık oranı hesaplanacak olursa;

$$= 4631,5 / 35308,5 = 0,1311$$

= %13,11 karlılık oranı vardır.

Belirtilen yöntem kullanılarak 16 senaryo için hesaplamalar yapılmıştır. Her bir senaryo için ayrı ayrı hesaplanmış olan yatırımın ortalama karlılık oranı Tablo 4.13’de gösterilmektedir.

Tablo 5.13 Senaryolar için ortalama karlılık oranları ve öncelik sıralamaları

Senaryo	Ortalama yıllık karın	
	yatırım tutarına oranı (%)	Öncelik Sırası
1	%13,11	2
2	%12,60	6
3	%12,03	10
4	%11,64	14
5	%12,65	5
6	%13,30	1
7	%11,43	16
8	%11,93	12
9	%12,31	7
10	%11,78	13
11	%12,75	3
12	%12,22	9
13	%11,56	15
14	%12,02	11
15	%12,31	8
16	%12,72	4

Senaryolara ait geri ödeme süreleri bulunurken ifade edildiği gibi, senaryolara ait ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı yönteminde de 1. Senaryo; EnerPHit sertifika sisteminin kriterlerini karşılamadığı için çalışmanın kapsamında uygulanması mümkün olmayan bir senaryo olarak çalışmadan elenmiştir.

Tablo 5.14 Çalışmanın uygulama aşamasında kullanılan “İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik-Araç Gereç Rayiç Listeleri” ne göre yenilenen maliyet analizleri

Senaryo	Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı	Öncelik Sırası	Geri ödeme süresi	Geri ödeme süresi
			(yıl)	(yıl)
1	13,11%	2	7,62	7 yıl 226 gün
2	12,60%	6	7,93	7 yıl 339 gün
3	12,03%	10	8,31	8 yıl 30 gün
4	11,64%	14	8,59	8 yıl 215 gün
5	12,65%	5	7,9	7 yıl 324 gün
6	13,30%	1	7,51	7 yıl 186 gün
7	11,43%	16	8,74	8 yıl 270 gün
8	11,93%	12	8,38	8 yıl 139 gün
9	12,31%	7	8,12	8 yıl 44 gün
10	11,78%	13	8,49	8 yıl 179 gün
11	12,75%	3	7,84	7 yıl 306 gün
12	12,22%	9	8,18	8 yıl 66 gün
13	11,56%	15	8,64	8 yıl 234 gün
14	12,02%	11	8,32	8 yıl 113 gün
15	12,31%	8	8,12	8 yıl 44 gün
16	12,72%	4	7,86	7 yıl 314 gün

5.7 Parametrelerin Etkin Düzeylerinin Belirlenmesi, Ana Etki (Main Effect) ile Değerlendirme

Yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen enerji tasarrufu bulguları kullanılarak en etkin parametre-düzey kombinasyonuna ulaşmak hedeflenmiştir. Bu yöntem ile parametre-düzey kombinasyonlarının tamamının simülasyonu ve maliyet analizinin yapılması yerine, deney tasarımı ile oluşturulmuş bir temsil kümesi üzerinden hesaplamalarının yapılması ile kesin sonuca ulaşmak mümkün olmaktadır. Yanıt değişkenini etkileyen parametrelerin belirlenmesi, belirlenen parametrelerinin etkinlik düzeyleri ve yanıt üzerindeki en etkin seviyesini bu yöntem ile bulmak mümkündür.

Çalışmada sırasıyla faktörlerin etkinliklerinin belirlenmesi amacıyla ANOVA, faktörlerin yanıt değişkeni için en etkin düzeylerinin belirlenmesi amacıyla da ana etki yöntemi kullanılmıştır. Bu adımda hem enerji tasarrufu hem de geri dönüş süresi için ayrı ayrı faktör etkinliği ve faktörlerin en etkin düzeyleri saptanmıştır.

En etkin düzeylerin kombinasyonu ile oluşturulan senaryo, tüm kombinasyonları içeren 256 deneydeki senaryolar ile karşılaştırılıp yöntemin etkinliği doğrulanmıştır. İlk olarak, simülasyonlar sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak, SPSS programı aracılığı ile enerji tasarrufuna etkinin, parametrelerin her biri açısından anlamlı olup olmadığı test edilmiştir.

Tablo 5.15 Parametrelerin enerji tasarrufuna etkisini belirlemek için oluşturulan ANOVA tablosu

Yanıt Değişkeni	Enerji tasarrufu				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Duvar	319646,048	3	106548,683	21460,578	0,000
Çatı	169916,061	3	56638,687	11407,921	0,000
Zemin	217000,591	3	72333,530	14569,109	0,000
Pencere	219799,879	3	73266,626	14757,049	0,000
Error	14,895	3	4,965		
Total	1014552942,911	16			

Anova tablosu, değişkenler arasındaki ilişkinin anlamlılığını sınavan varyans analizidir. Tablo 5.15'deki olasılık değerinin (sig. = 0,000), 0,05' ten küçük olması, bağımlı ve bağımsız değişkenler arası ilişkinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Yani toplam enerji tasarruf değerleri ile simülasyonda girilen; duvar, çatı, zemin ve pencereye ait veriler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olması kullanılan her malzemenin etki derecesinin farklı olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 5.16 Sonuçların enerji tasarrufu açısından değerlendirilmesi

Senaryo	TASARRUF kWh	DENEY SETLERİ SİMULASYONU VE MALİYET ANALİZİ SONRASI ELDE EDİLEN DEĞERLER												ENERJİ TASARRUFU AÇISINDAN			
		PENCERE				DUVAR				ZEMİN				ÇATI			
		1,3	1,1	0,7	0,6	120	140	160	200	80	100	120	150	140	160	180	200
		P1	P2	P3	P4	D1	D2	D3	D4	Z1	Z2	Z3	Z4	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4
1	7719,1	7719,1				7719,1				7719,1				7719,1			
2	7755,3		7755,3			7755,3					7755,3				7755,3		
3	7947,1			7947,1		7947,1						7947,1				7947,1	
4	7947				7947	7947							7947				7947
5	7914,2	7914,2					7914,2				7914,2					7914,2	
6	8148,9		8148,9				8148,9			8148,9							8148,9
7	7765			7765			7765						7765	7765			
8	8000,5				8000,5		8000,5					8000,5			8000,5		
9	7997,3	7997,3						7997,3				7997,3					7997,3
10	7866,5		7866,5					7866,5					7866,5			7866,5	
11	8278,7			8278,7				8278,7		8278,7					8278,7		
12	8077,4				8077,4			8077,4			8077,4			8077,4			
13	7904,4	7904,4							7904,4				7904,4		7904,4		
14	7935,9		7935,9					7935,9				7935,9		7935,9			
15	8497,1			8497,1				8497,1		8497,1							8497,1
16	8566,1				8566,1				8566,1	8566,1						8566,1	
		7883,7	7926,6	8122	8147,8	7842,2	7957,1	8055	8225,9	8178,2	8061	7970,2	7870,7	7874,3	7984,7	8073,5	8147,6
		EN YÜKSEK DEĞER EN İYİ															

EN YÜKSEK DEĞER EN İYİ

Pencere için hesaplama yapılacak olursa, parametrenin düzeylerinin ayrı ayrı sonuca etkilerinin ortalamaları alınarak etkin düzey saptanabilmektedir.

$$y_{p1}=(7719,12+7914,8+7997,29+7904,37)/4=7883,74$$

$$y_{p2}=(7755,33+8148,88+7866,47+7935,88)/4=7926,64$$

$$y_{p3}=(7947,11+7765+8278,7+8497,14)/4=8121,99$$

$$y_{p4}=(7947,04+8000,51+8077,36+8566,09)/4=8147,75$$

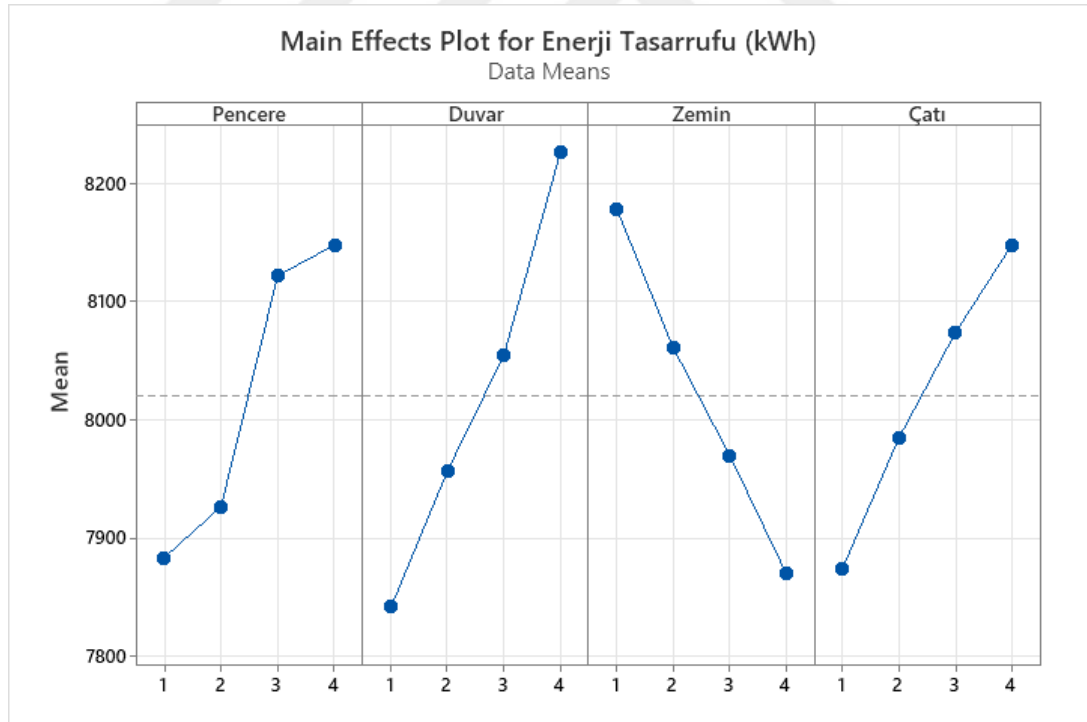
$y_{p1} < y_{p2} < y_{p3} < y_{p4}$ sıralamasına göre, enerji tasarrufu açısından pencerenin en etkin düzeyi 4. düzeyi, en az etkin düzeyi ise 1. düzeyidir.

Enerji tasarrufu açısından en etkin senaryo; pencere için 4. düzey, duvar için 4. düzey, zemin için 1. düzey ve çatı için 4. düzeyi içeren senaryo olarak belirlenmiştir. Parametrelerin enerji tasarrufuna etki açısından en etkin düzeylerinin kullanılması sonrasında oluşturulan senaryo Tablo 5.17'deki gibidir.

Tablo 5.17 Enerji tasarrufu açısından en etkin kombinasyon

Enerji Tasarrufu Açısından En Etkin Kombinasyon				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzy	P4	D4	Z1	Ç4
Yalıtım Malzemesi	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K	EPS 200 mm.	XPS 80 mm.	Cam yünü 200 mm.
U-Değeri	0,6 (W/m ² K)	0,149 (W/m ² K)	0,342 (W/m ² K)	0,185 (W/m ² K)
Enerji Tasarrufu				

Minitab Statistical Software ile enerji tasarrufu açısından parametrelerin etkilerini gösteren ana etki grafikleri çizilmiştir. Ana etki grafiklerinin eğim yönü ve eğim açısına göre parametrenin etki yönü ve etki büyüklüğü hakkında çıkarım yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 5.9 Parametre düzeylerinin enerji tasarrufuna etkisini gösteren ana etki grafikleri

Şekil 5.9’ da gösterilen ana etki grafiğine göre, enerji tasarrufuna etki değişiminin en fazla duvarda yapılan iyileştirmeler ile en az ise pencerede yapılan iyileştirmeler ile

sağlandığı söylenebilmektedir. Faktörlerin geri ödeme süresi açısından en etkin oldukları düzeyleri saptamak adına ana etkileri belirlenmiştir.

Tablo 5.18 Sonuçların geri ödeme süresi açısından değerlendirilmesi

Senaryo	Geri Ödeme Süresi	DENEY SETLERİ SİMULASYONU VE MALİYET ANALİZİ SONRASI ELDE EDİLEN DEĞERLERİN ANALİZİ										GERİ ÖDEME SÜRESİ AÇISINDAN					
		PENCERE				DUVAR				ZEMİN				ÇATI			
		1,3	1,1	0,7	0,6	120	140	160	200	80	100	120	150	140	160	180	200
		P1	P2	P3	P4	D1	D2	D3	D4	Z1	Z2	Z3	Z4	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4
1	7,624	7,624				7,624				7,624				7,624			
2	7,934		7,934			7,934					7,934				7,934		
3	8,309			8,309		8,309						8,309				8,309	
4	8,591				8,591	8,591							8,591				8,591
5	7,900	7,900					7,900				7,900					7,900	
6	7,513		7,513				7,513			7,513							7,513
7	8,745			8,745			8,745						8,745	8,745			
8	8,381				8,381		8,381					8,381			8,381		
9	8,120	8,120						8,120				8,120					8,120
10	8,488		8,488					8,488					8,488			8,488	
11	7,838			7,838				7,838		7,838					7,838		
12	8,183				8,183			8,183			8,183			8,183			
13	8,644	8,644							8,644				8,644		8,644		
14	8,316		8,316					8,316				8,316		8,316			
15	8,122			8,122				8,122		8,122							8,122
16	7,857				7,857				7,857	7,857						7,857	
		8,072	8,063	8,253	8,253	8,114	8,135	8,157	8,235	7,708	8,035	8,281	8,617	8,217	8,200	8,138	8,086
		EN DÜŞÜK DEĞER EN İYİ															

Duvar için hesaplama yapılacak olursa, parametrenin düzeylerinin ayrı ayrı sonuç etkilerinin ortalamaları alınarak etkin düzey saptanabilmektedir.

$$y_{d1} = (7,624+7,934+8,309+8,591)/4 = 8,114$$

$$y_{d2} = (7,9+7,513+8,745+8,381)/4 = 8,135$$

$$y_{d3} = (8,120+8,488+7,838+8,183)/4 = 8,183$$

$$y_{d4} = (8,644+8,316+8,122+7,857)/4 = 8,235$$

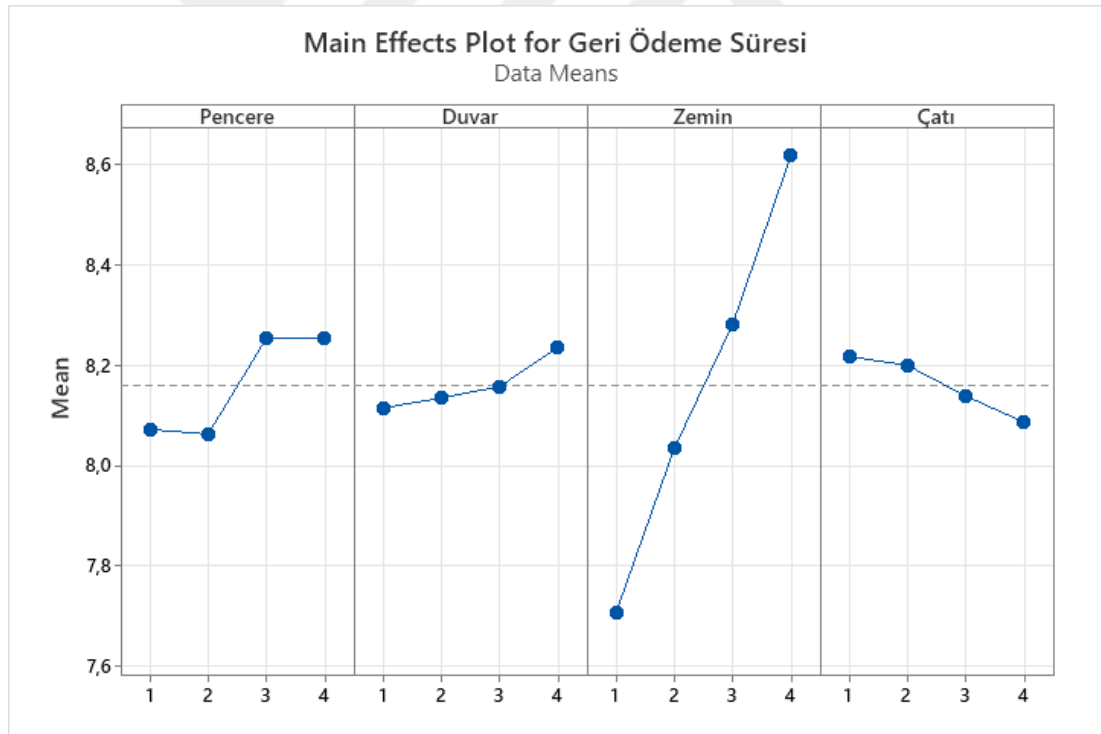
$y_{d1} < y_{d2} < y_{d3} < y_{d4}$ sıralamasına göre, geri ödeme süresi açısından duvarın en etkin düzeyi 1. düzeyi, en az etkin düzeyi ise 2. düzeyidir. Geri ödeme süresinin azalması pozitif etki sağladığı için, en düşük ortalamayı sağlayan düzey seçilmelidir.

Geri ödeme süresi açısından en etkin senaryo; pencere için 2. düzey, duvar için 1. düzey, zemin için 1. düzey ve çatı için 4. düzeyi içeren senaryo olarak belirlenmiştir. Parametrelerin geri ödeme süresine etki açısından en etkin düzeylerinin kullanılması sonrasında oluşturulan senaryo Tablo 5.19'daki gibidir

Tablo 5.19 Geri ödeme süresi açısından en etkin kombinasyon

Geri Ödeme Süresi Açısından En Etkin Kombinasyon				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzy	P2	D1	Z1	Ç4
Yalıtım Malzemesi	Isıcam 4+16+4 (Argon) K	EPS 120 mm.	XPS 80 mm.	Cam yünü 200 mm.
U-Değeri	1,1 (W/m ² K)	0,239 (W/m ² K)	0,342 (W/m ² K)	0,185 (W/m ² K)
Geri Ödeme Süresi				

Minitab Statistical Software ile geri ödeme süresi açısından parametrelerin etkilerini gösteren ana etki grafikleri çizilmiştir. Ana etki grafiklerinin eğim yönü ve eğim açısına göre parametrenin etki yönü ve etki büyüklüğü hakkında çıkarım yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 5.10 Parametre düzeylerinin geri ödeme süresine etkisini gösteren ana etki grafikleri

Şekil 5.10' da gösterilen ana etki grafiğine göre, geri ödeme süresine etki değişiminin en fazla zeminde yapılan iyileştirmeler ile en az ise duvarda yapılan

iyileştirmeler ile sağlandığı söylenebilmektedir. Faktörlerin ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından en etkin oldukları düzeyleri saptamak amacıyla ana etkileri belirlenmiştir.

Tablo 5.20 Sonuçların ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından değerlendirilmesi

Senaryo	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m]	DENEY SETLERİ SİMULASYONU VE MALİYET ANALİZİ SONRASI ELDE EDİLEN DEĞERLERİN ANALİZİ												ISITMA ENERJİSİ AÇISINDAN			
		PENCERE				DUVAR				ZEMİN				ÇATI			
		1,3	1,1	0,7	0,6	120	140	160	200	80	100	120	150	140	160	180	200
		P1	P2	P3	P4	D1	D2	D3	D4	Z1	Z2	Z3	Z4	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4
1	21,829	21,829				21,829				21,829				21,829			
2	19,841		19,841			19,841					19,841				19,841		
3	18,349			18,349		18,349						18,349				18,349	
4	17,305				17,305	17,305							17,305				17,305
5	19,213	19,213					19,213				19,213					19,213	
6	18,065		18,065				18,065			18,065							18,065
7	19,077			19,077			19,077						19,077	19,077			
8	17,761				17,761		17,761					17,761			17,761		
9	17,774	17,774						17,774				17,774					17,774
10	17,427		17,427					17,427					17,427			17,427	
11	18,083			18,083				18,083		18,083					18,083		
12	18,221				18,221			18,221			18,221			18,221			
13	18,089	18,089							18,089				18,089		18,089		
14	18,088		18,088						18,088			18,088		18,088			
15	15,546			15,546					15,546		15,546						15,546
16	16,020				16,020				16,020	16,020						16,020	
		19,226	18,355	17,764	17,327	19,331	18,529	17,876	16,936	18,499	18,205	17,993	17,974	19,304	18,443	17,752	17,172
EN DÜŞÜK DEĞER EN İYİ																	

Zemin için hesaplama yapılacak olursa, parametrenin düzeylerinin ayrı ayrı sonuca etkilerinin ortalamaları alınarak etkin düzey saptanabilmektedir.

$$y_{z1} = (21,829+18,065+18,083+16,020)/4=18,499$$

$$y_{z2} = (19,841+19,213+18,221+15,546)/4=18,205$$

$$y_{z3} = (18,349+17,761+17,774+18,088)/4=17,993$$

$$y_{z4} = (17,305+19,077+17,427+18,089)/4=17,974$$

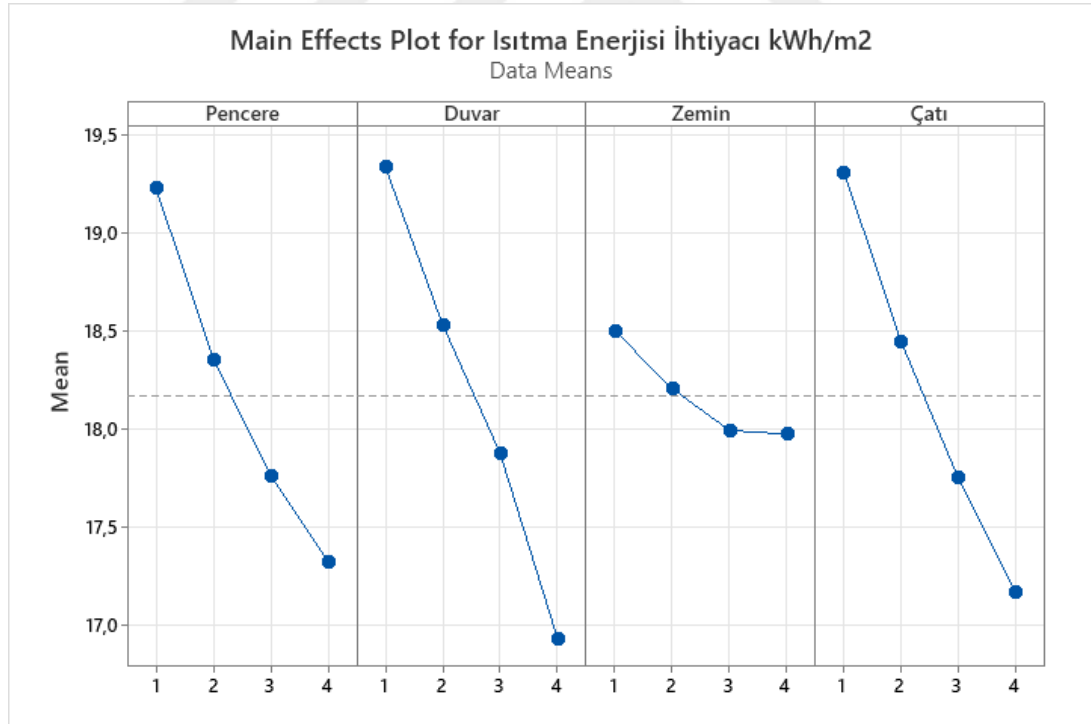
$y_{z1} > y_{z2} > y_{z3} > y_{z4}$ sıralamasına göre, ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından zeminin en etkin düzeyi 4. düzeyi, en az etkin düzeyi ise 1. düzeyidir. Isıtma enerjisi ihtiyacının az ise parametre etkin denilebileceği için 1. düzey etkin düzey belirlenmiştir.

Isıtma enerjisi ihtiyacı açısından en etkin senaryo; pencere için 4. düzey, duvar için 4. düzey, zemin için 4. düzey ve çatı için 4. düzeyi içeren senaryo olarak belirlenmiştir. Parametrelerin ısıtma enerjisi ihtiyacına etki açısından en etkin düzeylerinin kullanılması sonrasında oluşturulan senaryo Tablo 5.21'deki gibidir.

Tablo 5.21 Isıtma enerjisi ihtiyacı açısından en etkin kombinasyon

Isıtma Enerjisi İhtiyacı Açısından En Etkin Kombinasyon				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzy	P4	D4	Z4	Ç4
Yalıtım Malzemesi	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K	EPS 200 mm.	XPS 150 mm.	Cam yünü 200 mm.
U-Değeri	0,6 (W/m ² K)	0,149 (W/m ² K)	0,203 (W/m ² K)	0,185 (W/m ² K)
Isıtma Enerjisi İhtiyacı				

Minitab Statistical Software ile ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından parametrelerin etkilerini gösteren ana etki grafikleri çizilmiştir. Ana etki grafiklerinin eğim yönü ve eğim açısına göre parametrenin etki yönü ve etki büyüklüğü hakkında çıkarım yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 5.11 Parametre düzeylerinin ısıtma enerjisi ihtiyacına etkisini gösteren ana etki grafikleri

Şekil 5.11' de gösterilen ana etki grafiğine göre, ısıtma enerjisi ihtiyacına etki değişiminin en fazla duvarda yapılan iyileştirmeler ile en az ise zeminde yapılan

iyileştirmeler ile sağlandığı söylenebilmektedir. Faktörlerin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından en etkin oldukları düzeyleri saptamak amacıyla ana etkileri belirlenmiştir.

Tablo 5.22 Sonuçların ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından değerlendirilmesi

Senaryo	Ortalama Yıllık Karın Yatırım Tutarına Oranı	DENEY SETLERİ SİMULASYONU VE MALİYET ANALİZİ SONRASI ELDE EDİLEN DEĞERLERİN ANALİZİ												YATIRIM TUTARINA ORANI AÇISINDAN			
		PENCERE				DUVAR				ZEMİN				ÇATI			
		1,3	1,1	0,7	0,6	120	140	160	200	80	100	120	150	140	160	180	200
		P1	P2	P3	P4	D1	D2	D3	D4	Z1	Z2	Z3	Z4	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4
1	0,131	0,131				0,131				0,131				0,131			
2	0,126		0,126			0,126					0,126				0,126		
3	0,120			0,120		0,120						0,120				0,120	
4	0,116				0,116	0,116							0,116				0,116
5	0,127	0,127					0,127				0,127					0,127	
6	0,133		0,133				0,133			0,133							0,133
7	0,114			0,114			0,114						0,114	0,114			
8	0,119				0,119		0,119					0,119			0,119		
9	0,123	0,123						0,123				0,123					0,123
10	0,118		0,118					0,118					0,118			0,118	
11	0,128			0,128				0,128		0,128					0,128		
12	0,122				0,122			0,122			0,122			0,122			
13	0,116	0,116							0,116				0,116		0,116		
14	0,120		0,120						0,120			0,120		0,120			
15	0,123			0,123					0,123		0,123						0,123
16	0,127				0,127				0,127	0,127						0,127	
		0,1241	0,1243	0,1214	0,1213	0,1235	0,1233	0,1227	0,1216	0,1298	0,1245	0,1208	0,1161	0,1220	0,1222	0,1230	0,1239
EN YÜKSEK DEĞER EN İYİ																	

Çatı için hesaplama yapılacak olursa, parametrenin düzeylerinin ayrı ayrı sonuca etkilerinin ortalamaları alınarak etkin düzey saptanabilmektedir.

$$Y_{\text{Ç1}} = (0,13117+0,11435+0,1222+0,12026)/4=0,1220$$

$$Y_{\text{Ç2}} = (0,12603+0,11932+0,12758+0,11569)/4=0,1222$$

$$Y_{\text{Ç3}} = (0,12036+0,12658+0,11782+0,12727)/4=0,1230$$

$$Y_{\text{Ç4}} = (0,1164+0,1331+0,12316+0,12313)/4=0,1239$$

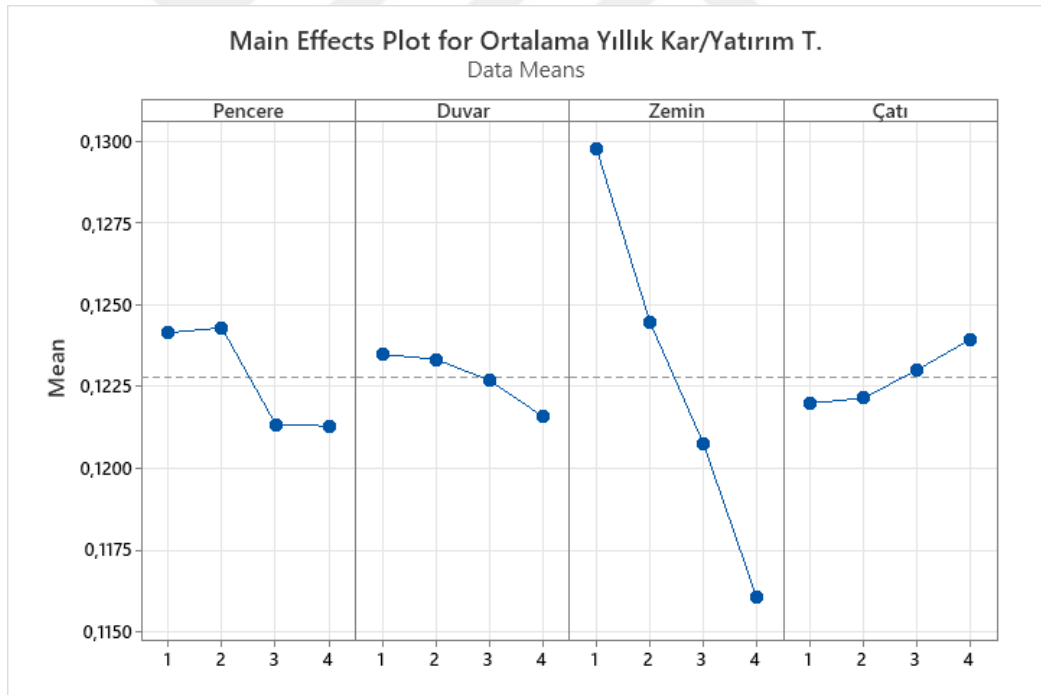
$y_{\text{Ç1}} < y_{\text{Ç2}} < y_{\text{Ç3}} < y_{\text{Ç4}}$ sıralamasına göre, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından çatının en etkin düzeyi 4. düzeyi, en az etkin düzeyi ise 1. düzeyidir.

Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından en etkin senaryo; pencere için 2. düzey, duvar için 1. düzey, zemin için 1. düzey ve çatı için 4. düzeyi içeren senaryo olarak belirlenmiştir. Parametrelerin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranına etki açısından en etkin düzeylerinin kullanılması sonrasında oluşturulan senaryo Tablo 5.23'deki gibidir.

Tablo 5.23 Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından en etkin kombinasyon

Ortalama Yıllık Karın Yatırım Tutarına Oranı Açısından En Etkin Kombinasyon				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzey	P2	D1	Z1	Ç4
Yalıtım Malzemesi	Isıcam 4+16+4 (Argon) K EPS 120 mm. XPS 80 mm. Cam yünü 200 mm.			
U-Değeri	1,1 (W/m ² K)	0,239 (W/m ² K)	0,342 (W/m ² K)	0,185 (W/m ² K)
Ortalama Yıllık Karın Yatırım Tutarına Oranı				

Minitab Statistical Software ile ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından parametrelerin etkilerini gösteren ana etki grafikleri çizilmiştir. Ana etki grafiklerinin eğim yönü ve eğim açısına göre parametrenin etki yönü ve etki büyüklüğü hakkında çıkarım yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 5.12 Parametre düzeylerinin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranına etkisini gösteren ana etki grafikleri

Şekil 5.12’ de gösterilen ana etki grafiğine göre, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı etki değişiminin en fazla duvarda yapılan iyileştirmeler ile en az ise zeminde yapılan iyileştirmeler ile sağlandığı söylenebilmektedir.

Minitab programı kullanılarak faktörlerin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından ana etki diyagramlarına ulaşılmıştır. Ana etki diyagramlarından faktörlerin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı üzerindeki etkin düzeyleri ve her bir faktörün sonuca katkısı görülebilmektedir.

2. 16'lı sete ait ana etki uygulaması

Deney tasarım yöntemi kullanılarak, çalışmanın bu bölümünde aynı parametreler ve seviyeler için farklı bir 16 lı set seçilmiştir. Seçilen sete ait simülasyon ve maliyet analizleri sonrasında elde edilen çıkarımlar çalışmanın devamında aktarılacaktır. Seçilen ikinci sete ait senaryoların düzeyleri ve kullanım kombinasyonları Tablo 5.24'de aktarılmaktadır. İkinci sete ait senaryolardaki düzeylerin Design Builder Programına aktarılan karşılıkları ve elde edilen yapı bileşeni U-değerleri ise Tablo 5.25 ve Tablo 5.26'da gösterilmektedir.

Tablo 5.24 2. sete ait senaryoların düzeyleri ve kullanım kombinasyonları

	140	160	180	200	80	100	120	150	120	140	160	200	1,3	1,1	0,7	0,6
	Çatı				Zemin				Duvar				Pencere			
Senaryo	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Tablo 5.25 2. sete ait senaryolardaki düzeylerin Design Builder Programına aktarılan karşılıkları ve elde edilen yapı bileşeni U-değerleri

Senaryo	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Mevcut	Tek cam	Yalıtım Yok	Yalıtım Yok	Yalıtım Yok
1	Isıcam 4+16+4 (Hava) K 1,3 (W/m ² K)	EPS 120 mm. 0,239 (W/m ² K)	XPS 80 mm. 0,342 (W/m ² K)	Cam yünü 140 mm. 0,256 (W/m ² K)
2	Isıcam 4+16+4 (Argon) K 1,1 (W/m ² K)	EPS 140 mm. 0,208 (W/m ² K)	XPS 80 mm. 0,342 (W/m ² K)	Cam yünü 160 mm. 0,227 (W/m ² K)
3	Isıcam 4+16+4 +16+4 (Hava) K 0,7 (W/m ² K)	EPS 160 mm. 0,184 (W/m ² K)	XPS 80 mm. 0,342 (W/m ² K)	Cam yünü 180 mm. 0,204 (W/m ² K)
4	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K 0,6 (W/m ² K)	EPS 200 mm. 0,149 (W/m ² K)	XPS 80 mm. 0,342 (W/m ² K)	Cam yünü 200 mm. 0,185 (W/m ² K)
5	Isıcam 4+16+4 +16+4 (Hava) K 0,7 (W/m ² K)	EPS 140 mm. 0,208 (W/m ² K)	XPS 100 mm. 0,286 (W/m ² K)	Cam yünü 140 mm. 0,256 (W/m ² K)
6	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K 0,6 (W/m ² K)	EPS 120 mm. 0,239 (W/m ² K)	XPS 100 mm. 0,286 (W/m ² K)	Cam yünü 160 mm. 0,227 (W/m ² K)
7	Isıcam 4+16+4 (Hava) K 1,3 (W/m ² K)	EPS 200 mm. 0,149 (W/m ² K)	XPS 100 mm. 0,286 (W/m ² K)	Cam yünü 180 mm. 0,204 (W/m ² K)
8	Isıcam 4+16+4 (Argon) K 1,1 (W/m ² K)	EPS 160 mm. 0,184 (W/m ² K)	XPS 100 mm. 0,286 (W/m ² K)	Cam yünü 200 mm. 0,185 (W/m ² K)
9	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K 0,6 (W/m ² K)	EPS 160 mm. 0,184 (W/m ² K)	XPS 120 mm. 0,246 (W/m ² K)	Cam yünü 140 mm. 0,256 (W/m ² K)
10	Isıcam 4+16+4 +16+4 (Hava) K 0,7 (W/m ² K)	EPS 200 mm. 0,149 (W/m ² K)	XPS 120 mm. 0,246 (W/m ² K)	Cam yünü 160 mm. 0,227 (W/m ² K)
11	Isıcam 4+16+4 (Argon) K 1,1 (W/m ² K)	EPS 120 mm. 0,239 (W/m ² K)	XPS 120 mm. 0,246 (W/m ² K)	Cam yünü 180 mm. 0,204 (W/m ² K)
12	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K 0,6 (W/m ² K)	EPS 140 mm. 0,208 (W/m ² K)	XPS 120 mm. 0,246 (W/m ² K)	Cam yünü 200 mm. 0,185 (W/m ² K)
13	Isıcam 4+16+4 (Argon) K 1,1 (W/m ² K)	EPS 200 mm. 0,149 (W/m ² K)	XPS 150 mm. 0,203 (W/m ² K)	Cam yünü 140 mm. 0,256 (W/m ² K)
14	Isıcam 4+16+4 (Hava) K 1,3 (W/m ² K)	EPS 160 mm. 0,184 (W/m ² K)	XPS 150 mm. 0,203 (W/m ² K)	Cam yünü 160 mm. 0,227 (W/m ² K)
15	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K 0,6 (W/m ² K)	EPS 140 mm. 0,208 (W/m ² K)	XPS 150 mm. 0,203 (W/m ² K)	Cam yünü 180 mm. 0,204 (W/m ² K)
16	Isıcam 4+16+4 +16+4 (Hava) K 0,7 (W/m ² K)	EPS 120 mm. 0,239 (W/m ² K)	XPS 150 mm. 0,203 (W/m ² K)	Cam yünü 200 mm. 0,185 (W/m ² K)

Tablo 5.26 2. sete ait senaryoların enerji ihtiyacı değerleri

Senaryo	Yıllık Toplam Isıtma	Yıllık Toplam	Bina	m ² için Isıtma	m ² için Toplam
	Enerjisi İhtiyacı	Enerji İhtiyacı	Taban Alanı	Enerjisi İhtiyacı	Enerji İhtiyacı
	kWh	[kWh]	m ²	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
1	2071,528	7183,28	94,9	21,829	75,693
2	1831,754	6913,04	94,9	19,302	72,846
3	1650,357	6534,12	94,9	17,390	68,853
4	1465,577	6262,11	94,9	15,443	65,986
5	1831,082	6950,76	94,9	19,295	73,243
6	1786,493	6930,15	94,9	18,825	73,026
7	1673,54	6719,88	94,9	17,635	70,810
8	1624,246	6772,94	94,9	17,115	71,369
9	1707,248	6913,8	94,9	17,990	72,854
10	1575,08	6658,54	94,9	16,597	70,164
11	1797,036	7148,48	94,9	18,936	75,326
12	1748,653	7004,66	94,9	18,426	73,811
13	1715,009	7067,39	94,9	18,072	74,472
14	1806,796	7164,54	94,9	19,039	75,496
15	1616,084	6912,19	94,9	17,029	72,837
16	1684,493	6980,21	94,9	17,750	73,553

İkinci set için de yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen enerji tasarrufu bulguları kullanılarak en etkin parametre-düzey kombinasyonuna ulaşmak hedeflenmiştir. Bu amaçla ilk olarak ikinci sete ait sonuçlar enerji tasarrufu açısından değerlendirilmiştir.

Çalışmanın devamında ikinci set için, enerji tasarrufu açısından değerlendirme, ısıtma enerjisi açısından değerlendirme, geri dönüş süresi açısından değerlendirme, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından değerlendirme yapılacaktır. Bu değerlendirmenin amacı, farklı parametre dizilimi ile seçilmiş farklı bir deney tasarım setinin ana etki yolu ile değerlendirmesi sonucunda aynı sonuçlara ulaşıldığının ifade edilmesidir.

İlk sette yapıldığı gibi bu aşamada da ana etki yöntemi ile değerlendirme yapılmış ve etki grafikleri çizilmiştir. Çalışmanın devamında birinci sette ve ikinci sette ulaşılan değerlerin aynı olduğu görülmüştür.

Tablo 5.27 2. Sete ait sonuçların enerji tasarrufu açısından değerlendirilmesi

Senaryo	TASARRUF kWh	DENEY SETLERİ SİMULASYONU VE MALİYET ANALİZİ SONRASI ELDE EDİLEN DEĞERLERİN ANALİZİ												ENERJİ TASARRUFU AÇISINDAN			
		ÇATI				ZEMİN				DUVAR				PENCERE			
		140	160	180	200	80	100	120	150	120	140	160	200	1,3	1,1	0,7	0,6
		Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Z1	Z2	Z3	Z4	D1	D2	D3	D4	P1	P2	P3	P4
1	7719,12	7719,12				7719,12				7719,12				7719,12			
2	7989,36		7989,36			7989,36					7989,36				7989,36		
3	8368,28			8368,28		8368,28						8368,28				8368,28	
4	8640,29				8640,29	8640,29							8640,29				8640,29
5	7951,64	7951,64					7951,64				7951,64					7951,64	
6	7972,25		7972,25				7972,25			7972,25							7972,25
7	8182,52			8182,52			8182,52						8182,52	8182,52			
8	8129,46				8129,46		8129,46					8129,46			8129,46		
9	7988,6	7988,6						7988,6				7988,6					7988,6
10	8243,86		8243,86					8243,86					8243,86			8243,86	
11	7753,92			7753,92				7753,92		7753,92					7753,92		
12	7897,74				7897,74			7897,74		7897,74				7897,74			
13	7835,01	7835,01							7835,01				7835,01		7835,01		
14	7737,86		7737,86					7737,86			7737,86			7737,86			
15	7990,21			7990,21				7990,21			7990,21						7990,21
16	7922,19				7922,19				7922,19	7922,19						7922,19	
		7873,59	7985,83	8073,73	8147,42	8179,26	8058,97	7971,03	7871,32	7841,87	7957,24	8056,05	8225,42	7884,31	7926,94	8121,49	8147,84
EN YÜKSEK DEĞER EN İYİ																	

Pencere için hesaplama yapılacak olursa, parametrenin düzeylerinin ayrı ayrı sonuca etkilerinin ortalamaları alınarak etkin düzey saptanabilmektedir.

$$y_{p1}=(7719,12+8182,52+7897,74+7737,86)/4=7884,31$$

$$y_{p2}=(7989,36+8129,46+7753,92+7835,01)/4=7926,94$$

$$y_{p3}=(8368,28+7951,64+8243,86+7922,19)/4=8121,49$$

$$y_{p4}=(8640,29+7972,25+7988,6+7990,21)/4=8147,84$$

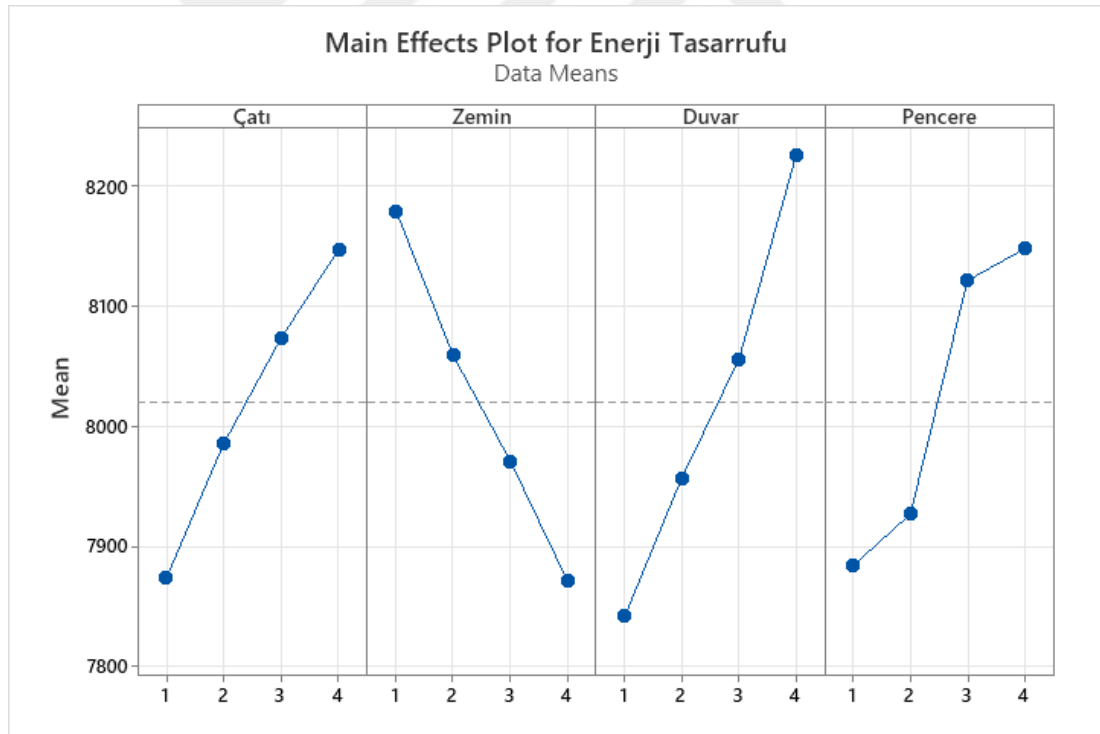
$y_{p1} < y_{p2} < y_{p3} < y_{p4}$ sıralamasına göre, enerji tasarrufu açısından pencerenin en etkin düzeyi 4. düzeyi, en az etkin düzeyi ise 1. düzeyidir.

Enerji tasarrufu açısından en etkin senaryo; pencere için 4. düzey, duvar için 4. düzey, zemin için 1. düzey ve çatı için 4. düzeyi içeren senaryo olarak belirlenmiştir. Parametrelerin enerji tasarrufuna etki açısından en etkin düzeylerinin kullanılması sonrasında oluşturulan senaryo Tablo 5.28'deki gibidir.

Tablo 5.28 2. Sette enerji tasarrufu açısından en etkin kombinasyon

Enerji Tasarrufu Açısından En Etkin Kombinasyon				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzey	P4	D4	Z1	Ç4
Yalıtım Malzemesi	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K	EPS 200 mm.	XPS 80 mm.	Cam yünü 200 mm.
U-Değeri	0,6 (W/m ² K)	0,149 (W/m ² K)	0,342 (W/m ² K)	0,185 (W/m ² K)
Enerji Tasarrufu	(m ² için) 91,0463			

Minitab Statistical Software ile enerji tasarrufu açısından parametrelerin etkilerini gösteren ana etki grafikleri çizilmiştir. Ana etki grafiklerinin eğim yönü ve eğim açısına göre parametrenin etki yönü ve etki büyüklüğü hakkında çıkarım yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 5.13 2. Set için parametre düzeylerinin enerji tasarrufuna etkisini gösteren ana etki grafikleri

Şekil 5.13’de gösterilen ana etki grafiğine göre, enerji tasarrufuna etki değişiminin en fazla duvarda yapılan iyileştirmeler ile en az ise pencerede yapılan iyileştirmeler ile

sağlandığı söylenebilmektedir. Faktörlerin geri ödeme süresi açısından en etkin oldukları düzeyleri saptamak adına ana etkileri belirlenmiştir.

Tablo 5.29 2. Sete ait sonuçların geri ödeme süresi açısından değerlendirilmesi

Senaryo	Geri Ödeme Süresi	DENEY SETLERİ SİMULASYONU VE MALİYET ANALİZİ SONRASI ELDE EDİLEN DEĞERLERİN ANALİZİ												GERİ ÖDEME SÜRESİ AÇISINDAN			
		ÇATI				ZEMİN				DUVAR				PENCERE			
		140	160	180	200	80	100	120	150	120	140	160	200	1,3	1,1	0,7	0,6
		Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Z1	Z2	Z3	Z4	D1	D2	D3	D4	P1	P2	P3	P4
1	7,624	7,624				7,624				7,624				7,624			
2	7,612		7,612			7,612					7,612				7,612		
3	7,779			7,779		7,779						7,779				7,779	
4	7,813				7,813	7,813							7,813				7,813
5	8,159	8,159					8,159				8,159					8,159	
6	8,133		8,133				8,133			8,133							8,133
7	8,005			8,005			8,005						8,005	8,005			
8	7,866				7,866		7,866					7,866			7,866		
9	8,425	8,425						8,425				8,425					8,425
10	8,468		8,468					8,468					8,468			8,468	
11	8,118			8,118				8,118		8,118					8,118		
12	8,096				8,096			8,096			8,096			8,096			
13	8,654	8,654							8,654				8,654		8,654		
14	8,574		8,574									8,574		8,574			
15	8,645			8,645					8,645		8,645						8,645
16	8,590				8,590				8,590	8,590						8,590	
		8,216	8,197	8,137	8,091	7,707	8,041	8,277	8,616	8,116	8,128	8,161	8,235	8,075	8,063	8,249	8,254
EN DÜŞÜK DEĞER EN İYİ																	

Duvar için hesaplama yapılacak olursa, parametrenin düzeylerinin ayrı ayrı sonuca etkilerinin ortalamaları alınarak etkin düzey saptanabilmektedir.

$$y_{d1} = (7,624+8,133+8,118+8,590)/4 = 8,116$$

$$y_{d2} = (7,612+8,159+8,096+8,645)/4 = 8,128$$

$$y_{d3} = (7,779+7,866+8,425+8,574)/4 = 8,161$$

$$y_{d4} = (7,779+8,005+8,468+8,654)/4 = 8,235$$

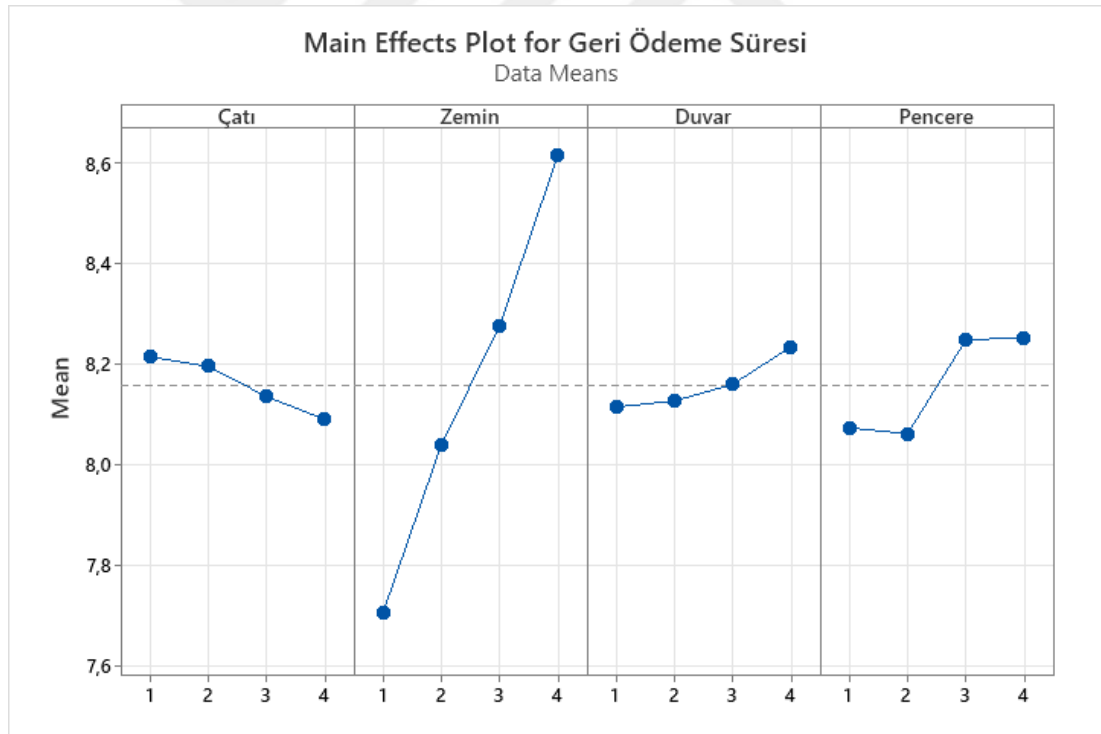
$y_{d1} < y_{d2} < y_{d3} < y_{d4}$ sıralamasına göre, geri ödeme süresi açısından duvarın en etkin düzeyi 1. düzeyi, en az etkin düzeyi ise 2. düzeyidir. Geri ödeme süresinin azalması pozitif etki sağladığı için, en düşük ortalamayı sağlayan düzey seçilmelidir.

Geri ödeme süresi açısından en etkin senaryo; pencere için 2. düzey, duvar için 1. düzey, zemin için 1. düzey ve çatı için 4. düzeyi içeren senaryo olarak belirlenmiştir. Parametrelerin geri ödeme süresine etki açısından en etkin düzeylerinin kullanılması sonrasında oluşturulan senaryo aşağıdaki gibidir.

Tablo 5.30 2. Set için geri ödeme süresi açısından en etkin kombinasyon

Geri Ödeme Süresi Açısından En Etkin Kombinasyon				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzey	P2	D1	Z1	Ç4
Yalıtım Malzemesi	Isıcam 4+16+4 (Argon) K EPS 120 mm. XPS 80 mm. Cam yünü 200 mm.			
U-Değeri	1,1 (W/m ² K)	0,239 (W/m ² K)	0,342 (W/m ² K)	0,185 (W/m ² K)
Geri Ödeme Süresi	7,4971			

Minitab Statistical Software ile geri ödeme süresi açısından parametrelerin etkilerini gösteren ana etki grafikleri çizilmiştir. Ana etki grafiklerinin eğim yönü ve eğim açısına göre parametrenin etki yönü ve etki büyüklüğü hakkında çıkarım yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 5.14 2. Set için parametre düzeylerinin geri ödeme süresini gösteren ana etki grafikleri

Şekil 5.14’de gösterilen ana etki grafiğine göre, geri ödeme süresine etki değişiminin en fazla zeminde yapılan iyileştirmeler ile en az ise duvarda yapılan

iyileştirmeler ile sağlandığı söylenebilmektedir. Faktörlerin ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından en etkin oldukları düzeyleri saptamak amacıyla ana etkileri belirlenmiştir.

Tablo 5.31 2. Sete ait sonuçların ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından değerlendirilmesi

Senaryo	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m ²]	DENEY SETLERİ SİMULASYONU VE MALİYET ANALİZİ SONRASI ELDE EDİLEN DEĞERLERİN ANALİZİ																ISITMA ENERJİSİ AÇISINDAN			
		ÇATI				ZEMİN				DUVAR				PENCERE				1,3	1,1	0,7	0,6
		140	160	180	200	80	100	120	150	120	140	160	200	P1	P2	P3	P4				
		Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Z1	Z2	Z3	Z4	D1	D2	D3	D4								
1	21,829	21,829				21,829				21,829				21,829							
2	19,302		19,302			19,302					19,302				19,302						
3	17,390			17,390		17,390						17,390				17,390					
4	15,443				15,443	15,443							15,443				15,443				
5	19,295	19,295					19,295				19,295						19,295				
6	18,825		18,825				18,825			18,825							18,825				
7	17,635			17,635			17,635							17,635				17,635			
8	17,115				17,115		17,115					17,115			17,115						
9	17,990	17,990						17,990				17,990					17,990				
10	16,597		16,597					16,597					16,597				16,597				
11	18,936			18,936				18,936		18,936					18,936						
12	18,426				18,426			18,426			18,426					18,426					
13	18,072	18,072							18,072				18,072			18,072					
14	19,039		19,039					19,039				19,039			19,039						
15	17,029			17,029				17,029				17,029					17,029				
16	17,750				17,750				17,750	17,750							17,750				
		19,296	18,441	17,748	17,184	18,491	18,217	17,987	17,973	19,335	18,513	17,884	16,937	19,232	18,356	17,758	17,322				
EN DÜŞÜK DEĞER EN İYİ																					

Zemin için hesaplama yapılacak olursa, parametrenin düzeylerinin ayrı ayrı sonuca etkilerinin ortalamaları alınarak etkin düzey saptanabilmektedir.

$$y_{z1} = (21,829+19,302+17,390+15,443)/4=18,491$$

$$y_{z2} = (19,295+18,825+17,635+17,115)/4=18,217$$

$$y_{z3} = (17,990+16,597+18,96+18,426)/4=17,987$$

$$y_{z4} = (18,072+19,039+17,029+17,750)/4=17,973$$

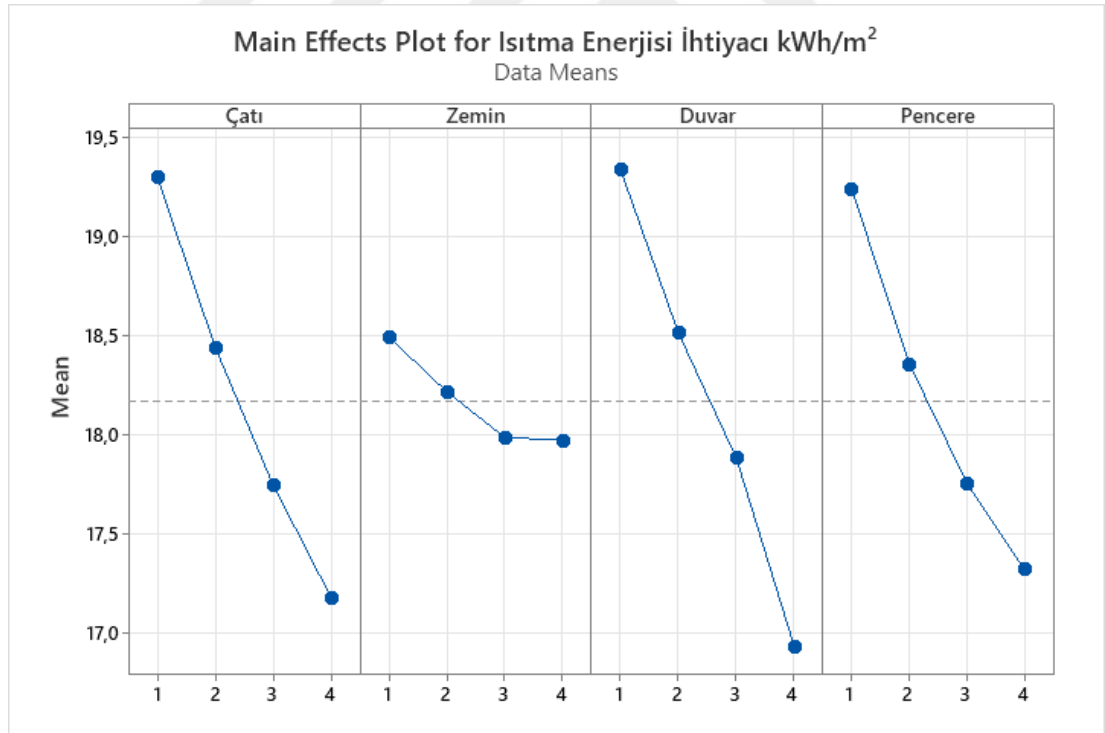
$y_{z1} > y_{z2} > y_{z3} > y_{z4}$ sıralamasına göre, ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından zeminin en etkin düzeyi 4. düzeyi, en az etkin düzeyi ise 1. düzeyidir. Isıtma enerjisi ihtiyacının az ise parametre etkin denilebileceği için 1. düzey etkin düzey belirlenmiştir.

Isıtma enerjisi ihtiyacı açısından en etkin senaryo; pencere için 4. düzey, duvar için 4. düzey, zemin için 4. düzey ve çatı için 4. düzeyi içeren senaryo olarak belirlenmiştir. Parametrelerin ısıtma enerjisi ihtiyacına etki açısından en etkin düzeylerinin kullanılması sonrasında oluşturulan senaryo Tablo 5.32'deki gibidir.

Tablo 5.32 2. sete ait ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından en etkin kombinasyon

Isıtma Enerjisi İhtiyacı Açısından En Etkin Kombinasyon				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzy	P4	D4	Z4	Ç4
Yalıtım Malzemesi	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K	EPS 200 mm.	XPS 150 mm.	Cam yünü 200 mm.
U-Değeri	0,6 (W/m ² K)	0,149 (W/m ² K)	0,203 (W/m ² K)	0,185 (W/m ² K)
Isıtma Enerjisi İhtiyacı	14,7964			

Minitab Statistical Software ile ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından parametrelerin etkilerini gösteren ana etki grafikleri çizilmiştir. Ana etki grafiklerinin eğim yönü ve eğim açısına göre parametrenin etki yönü ve etki büyüklüğü hakkında çıkarım yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 5.15 2. Set için parametre düzeylerinin ısıtma enerjisi ihtiyacını gösteren ana etki grafikleri

Şekil 5.15’de gösterilen ana etki grafiğine göre, ısıtma enerjisi ihtiyacına etki değişiminin en fazla duvarda yapılan iyileştirmeler ile en az ise zeminde yapılan

iyileştirmeler ile sağlandığı söylenebilmektedir. Faktörlerin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından en etkin oldukları düzeyleri saptamak amacıyla ana etkileri belirlenmiştir.

Tablo 5.33 Sonuçların ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından değerlendirilmesi

Senaryo	Ortalama Yıllık Karın Yatırım Tutarına Oranı	DENEY SETLERİ SİMULASYONU VE MALİYET ANALİZİ SONRASI ELDE EDİLEN DEĞERLERİN ANALİZİ												ORTALAMA YILLIK KARIN YATIRIM TUTARINA ORANI AÇISINDAN			
		ÇATI				ZEMİN				DUVAR				PENCERE			
		140	160	180	200	80	100	120	150	120	140	160	200	1,3	1,1	0,7	0,6
		Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Z1	Z2	Z3	Z4	D1	D2	D3	D4	P1	P2	P3	P4
1	0,13117	0,13117				0,13117				0,13117				0,13117			
2	0,13137		0,13137			0,13137					0,13137				0,13137		
3	0,12855			0,12855		0,12855						0,12855				0,12855	
4	0,12798				0,12798	0,12798							0,12798				0,12798
5	0,12256	0,12256					0,12256				0,12256					0,12256	
6	0,12296		0,12296				0,12296			0,12296							0,12296
7	0,12492			0,12492			0,12492						0,12492	0,12492			
8	0,12713				0,12713		0,12713					0,12713			0,12713		
9	0,11869	0,11869						0,11869				0,11869					0,11869
10	0,11809		0,11809					0,11809					0,11809			0,11809	
11	0,12318			0,12318				0,12318		0,12318					0,12318		
12	0,12352				0,12352			0,12352			0,12352			0,12352			
13	0,11555	0,11555							0,11555				0,11555		0,11555		
14	0,11664		0,11664						0,11664				0,11664	0,11664			
15	0,11568			0,11568					0,11568		0,11568						0,11568
16	0,11642				0,11642				0,11642	0,11642						0,11642	
		0,1220	0,1223	0,1231	0,1238	0,1298	0,1244	0,1209	0,1161	0,1234	0,1233	0,1228	0,1216	0,1241	0,1243	0,1214	0,1213
EN YÜKSEK DEĞER EN İYİ																	

Çatı için hesaplama yapılacak olursa, parametrenin düzeylerinin ayrı ayrı sonuca etkilerinin ortalamaları alınarak etkin düzey saptanabilmektedir.

$$Y_{\text{Ç1}} = (0,13117 + 0,12256 + 0,11869 + 0,11555) / 4 = 0,1220$$

$$Y_{\text{Ç2}} = (0,13137 + 0,12296 + 0,11809 + 0,11664) / 4 = 0,1223$$

$$Y_{\text{Ç3}} = (0,12855 + 0,12492 + 0,12318 + 0,11568) / 4 = 0,1231$$

$$Y_{\text{Ç4}} = (0,12798 + 0,12713 + 0,12352 + 0,11642) / 4 = 0,1238$$

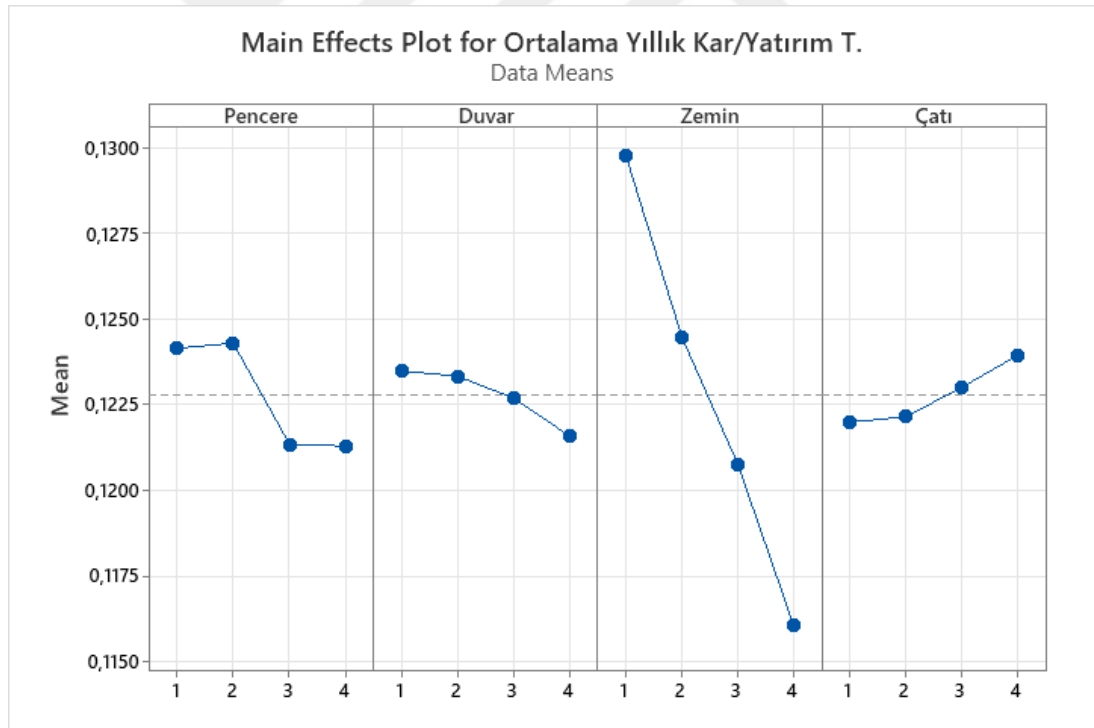
$Y_{\text{Ç1}} < Y_{\text{Ç2}} < Y_{\text{Ç3}} < Y_{\text{Ç4}}$ sıralamasına göre, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından çatının en etkin düzeyi 4. düzeyi, en az etkin düzeyi ise 1. düzeyidir.

Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından en etkin senaryo; pencere için 2. düzey, duvar için 1. düzey, zemin için 1. düzey ve çatı için 4. düzeyi içeren senaryo olarak belirlenmiştir. Parametrelerin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranına etki açısından en etkin düzeylerinin kullanılması sonrasında oluşturulan senaryo Tablo 5.34'deki gibidir.

Tablo 5.34 2. Set için Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından en etkin kombinasyon

Ortalama Yıllık Karın Yatırım Tutarına Oranı Açısından En Etkin Kombinasyon				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzey	P2	D1	Z1	Ç4
Yalıtım Malzemesi Isıcam 4+16+4 (Argon) K EPS 120 mm. XPS 80 mm. Cam yünü 200 mm.				
U-Değeri	1,1 (W/m ² K)	0,239 (W/m ² K)	0,342 (W/m ² K)	0,185 (W/m ² K)
Ortalama Yıllık Karın Yatırım Tutarına Oranı				0,13338

Minitab Statistical Software ile ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından parametrelerin etkilerini gösteren ana etki grafikleri çizilmiştir. Ana etki grafiklerinin eğim yönü ve eğim açısına göre parametrenin etki yönü ve etki büyüklüğü hakkında çıkarım yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 5.16 2. Set için parametre düzeylerinin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranını gösteren ana etki grafikleri

Şekil 5.16’ da gösterilen ana etki grafiğine göre, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı etki değişiminin en fazla duvarda yapılan iyileştirmeler ile en az ise

zeminde yapılan iyileştirmeler ile sağlandığı söylenebilmektedir. Minitab programı kullanılarak faktörlerin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından ana etki diyagramlarına ulaşılmıştır. Ana etki diyagramlarından faktörlerin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı üzerindeki etkin düzeyleri ve her bir faktörün sonuca katkısı görülebilmektedir.

3. 16'lı sete ait ana etki uygulaması

Deney tasarım yöntemi kullanılarak, çalışmanın bu bölümünde aynı parametreler ve seviyeler için üçüncü bir 16 lı set seçilmiştir. Seçilen sete ait simülasyon ve maliyet analizleri sonrasında elde edilen çıkarımlar çalışmanın devamında aktarılacaktır.

Seçilen ikinci sete ait senaryoların düzeyleri ve kullanım kombinasyonları Tablo 5.34'de aktarılmaktadır. İkinci sete ait senaryolardaki düzeylerin Design Builder Programına aktarılan karşılıkları ve elde edilen yapı bileşeni U-değerleri ise Tablo 5.35 ve Tablo 5.36'da gösterilmektedir.

Tablo 5.35 2. sete ait senaryoların düzeyleri ve kullanım kombinasyonları

	120	140	160	200	140	160	180	200	1,3	1,1	0,7	0,6	80	100	120	150
	Duvar				Çatı				Pencere				Zemin			
Senaryo	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	■				■				■				■			
2		■			■					■				■		
3			■		■						■				■	
4				■	■							■				■
5	■					■				■					■	
6		■				■			■							■
7			■			■						■	■	■		
8				■		■					■			■		
9	■						■					■				■
10		■					■					■			■	
11			■						■					■		
12				■						■			■			
13	■								■			■		■		
14		■								■		■		■		
15			■							■						■
16				■				■	■						■	
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Tablo 5.36 3. sete ait senaryolardaki düzeylerin Design Builder Programına aktarılan karşılıkları ve elde edilen yapı bileşeni U-değerleri

Senaryo	Duvar	Çatı	Pencere	Zemin
Mevcut	Yalıtım Yok	Yalıtım Yok	Tek cam	Yalıtım Yok
1	EPS 120 mm. 0,239 (W/m ² K)	Cam yünü 140 mm. 0,256 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 (Hava) K 1,3 (W/m ² K)	XPS 80 mm. 0,342 (W/m ² K)
2	EPS 140 mm. 0,208 (W/m ² K)	Cam yünü 140 mm. 0,256 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 (Argon) K 1,1 (W/m ² K)	XPS 100 mm. 0,286 (W/m ² K)
3	EPS 160 mm. 0,184 (W/m ² K)	Cam yünü 140 mm. 0,256 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 +16+4 (Hava) K 0,7 (W/m ² K)	XPS 120 mm. 0,246 (W/m ² K)
4	EPS 200 mm. 0,149 (W/m ² K)	Cam yünü 140 mm. 0,256 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K 0,6 (W/m ² K)	XPS 150 mm. 0,203 (W/m ² K)
5	EPS 120 mm. 0,239 (W/m ² K)	Cam yünü 160 mm. 0,227 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 (Argon) K 1,1 (W/m ² K)	XPS 120 mm. 0,246 (W/m ² K)
6	EPS 140 mm. 0,208 (W/m ² K)	Cam yünü 160 mm. 0,227 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 (Hava) K 1,3 (W/m ² K)	XPS 150 mm. 0,203 (W/m ² K)
7	EPS 160 mm. 0,184 (W/m ² K)	Cam yünü 160 mm. 0,227 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K 0,6 (W/m ² K)	XPS 80 mm. 0,342 (W/m ² K)
8	EPS 200 mm. 0,149 (W/m ² K)	Cam yünü 160 mm. 0,227 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 +16+4 (Hava) K 0,7 (W/m ² K)	XPS 100 mm. 0,286 (W/m ² K)

Tablo 5.36 Devamı

9	EPS 120 mm. 0,239 (W/m ² K)	Cam yünü 180 mm. 0,204 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 +16+4 (Hava) K 0,7 (W/m ² K)	XPS 150 mm. 0,203 (W/m ² K)
10	EPS 140 mm. 0,208 (W/m ² K)	Cam yünü 180 mm. 0,204 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K 0,6 (W/m ² K)	XPS 120 mm. 0,246 (W/m ² K)
11	EPS 160 mm. 0,184 (W/m ² K)	Cam yünü 180 mm. 0,204 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 (Hava) K 1,3 (W/m ² K)	XPS 100 mm. 0,286 (W/m ² K)
12	EPS 200 mm. 0,149 (W/m ² K)	Cam yünü 180 mm. 0,204 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 (Argon) K 1,1 (W/m ² K)	XPS 80 mm. 0,342 (W/m ² K)
13	EPS 120 mm. 0,239 (W/m ² K)	Cam yünü 200 mm. 0,185 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K 0,6 (W/m ² K)	XPS 100 mm. 0,286 (W/m ² K)
14	EPS 140 mm. 0,208 (W/m ² K)	Cam yünü 200 mm. 0,185 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 +16+4 (Hava) K 0,7 (W/m ² K)	XPS 80 mm. 0,342 (W/m ² K)
15	EPS 160 mm. 0,184 (W/m ² K)	Cam yünü 200 mm. 0,185 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 (Argon) K 1,1 (W/m ² K)	XPS 150 mm. 0,203 (W/m ² K)
16	EPS 200 mm. 0,149 (W/m ² K)	Cam yünü 200 mm. 0,185 (W/m ² K)	Isıcam 4+16+4 (Hava) K 1,3 (W/m ² K)	XPS 120 mm. 0,246 (W/m ² K)

Tablo 5.37 3. sete ait senaryoların enerji ihtiyacı değerleri

Senaryo	Yıllık Toplam Isıtma Enerjisi İhtiyacı	Yıllık Toplam Enerji İhtiyacı	Bina		
			Taban Alanı	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı
	kWh	[kWh]	m ²	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
1	2071,528	7183,28	94,9	21,83	75,6932
2	1885,969	7140,69	94,9	19,87	75,2444
3	1749,6	6939,37	94,9	18,44	73,1230
4	1614,668	6845,5	94,9	17,01	72,1338
5	1862,339	7234,93	94,9	19,62	76,2374
6	1868,514	7262,5	94,9	19,69	76,5279
7	1674,935	6596,59	94,9	17,65	69,5110
8	1597,933	6569,77	94,9	16,84	69,2283
9	1739,857	7053,36	94,9	18,33	74,3241
10	1618,851	6812,94	94,9	17,06	71,7907
11	1762,706	6889	94,9	18,57	72,5922
12	1619,052	6556,81	94,9	17,06	69,0918
13	1666,976	6768,58	94,9	17,57	71,3233
14	1657,966	6562,26	94,9	17,47	69,1492
15	1598,69	6963,94	94,9	16,85	73,3819
16	1596,407	6736,81	94,9	16,82	70,9885

Üçüncü set için de yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen enerji tasarrufu bulguları kullanılarak en etkin parametre-düzey kombinasyonuna ulaşmak hedeflenmiştir. Bu amaçla ilk olarak üçüncü sete ait sonuçlar enerji tasarrufu açısından değerlendirilmiştir.

Çalışmanın devamında üçüncü set için, enerji tasarrufu açısından değerlendirme, ısıtma enerjisi açısından değerlendirme, geri dönüş süresi açısından değerlendirme, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından değerlendirme yapılacaktır. Bu değerlendirmenin amacı, farklı parametre dizilimi ile seçilmiş üçüncü deney tasarım setinin ana etki yolu ile değerlendirmesi sonucunda aynı sonuçlara ulaşıldığının ifade edilmesidir.

İlk iki sette yapıldığı gibi bu aşamada da ana etki yöntemi ile değerlendirme yapılmış ve etki grafikleri çizilmiştir. Çalışmanın devamında birinci, ikinci ve üçüncü sette ulaşılan değerlerin aynı olduğu görülmüştür.

Tablo 5.38 3. Sete ait sonuçların enerji tasarrufu açısından değerlendirilmesi

TASAR RUF kWh	DENEY SETLERİ SİMULASYONU VE MALİYET ANALİZİ SONRASI ELDE EDİLEN DEĞERLERİN ANALİZİ												ENERJİ TASARRUFU AÇISINDAN			
	DUVAR				ÇATI				PENCERE				ZEMİN			
	120	140	160	200	140	160	180	200	1,3	1,1	0,7	0,6	80	100	120	150
	D1	D2	D3	D4	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	P1	P2	P3	P4	Z1	Z2	Z3	Z4
7719,12	7719,12				7719,12				7719,12				7719,12			
7761,71		7761,71			7761,71					7761,71				7761,71		
7963,03			7963,03		7963,03						7963,03				7963,03	
8056,9				8056,9	8056,9							8056,9				8056,9
7667,47	7667,47					7667,47				7667,47					7667,47	
7639,9		7639,9				7639,9			7639,9							7639,9
8305,81			8305,81			8305,81						8305,81	8305,81			
8332,63				8332,63		8332,63					8332,63			8332,63		
7849,04	7849,04						7849,04				7849,04					7849,04
8089,46		8089,46					8089,46					8089,46			8089,46	
8013,4			8013,4				8013,4		8013,4					8013,4		
8345,59				8345,59			8345,59			8345,59			8345,59			
8133,82	8133,82							8133,82				8133,82		8133,82		
8340,14		8340,14						8340,14			8340,14		8340,14			
7938,46			7938,46					7938,46		7938,46						7938,46
8165,59				8165,59				8165,59	8165,59						8165,59	
	7842,363	7957,803	8055,175	8225,178	7875,19	7986,453	8074,373	8144,503	7884,503	7928,308	8121,21	8146,498	8177,665	8060,39	7971,388	7871,075
	EN YÜKSEK DEĞER EN İYİ															

Çatı için hesaplama yapılacak olursa, parametrenin düzeylerinin ayrı ayrı sonuca etkilerinin ortalamaları alınarak etkin düzey saptanabilmektedir.

$$Y_{\text{Ç1}}=(7719,12+7761,71+7963,03+8056,9)/4=7875,19$$

$$Y_{\text{Ç2}}=(7667,47+7639,9+8305,81+8332,63)/4=7986,453$$

$$Y_{\text{Ç3}}=(7849,04+8089,46+8013,4+8345,59)/4=8074,37$$

$$Y_{\text{Ç4}}=(8133,82+8340,14+7938,46+8165,59)/4=8144,5$$

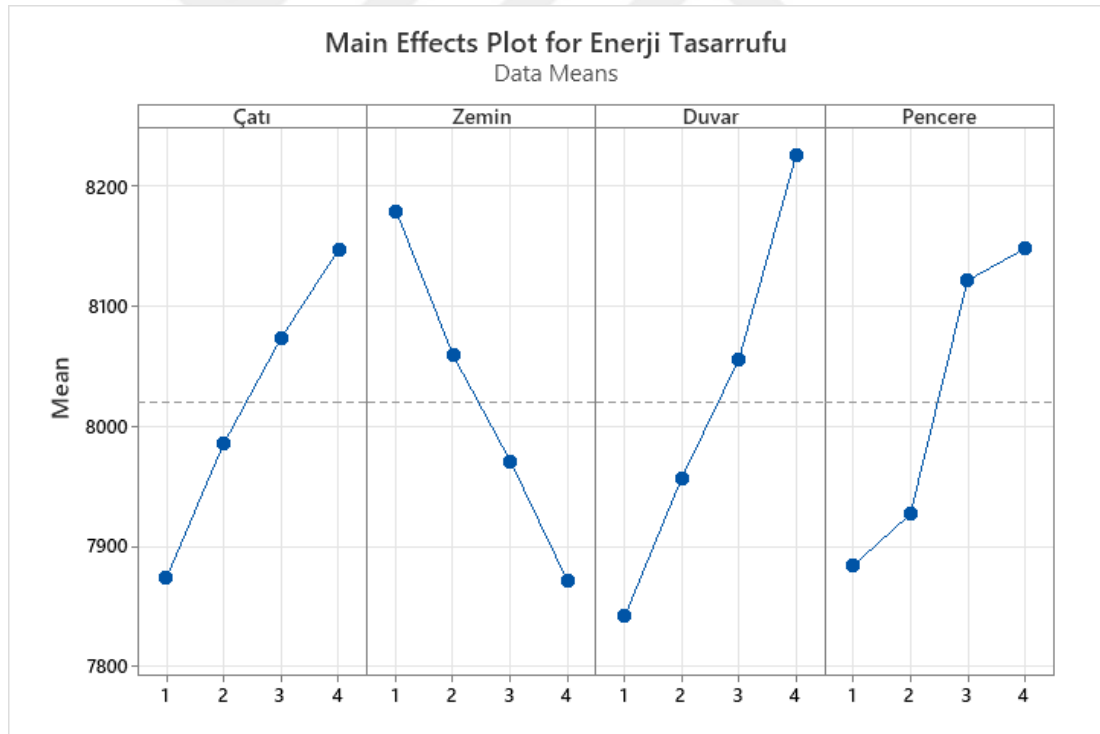
$y_{\text{Ç1}} < y_{\text{Ç2}} < y_{\text{Ç3}} < y_{\text{Ç4}}$ sıralamasına göre, enerji tasarrufu açısından çatının en etkin düzeyi 4. düzeyi, en az etkin düzeyi ise 1. düzeyidir.

Enerji tasarrufu açısından en etkin senaryo; pencere için 4. düzey, duvar için 4. düzey, zemin için 1. düzey ve çatı için 4. düzeyi içeren senaryo olarak belirlenmiştir. Parametrelerin enerji tasarrufuna etki açısından en etkin düzeylerinin kullanılması sonrasında oluşturulan senaryo Tablo 5.38'deki gibidir.

Tablo 5.39 3. Sette enerji tasarrufu açısından en etkin kombinasyon

Enerji Tasarrufu Açısından En Etkin Kombinasyon				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzey	P4	D4	Z1	Ç4
Yalıtım Malzemesi	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K	EPS 200 mm.	XPS 80 mm.	Cam yünü 200 mm.
U-Değeri	0,6 (W/m²K)	0,149 (W/m²K)	0,342 (W/m²K)	0,185 (W/m²K)
Enerji Tasarrufu	(m² için) 91,0463			

Minitab Statistical Software ile enerji tasarrufu açısından parametrelerin etkilerini gösteren ana etki grafikleri çizilmiştir. Ana etki grafiklerinin eğim yönü ve eğim açısına göre parametrenin etki yönü ve etki büyüklüğü hakkında çıkarım yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 5.17 3. Set için parametre düzeylerinin enerji tasarrufuna etkisini gösteren ana etki grafikleri

Şekil 5.17’de gösterilen ana etki grafiğine göre, enerji tasarrufuna etki değişiminin en fazla duvarda yapılan iyileştirmeler ile en az ise pencerede yapılan iyileştirmeler ile

sağlandığı söylenebilmektedir. Faktörlerin geri ödeme süresi açısından en etkin oldukları düzeyleri saptamak adına ana etkileri belirlenmiştir.

Tablo 5.40 3. Sete ait sonuçların geri ödeme süresi açısından değerlendirilmesi

Geri Ödeme Süresi	DENEY SETLERİ SİMULASYONU VE MALİYET ANALİZİ SONRASI ELDE EDİLEN DEĞERLERİN ANALİZİ												GERİ ÖDEME SÜRESİ AÇISINDAN			
	DUVAR				ÇATI				PENCERE				ZEMİN			
	120	140	160	200	140	160	180	200	1,3	1,1	0,7	0,6	80	100	120	150
	D1	D2	D3	D4	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	P1	P2	P3	P4	Z1	Z2	Z3	Z4
7,624	7,624				7,624				7,624				7,624			
7,962		7,962			7,962					7,962				7,962		
8,425			8,425		8,425						8,425				8,425	
8,826				8,826	8,826							8,826				8,826
8,183	8,183					8,183				8,183					8,183	
8,553		8,553				8,553			8,553							8,553
7,840			7,840			7,840						7,840	7,840			
8,233				8,233		8,233					8,233			8,233		
8,644	8,644						8,644				8,644					8,644
8,314		8,314					8,314					8,314			8,314	
7,927			7,927				7,927		7,927					7,927		
7,669				7,669			7,669			7,669			7,669			
8,022	8,022							8,022				8,022		8,022		
7,710		7,710						7,710			7,710		7,710			
8,437			8,437					8,437		8,437						8,437
8,195				8,195				8,195	8,496						8,195	
	8,118	8,135	8,157	8,231	8,209	8,202	8,138	8,091	8,150	8,063	8,253	8,250	7,711	8,036	8,279	8,615
	EN DÜŞÜK DEĞER EN İYİ															

Çatı için hesaplama yapılacak olursa, parametrenin düzeylerinin ayrı ayrı sonuç etkilerinin ortalamaları alınarak etkin düzey saptanabilmektedir.

$$y_{\text{ç1}} = (7,624+7,962+8,425+8,826)/4 = 8,209$$

$$y_{\text{ç2}} = (8,183+8,553+7,840+8,233)/4 = 8,202$$

$$y_{\text{ç3}} = (8,644+8,314+7,927+7,669)/4 = 8,138$$

$$y_{\text{ç4}} = (8,022+7,710+8,437+8,195)/4 = 8,091$$

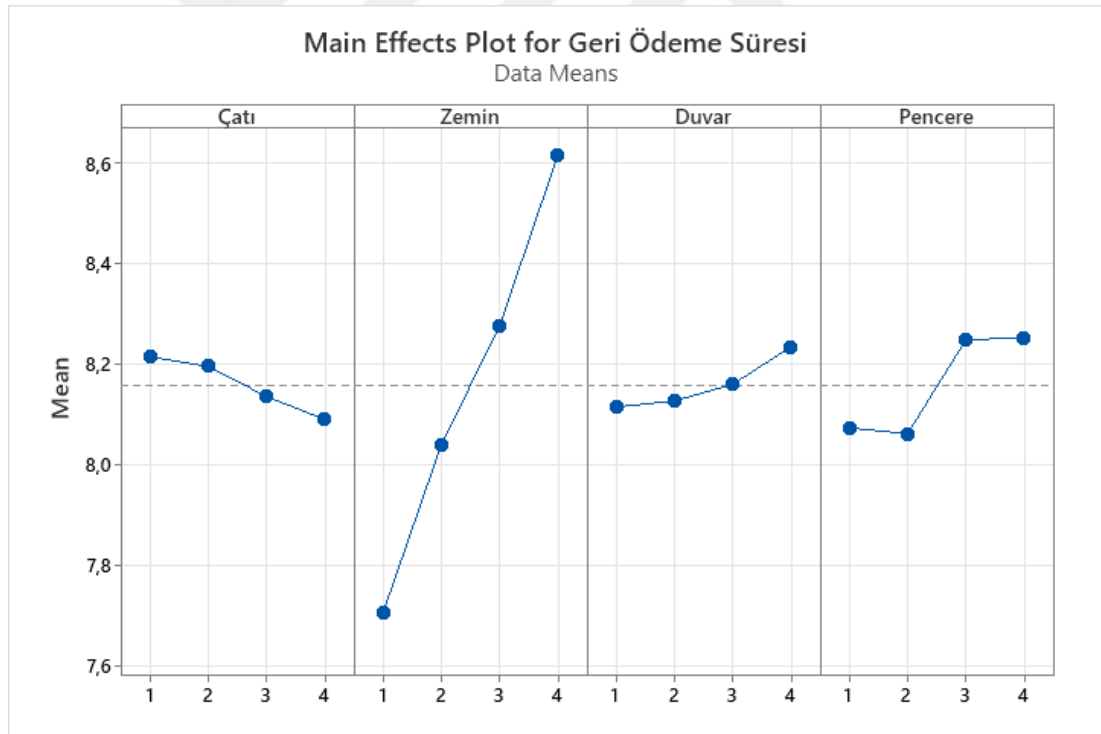
$y_{\text{ç4}} < y_{\text{ç3}} < y_{\text{ç2}} < y_{\text{ç1}}$ sıralamasına göre, geri ödeme süresi açısından çatının en etkin düzeyi 4. düzeyi, en az etkin düzeyi ise 1. düzeyidir. Geri ödeme süresinin azalması pozitif etki sağladığı için, en düşük ortalamayı sağlayan düzey seçilmelidir.

Geri ödeme süresi açısından en etkin senaryo; pencere için 2. düzey, duvar için 1. düzey, zemin için 1. düzey ve çatı için 4. düzeyi içeren senaryo olarak belirlenmiştir. Parametrelerin geri ödeme süresine etki açısından en etkin düzeylerinin kullanılması sonrasında oluşturulan senaryo aşağıdaki gibidir.

Tablo 5.41 3. Set için geri ödeme süresi açısından en etkin kombinasyon

Geri Ödeme Süresi Açısından En Etkin Kombinasyon				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzey	P2	D1	Z1	Ç4
Yalıtım Malzemesi	Isıcam 4+16+4 (Argon) K EPS 120 mm. XPS 80 mm. Cam yünü 200 mm.			
U-Değeri	1,1 (W/m ² K)	0,239 (W/m ² K)	0,342 (W/m ² K)	0,185 (W/m ² K)
Geri Ödeme Süresi	7,4971			

Minitab Statistical Software ile geri ödeme süresi açısından parametrelerin etkilerini gösteren ana etki grafikleri çizilmiştir. Ana etki grafiklerinin eğim yönü ve eğim açısına göre parametrenin etki yönü ve etki büyüklüğü hakkında çıkarım yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 5.18 3. Set için parametre düzeylerinin geri ödeme süresini gösteren ana etki grafikleri

Şekil 5.18’de gösterilen ana etki grafiğine göre, geri ödeme süresine etki değişiminin en fazla zeminde yapılan iyileştirmeler ile en az ise duvarda yapılan

iyileştirmeler ile sağlandığı söylenebilmektedir. Faktörlerin ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından en etkin oldukları düzeyleri saptamak amacıyla ana etkileri belirlenmiştir.

Tablo 5.42 3. Sete ait sonuçların ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından değerlendirilmesi

m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m]	DENEY SETLERİ SİMULASYONU VE MALİYET ANALİZİ SONRASI ELDE EDİLEN DEĞERLERİN ANALİZİ																ISITMA ENERJİSİ AÇISINDAN			
	DUVAR				ÇATI				PENCERE				ZEMİN							
	120	140	160	200	140	160	180	200	1,3	1,1	0,7	0,6	80	100	120	150				
	D1	D2	D3	D4	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	P1	P2	P3	P4	Z1	Z2	Z3	Z4				
21,83	21,83				21,83				21,83				21,83							
19,87		19,87			19,87					19,87				19,87						
18,44			18,44		18,44						18,44				18,44					
17,01				17,01	17,01							17,01				17,01				
19,62	19,62					19,62				19,62					19,62					
19,69		19,69				19,69			19,69							19,69				
17,65			17,65			17,65						17,65	17,65							
16,84				16,84		16,84					16,84			16,84						
18,33	18,33						18,33				18,33					18,33				
17,06		17,06					17,06					17,06			17,06					
18,57			18,57				18,57		18,57					18,57						
17,06				17,06			17,06			17,06			17,06							
17,57	17,57							17,57				17,57		17,57						
17,47		17,47						17,47			17,47		17,47							
16,85			16,85					16,85		16,85						16,85				
16,82				16,82				16,82	16,82							16,82				
	19,34	18,52	17,88	16,93	19,29	18,45	17,76	17,18	19,23	18,35	17,77	17,32	18,50	18,21	17,99	17,97				
																	EN DÜŞÜK DEĞER EN İYİ			

Çatı için hesaplama yapılacak olursa, parametrenin düzeylerinin ayrı ayrı sonuca etkilerinin ortalamaları alınarak etkin düzey saptanabilmektedir.

$$y_{ç1} = (21,83+19,87+18,44+17,01)/4=19,29$$

$$y_{ç2} = (19,62+19,69+17,65+16,84)/4=18,45$$

$$y_{ç3} = (18,33+17,06+18,57+17,06)/4=17,76$$

$$y_{ç4} = (17,57+17,47+16,85+16,82)/4=17,18$$

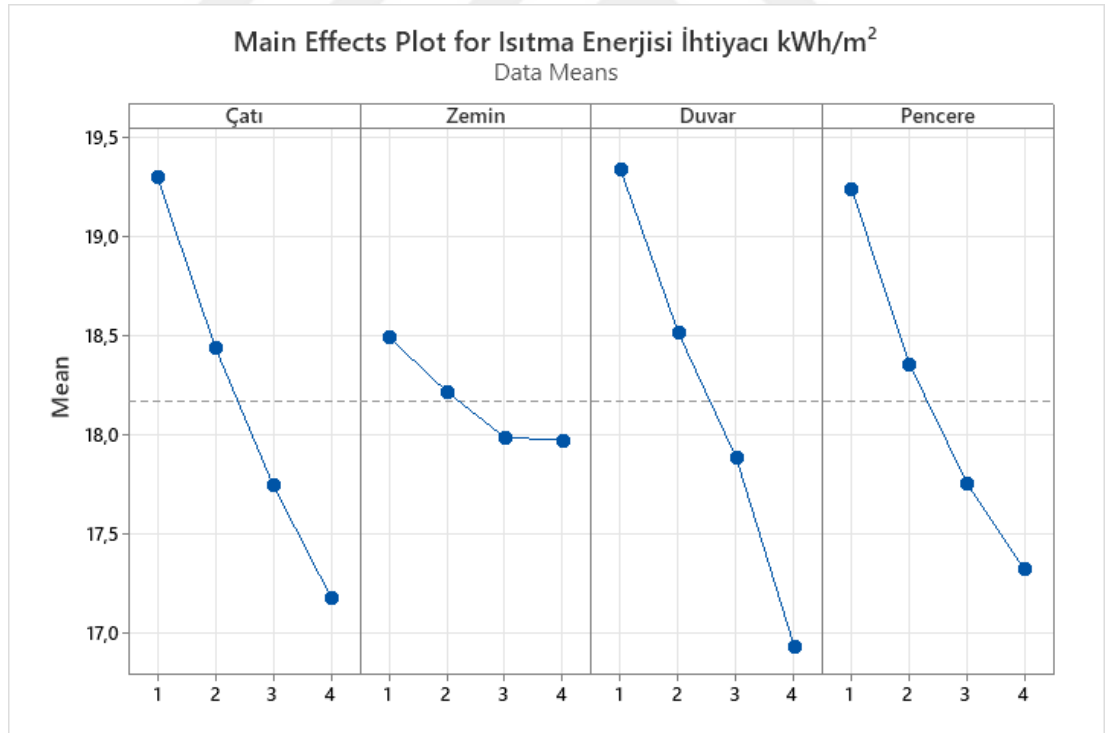
$y_{ç1} > y_{ç2} > y_{ç3} > y_{ç4}$ sıralamasına göre, ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından çatının en etkin düzeyi 4. düzeyi, en az etkin düzeyi ise 1. düzeyidir. Isıtma enerjisi ihtiyacının az ise parametre etkin denilebileceği için 1. düzey etkin düzey belirlenmiştir.

Isıtma enerjisi ihtiyacı açısından en etkin senaryo; pencere için 4. düzey, duvar için 4. düzey, zemin için 4. düzey ve çatı için 4. düzeyi içeren senaryo olarak belirlenmiştir. Parametrelerin ısıtma enerjisi ihtiyacına etki açısından en etkin düzeylerinin kullanılması sonrasında oluşturulan senaryo Tablo 5.32'deki gibidir.

Tablo 5.43 3. sete ait ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından en etkin kombinasyon

Isıtma Enerjisi İhtiyacı Açısından En Etkin Kombinasyon				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzy	P4	D4	Z4	Ç4
Yalıtım Malzemesi	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) K	EPS 200 mm.	XPS 150 mm.	Cam yünü 200 mm.
U-Değeri	0,6 (W/m ² K)	0,149 (W/m ² K)	0,203 (W/m ² K)	0,185 (W/m ² K)
Isıtma Enerjisi İhtiyacı	14,7964			

Minitab Statistical Software ile ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından parametrelerin etkilerini gösteren ana etki grafikleri çizilmiştir. Ana etki grafiklerinin eğim yönü ve eğim açısına göre parametrenin etki yönü ve etki büyüklüğü hakkında çıkarım yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 5.19 3. Set için parametre düzeylerinin ısıtma enerjisi ihtiyacını gösteren ana etki grafikleri

Şekil 5.19’da gösterilen ana etki grafiğine göre, ısıtma enerjisi ihtiyacına etki değişiminin en fazla duvarda yapılan iyileştirmeler ile en az ise zeminde yapılan

iyileştirmeler ile sağlandığı söylenebilmektedir. Faktörlerin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından en etkin oldukları düzeyleri saptamak amacıyla ana etkileri belirlenmiştir.

Tablo 5.44 3. Sete ait sonuçların ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından değerlendirilmesi

Senaryo	Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı	DENEY SETLERİ SİMULASYONU VE MALİYET ANALİZİ SONRASI ELDE EDİLEN DEĞERLERİN ANALİZİ												ORT. YILLIK KARIN YAT. TUTARINA ORANI AÇISINDAN			
		DUVAR				ÇATI				PENCERE				ZEMİN			
		120	140	160	200	140	160	180	200	1,3	1,1	0,7	0,6	80	100	120	150
		D1	D2	D3	D4	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	P1	P2	P3	P4	Z1	Z2	Z3	Z4
1	0,13117	0,13117				0,13117				0,13117				0,13117			
2	0,12560		0,12560			0,12560					0,12560				0,12560		
3	0,11870			0,11870		0,11870						0,11870				0,11870	
4	0,11330				0,11330								0,11330				0,11330
5	0,12220	0,12220					0,12220				0,12220					0,12220	
6	0,11692		0,11692				0,11692			0,11692							0,11692
7	0,12756			0,12756			0,12756						0,12756	0,12756			
8	0,12146				0,12146		0,12146					0,12146			0,12146		
9	0,11569	0,11569						0,11569				0,11569					0,11569
10	0,12028		0,12028					0,12028					0,12028			0,12028	
11	0,12616			0,12616				0,12616		0,12616					0,12616		
12	0,13039				0,13039			0,13039			0,13039			0,13039			
13	0,12466	0,12466							0,12466				0,12466		0,12466		
14	0,12970		0,12970						0,12970			0,12970		0,12970			
15	0,11853			0,11853					0,11853		0,11853						0,11853
16	0,12202				0,12202				0,12202	0,12202						0,12202	
		0,1234	0,1231	0,1227	0,1218	0,1222	0,1220	0,1231	0,1237	0,1241	0,1242	0,1214	0,1214	0,1297	0,1245	0,1208	0,1161
EN YÜKSEK DEĞER EN İYİ																	

Çatı için hesaplama yapılacak olursa, parametrenin düzeylerinin ayrı ayrı sonuca etkilerinin ortalamaları alınarak etkin düzey saptanabilmektedir.

$$Y_{ç1} = (0,13117+0,12560+0,11870+0,11330)/4=0,1222$$

$$Y_{ç2} = (0,12220+0,11692+0,12756+0,12146)/4=0,1220$$

$$Y_{ç3} = (0,11569+0,12028+0,12616+0,13039)/4=0,1231$$

$$Y_{ç4} = (0,12466+0,12970+0,11853+0,12202)/4=0,1237$$

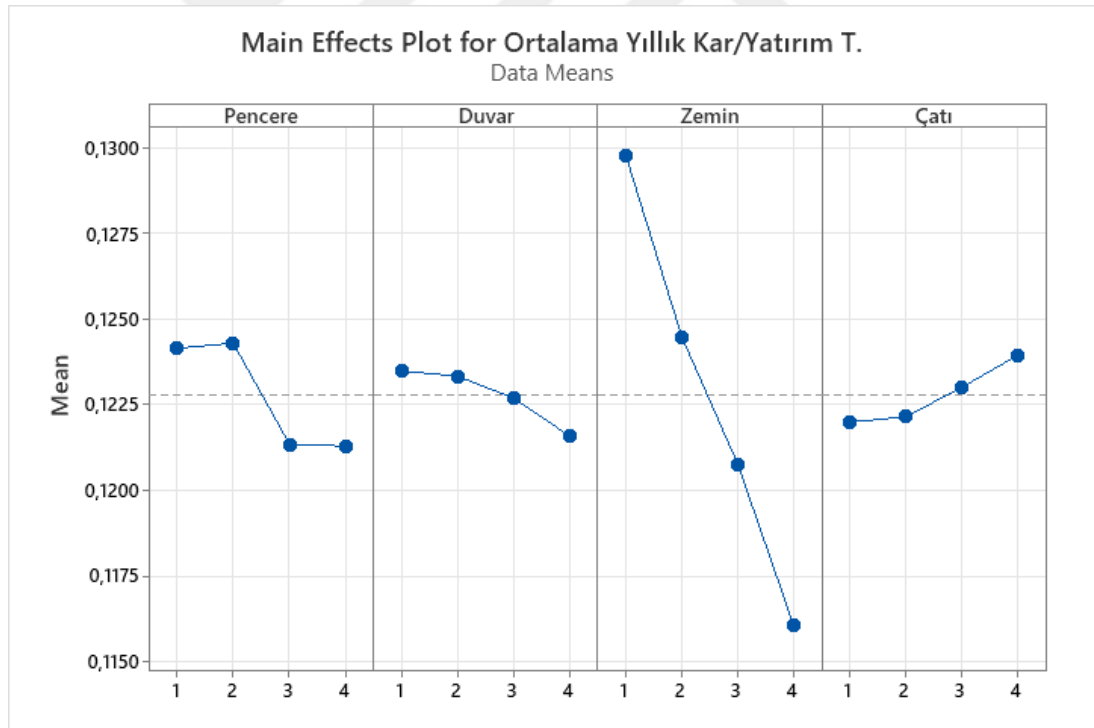
$y_{ç1} < y_{ç2} < y_{ç3} < y_{ç4}$ sıralamasına göre, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından çatının en etkin düzeyi 4. düzeyi, en az etkin düzeyi ise 1. düzeyidir.

Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından en etkin senaryo; pencere için 2. düzey, duvar için 1. düzey, zemin için 1. düzey ve çatı için 4. düzeyi içeren senaryo olarak belirlenmiştir. Parametrelerin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranına etki açısından en etkin düzeylerinin kullanılması sonrasında oluşturulan senaryo Tablo 5.44'deki gibidir.

Tablo 5.45 3.Sete ait ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından en etkin kombinasyon

Ortalama Yıllık Karın Yatırım Tutarına Oranı Açısından En Etkin Kombinasyon				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzey	P2	D1	Z1	Ç4
Yalıtım Malzemesi Isıcam 4+16+4 (Argon) K EPS 120 mm. XPS 80 mm. Cam yünü 200 mm.				
U-Değeri	1,1 (W/m ² K)	0,239 (W/m ² K)	0,342 (W/m ² K)	0,185 (W/m ² K)
Ortalama Yıllık Karın Yatırım Tutarına Oranı	0,13338			

Minitab Statistical Software ile ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından parametrelerin etkilerini gösteren ana etki grafikleri çizilmiştir. Ana etki grafiklerinin eğim yönü ve eğim açısına göre parametrenin etki yönü ve etki büyüklüğü hakkında çıkarım yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 5.20 3. Set için parametre düzeylerinin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranını gösteren ana etki grafikleri

Şekil 5.20’ de gösterilen ana etki grafiğine göre, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı etki değişiminin en fazla duvarda yapılan iyileştirmeler ile en az ise zeminde yapılan iyileştirmeler ile sağlandığı söylenebilmektedir.

Minitab programı kullanılarak faktörlerin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından ana etki diyagramlarına ulaşılmıştır. Ana etki diyagramlarından faktörlerin ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı üzerindeki etkin düzeyleri ve her bir faktörün sonuca katkısı görülebilmektedir.

Faktörlerin belirli kriterlere göre en etkin olduğu senaryolar ayrı ayrı belirlendikten sonra, tüm olası kombinasyonları içeren 256 senaryonun simülasyonu yapılarak enerji tüketim değerlerine ve maliyet analizleri yapılarak ilk yatırım, geri ödeme süresi ve ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı değerlerine ulaşılmıştır. Tablo 5.35’de tüm senaryoların sonuçları ve ele alınan kriterler açısından en iyi senaryolar gösterilmektedir.

Faktörlerin belirli kriterlere göre en etkin olduğu senaryolar ayrı ayrı belirlendikten sonra, tüm olası kombinasyonları içeren 256 senaryonun simülasyonu yapılarak enerji tüketim değerlerine ve maliyet analizleri yapılarak ilk yatırım, geri ödeme süresi ve ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı değerlerine ulaşılmıştır. Tablo 5.35’de tüm senaryoların sonuçları ve ele alınan kriterler açısından en iyi senaryolar gösterilmektedir.

Tablo 5.46 Tüm senaryoların sonuçları ve ele alınan kriterler açısından en iyi senaryolar

Parametreler					Sonuçlar						
	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m2]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m2]	m ² için Enerji Tasarrufu kWh/m ²	Tasarruf Yüzdesi %	Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (YIL)
1	4	4	3	1	438,1056	17,0461	71,0850	85,9476	54,7229	0,11771	8,4956
2	4	3	2	1	417,8939	18,2213	71,9182	85,1144	54,1922	0,12220	8,1830
3	4	3	2	4	425,1708	16,0726	69,0240	88,0086	56,0357	0,12420	8,0517
4	3	1	4	1	422,9728	19,9249	76,4326	80,6001	51,3168	0,11433	8,7463
5	2	3	2	3	402,9973	17,6834	72,1302	84,9024	54,0572	0,12641	7,9110
6	2	2	1	2	384,5033	19,3019	72,8455	84,1871	53,6016	0,13137	7,6121
7	4	1	4	1	424,3787	19,4846	76,1639	80,8688	51,4880	0,11433	8,7462
8	3	4	3	1	436,6997	17,4868	71,3483	85,6844	54,5552	0,11773	8,4943
9	3	4	3	2	441,3848	16,5973	70,1638	86,8689	55,3097	0,11809	8,4684
10	3	3	2	2	421,1731	17,7790	71,0084	86,0242	54,7717	0,12255	8,1600
11	2	4	2	2	414,2574	17,4433	71,2921	85,7406	54,5910	0,12418	8,0525
12	2	2	1	3	385,7992	18,6247	71,9232	85,1095	54,1891	0,13236	7, 5550
13	3	4	4	2	452,8684	16,5580	71,2046	85,8280	54,6467	0,11371	8,7941
14	3	4	2	2	433,7291	16,8381	69,2283	87,8043	55,9055	0,12146	8,2329

Tablo 5.46 Devamı

15	3	1	2	4	411,1104	18,0010	71,5955	85,4372	54,3978	0,12469	8,0197
16	2	4	4	3	434,6926	16,4674	72,3789	84,6537	53,8988	0,11685	8,5582
17	3	1	1	3	398,9191	18,8627	71,1548	85,8779	54,6785	0,12917	7,7420
18	1	4	4	3	433,2867	17,3706	72,8025	84,2301	53,6290	0,11664	8,5735
19	1	3	1	3	390,6959	18,8717	71,3576	85,6750	54,5493	0,13157	7,6003
20	4	1	2	4	412,5163	17,5656	71,3233	85,7094	54,5712	0,12466	8,0216
21	1	1	1	4	379,3373	19,7688	72,8849	84,1477	53,5765	0,13310	7,5133
22	3	4	4	3	454,1643	15,8340	70,2534	86,7792	55,2526	0,11464	8,7226
23	1	3	3	1	403,2660	19,9126	75,6098	81,4229	51,8409	0,12115	8,2546
24	4	2	1	3	406,6768	17,6005	69,6299	87,4027	55,6497	0,12895	7,7548
25	1	1	3	4	397,8885	19,2600	75,0269	82,0058	52,2122	0,12366	8,0866
26	3	3	3	4	431,4206	16,2677	70,2358	86,7968	55,2638	0,12071	8,2841
27	2	4	3	3	423,2090	16,5053	71,3187	85,7140	54,5741	0,12152	8,2291
28	1	4	3	2	420,5072	18,1062	72,6881	84,3446	53,7019	0,12035	8,3093
29	4	2	4	3	436,7116	17,0293	72,8366	84,1961	53,6073	0,11568	8,6447
30	3	3	2	1	416,4880	18,6603	72,1946	84,8380	54,0162	0,12222	8,1820
31	3	3	3	1	424,1437	18,4362	73,1230	83,9097	53,4249	0,11870	8,4246
32	1	4	3	4	423,0990	16,8220	70,9885	86,0442	54,7844	0,12202	8,1954
33	1	2	1	2	383,0974	20,1762	73,3243	83,7083	53,2966	0,13110	7,6276
34	3	2	3	1	417,8411	19,0826	74,1734	82,8592	52,7558	0,11898	8,4046
35	1	2	4	2	413,1322	19,6893	76,5279	80,5047	51,2561	0,11692	8,5530

Tablo 5.46 Devamı

36	2	1	4	3	409,4821	18,9318	76,3858	80,6469	51,3466	0,11817	8,4624
37	2	2	2	3	396,6946	18,3273	73,1756	83,8571	53,3914	0,12683	7,8843
38	3	3	1	2	410,2776	18,0829	69,7966	87,2360	55,5435	0,12758	7,8385
39	2	2	4	2	414,5381	18,7895	76,0978	80,9349	51,5301	0,11714	8,5365
40	3	4	4	1	448,1833	17,4599	72,3911	84,6415	53,8910	0,11331	8,8251
41	4	4	1	4	426,8313	15,4434	65,9864	91,0463	57,9704	0,12798	7,8135
42	3	1	4	3	428,9538	18,3336	74,3241	82,7085	52,6598	0,11569	8,6439
43	4	1	4	3	430,3597	17,8876	74,0660	82,9667	52,8242	0,11567	8,6452
44	2	2	3	2	403,0545	18,7950	75,0404	81,9923	52,2036	0,12206	8,1929
45	1	2	3	1	396,9634	20,5482	76,6409	80,3918	51,1841	0,12151	8,2298
46	2	1	1	3	379,4473	19,4369	73,1412	83,8915	53,4132	0,13265	7,5385
47	1	1	4	3	408,0762	19,8299	76,8135	80,2192	51,0742	0,11795	8,4784
48	4	3	2	2	422,5790	17,3430	70,7349	86,2978	54,9459	0,12253	8,1613
49	3	3	2	3	422,4690	17,0807	70,0660	86,9667	55,3720	0,12351	8,0964
50	2	4	4	4	435,9884	15,8803	71,6160	85,4166	54,3847	0,11755	8,5071
51	1	1	4	2	406,7803	20,5274	77,7322	79,3004	50,4890	0,11697	8,5494
52	3	1	2	1	403,8335	20,1245	74,4688	82,5639	52,5676	0,12267	8,1519
53	3	1	2	3	409,8145	18,5692	72,3666	84,6661	53,9066	0,12396	8,0673
54	3	3	4	3	441,6083	16,8124	72,0430	84,9897	54,1127	0,11547	8,6600
55	4	4	4	3	455,5702	15,3883	70,0003	87,0323	55,4138	0,11462	8,7242
56	2	1	4	4	410,7780	18,3590	75,6283	81,4043	51,8291	0,11890	8,4102

Tablo 5.46 Devamı

57	1	4	1	4	404,5478	17,3756	68,8081	88,2246	56,1732	0,13085	7,6424
58	1	4	4	4	434,5825	16,7825	72,0292	85,0035	54,1215	0,11736	8,5209
59	3	3	4	2	440,3124	17,5238	72,9843	84,0484	53,5132	0,11453	8,7313
60	1	1	3	2	395,2967	20,5118	76,6922	80,3405	51,1515	0,12194	8,2004
61	2	4	1	2	403,3619	17,7509	70,0249	87,0078	55,3982	0,12942	7,7265
62	4	3	4	4	444,3101	15,7819	71,0154	86,0173	54,7673	0,11616	8,6089
63	3	1	3	4	418,7661	17,7720	72,5198	84,5129	53,8090	0,12109	8,2584
64	4	4	3	2	442,7907	16,1564	69,9017	87,1310	55,4766	0,11807	8,4698
65	2	4	2	1	409,5722	18,3150	72,4508	84,5819	53,8530	0,12391	8,0705
66	2	2	2	1	390,7136	19,8732	75,2444	81,7883	52,0737	0,12560	7,9619
67	3	4	2	4	436,3209	15,5459	67,4948	89,5378	57,0097	0,12313	8,1217
68	3	3	1	3	411,5735	17,3905	68,8527	88,1800	56,1448	0,12855	7,7790
69	2	3	4	3	422,1366	17,4275	74,1405	82,8922	52,7768	0,11782	8,4877
70	4	3	3	2	430,2347	17,1081	71,6783	85,3544	54,3450	0,11903	8,4010
71	4	1	3	2	417,5802	18,6095	73,9568	83,0759	52,8938	0,11937	8,3775
72	3	2	1	2	403,9750	18,7268	70,8586	86,1741	54,8671	0,12799	7,8132
73	4	2	1	1	400,6958	19,1506	71,7413	85,2914	54,3049	0,12771	7,8299
74	2	1	4	2	408,1862	19,6293	77,3026	79,7300	50,7627	0,11720	8,5327
75	4	2	4	2	435,4157	17,7419	73,7745	83,2582	53,0099	0,11473	8,7162
76	1	4	1	2	401,9560	18,6396	70,5151	86,5176	55,0859	0,12914	7,7432
77	3	1	3	3	417,4702	18,3493	73,2907	83,7419	53,3180	0,12036	8,3087

Tablo 5.46 Devamı

78	4	2	2	3	417,5723	17,2938	70,8544	86, 1783	54,8698	0,12383	8,0757
79	4	4	2	2	435,1350	16,3991	68,9543	88,0784	56,0801	0,12145	8,2339
80	4	1	1	1	394,3439	19,9701	72,9660	84,0667	53,5249	0,12791	7,8181
81	1	1	3	3	396,5926	19,8235	75,7727	81,2600	51,7371	0,12294	8,1342
82	4	4	4	4	456,8661	14,7964	69,2244	87,8082	55,9080	0,11532	8,6717
83	4	4	4	2	454,2743	16,1124	70,9509	86,0818	54,8083	0,11370	8,7954
84	1	1	1	2	376,7455	20,9849	74,0178	83,0149	52,8549	0,13221	7,5638
85	3	4	1	1	418,1485	18,0251	69,1933	87,8394	55,9279	0,12604	7,9340
86	2	2	4	3	415,8339	18,0858	75,1740	81,8587	52,1185	0,11811	8,4665
87	2	1	3	4	399,2944	18,3698	74,5729	82,4597	52,5013	0,12391	8,0705
88	4	1	2	2	409,9245	18,8250	73,0258	84,0068	53,4867	0,12296	8,1328
89	2	4	2	3	415,5533	16,7456	70,3621	86,6706	55,1834	0,12514	7,9910
90	4	3	4	3	443,0142	16,3672	71,7879	85,2448	54,2752	0,11545	8,6616
91	1	3	1	1	384,7149	20,3998	73,4337	83,5989	53,2269	0,13038	7,6699
92	1	1	2	1	382,9559	21,5658	76,9188	80,1139	51,0072	0,12552	7,9669
93	3	4	3	4	443,9766	15,2971	68,4308	88,6019	56,4135	0,11974	8,3515
94	1	2	4	4	415,7239	18,4120	74,8514	82,1812	52,3239	0,11861	8,4310
95	4	3	1	1	406,9984	18,5138	70,6819	86,3508	54,9797	0,12730	7,8555
96	2	3	4	2	420,8407	18,1364	75,0663	81,9664	52,1871	0,11686	8,5572
97	4	1	1	2	399,0291	19,1179	71,8058	85,2269	54,2638	0,12815	7,8033
98	1	4	3	1	415,8220	18,9851	73,8527	83,1800	52,9601	0,12002	8,3318

Tablo 5.46 Devamı

99	1	2	4	1	408,4470	20,5662	77,6820	79,3507	50,5210	0,11656	8,5789
100	3	3	2	4	423,7649	16,5107	69,2976	87,7351	55,8614	0,12422	8,0501
101	3	4	2	3	435,0250	16,1285	68,2757	88,7570	56,5123	0,12242	8,1688
102	2	1	2	3	390,3428	19,1527	74,3868	82,6458	52,6199	0,12704	7,8718
103	3	2	4	4	436,6016	16,8875	72,3214	84,7113	53,9354	0,11641	8,5900
104	1	4	4	2	431,9908	18,0886	73,7411	83,2916	53,0311	0,11569	8,6441
105	1	4	3	3	421,8031	17,4015	71,7553	85,2773	54,2960	0,12130	8,2438
106	1	2	3	4	404,2404	18,4263	73,8110	83,2217	52,9867	0,12352	8,0957
107	4	2	1	4	407,9727	17,0375	68,8608	88,1719	56,1396	0,12967	7,7117
108	2	3	2	1	397,0162	19,2449	74,2145	82,8181	52,7296	0,12516	7,9897
109	1	3	4	3	420,7307	18,3327	74,5683	82,4644	52,5043	0,11760	8,5033
110	4	3	3	3	431,5306	16,4085	70,7447	86,2880	54,9397	0,11997	8,3351
111	2	2	2	2	395,3988	19,0152	74,0981	82,9346	52,8038	0,12585	7,9460
112	2	4	4	1	428,7115	18,0717	74,4720	82,5607	52,5656	0,11555	8,6545
113	4	4	1	2	424,2395	16,7191	67,7228	89,3099	56,8645	0,12631	7,9170
114	3	2	4	2	434,0098	18,1886	74,0369	82,9958	52,8428	0,11474	8,7155
115	4	3	1	2	411,6835	17,6495	69,5110	87,5217	55,7255	0,12756	7,8396
116	3	4	3	3	442,6807	15,8818	69,2117	87,8210	55,9161	0,11903	8,4012
117	2	3	3	1	404,6719	19,0221	75,1646	81,8681	52,1245	0,12138	8,2383
118	4	2	2	2	416,2764	17,9889	71,7948	85,2378	54,2708	0,12286	8,1395
119	3	3	4	4	442,9042	16,2252	71,2691	85,7635	54,6057	0,11618	8,6071

Tablo 5.46 Devamı

120	4	2	4	4	438,0075	16,4481	72,0683	84,9644	54,0966	0,11639	8,5920
121	1	4	2	4	415,4432	17,0609	70,0452	86,9875	55,3852	0,12563	7,9598
122	3	1	3	1	411,4892	19,9137	75,3860	81,6467	51,9834	0,11905	8,3998
123	3	3	1	4	412,8694	16,8236	68,0788	88,9538	56,6377	0,12927	7,7356
124	3	1	4	4	430,2497	17,7502	73,5533	83,4793	53,1508	0,11642	8,5899
125	2	4	1	4	405,9537	16,4927	68,3255	88,7072	56,4806	0,13111	7,6272
126	2	3	1	3	392,1018	17,9877	70,8711	86,1615	54,8592	0,13185	7,5846
127	2	4	1	1	398,6768	18,6186	71,1964	85,8362	54,6520	0,12918	7,7410
128	2	4	3	1	417,2279	18,0876	73,4091	83,6236	53,2426	0,12026	8,3156
129	2	3	1	1	386,1208	19,5264	72,9505	84,0822	53,5347	0,13066	7,6536
130	1	3	2	4	402,8872	18,0055	71,8287	85,2040	54,2493	0,12689	7,8808
131	2	4	4	2	433,3967	17,1796	73,3085	83,7241	53,3067	0,11591	8,6275
132	4	1	2	3	411,2204	18,1332	72,0915	84,9412	54,0819	0,12394	8,0687
133	2	1	2	2	389,0469	19,8411	75,3116	81,7211	52,0308	0,12603	7,9344
134	2	4	3	2	421,9131	17,2099	72,2491	84,7836	53,9815	0,12057	8,2939
135	1	1	2	3	388,9369	20,0435	74,8602	82,1725	52,3184	0,12676	7,8886
136	2	2	4	1	409,8529	19,6702	77,2563	79,7764	50,7922	0,11679	8,5625
137	1	2	2	3	395,2887	19,2130	73,6377	83,3949	53,0970	0,12658	7,8999
138	1	2	2	1	389,3077	20,7528	75,7092	81,3235	51,7776	0,12534	7,9786
139	3	1	4	2	427,6579	19,0436	75,2675	81,7651	52,0589	0,11472	8,7172
140	4	4	3	3	444,0866	15,4412	68,9527	88,0800	56,0811	0,11900	8,4031

Tablo 5.46 Devamı

141	3	1	1	1	392,9380	20,4007	73,2552	83,7774	53,3406	0,12792	7,8171
142	3	2	1	3	405,2709	18,0404	69,9224	87,1102	55,4634	0,12897	7,7540
143	4	1	3	1	412,8951	19,4801	75,1219	81,9107	52,1516	0,11903	8,4013
144	1	2	1	4	385,6892	18,9470	71,6522	85,3805	54,3617	0,13282	7,5288
145	4	1	2	1	405,2394	19,6891	74,1914	82,8413	52,7444	0,12266	8,1529
146	2	3	2	2	401,7014	18,3756	73,0551	83,9776	53,4681	0,12543	7,9724
147	3	1	1	4	400,2150	18,3011	70,3881	86,6446	55,1668	0,12990	7,6984
148	1	4	4	1	427,3056	18,9778	74,9062	82,1264	52,2890	0,11532	8,6717
149	4	4	1	3	425,5354	16,0202	66,7683	90,2644	57,4724	0,12727	7,8572
150	1	2	1	1	378,4123	21,0232	74,4748	82,5579	52,5638	0,13090	7,6393
151	3	3	3	2	428,8288	17,5488	71,9443	85,0884	54,1756	0,11905	8,3997
152	2	2	3	3	404,3504	18,1012	74,1248	82,9079	52,7868	0,12302	8,1285
153	1	2	2	4	396,5846	18,6506	72,8791	84,1535	53,5802	0,12732	7,8544
154	4	3	1	4	414,2753	16,3962	67,8011	89,2316	56,8146	0,12924	7,7378
155	2	1	2	4	391,6387	18,5941	73,6357	83,3969	53,0983	0,12777	7,8268
156	3	4	1	3	424,1295	16,4551	67,0521	89,9806	57,2917	0,12729	7,8559
157	1	3	2	3	401,5914	18,5744	72,5922	84,4405	53,7629	0,12616	7,9265
158	4	1	3	3	418,8761	17,9068	73,0198	84,0129	53,4906	0,12034	8,3098
159	1	2	1	3	384,3933	19,5092	72,4173	84,6154	53,8743	0,13208	7,5714
160	1	1	2	2	387,6410	20,7142	75,7727	81,2600	51,7371	0,12578	7,9506

Tablo 5.46 Devamı

161	3	2	1	1	399,2899	19,5824	72,0247	85,0080	54,1244	0,12774	7,8285
162	3	2	3	4	425,1180	16,9220	71,2882	85,7445	54,5935	0,12102	8,2633
163	1	3	1	4	391,9918	18,3090	70,5938	86,4389	55,0358	0,13231	7,5582
164	4	3	4	2	441,7183	17,0842	72,7299	84,3027	53,6752	0,11451	8,7328
165	2	3	3	4	411,9489	16,8808	72,3248	84,7079	53,9333	0,12338	8,1053
166	2	4	1	3	404,6578	17,0606	69,0918	87,9409	55,9925	0,13039	7,6691
167	4	1	1	4	401,6209	17,8685	70,1008	86,9318	55,3498	0,12987	7,6999
168	3	2	2	3	416,1664	17,7294	71,1257	85,9070	54,6970	0,12385	8,0740
169	3	1	2	2	408,5186	19,2640	73,3056	83,7271	53,3085	0,12297	8,1319
170	4	3	3	4	432,8265	15,8295	69,9751	87,0575	55,4299	0,12068	8,2862
171	2	1	2	1	384,3618	20,6868	76,4482	80,5845	51,3069	0,12579	7,9495
172	4	1	4	4	431,6556	17,3046	73,2915	83,7412	53,3175	0,11640	8,5911
173	3	2	1	4	406,5668	17,4707	69,1492	87,8835	55,9559	0,12970	7,7103
174	3	2	2	2	414,8705	18,4308	72,0743	84,9584	54,0928	0,12287	8,1387
175	1	2	3	3	402,9445	18,9940	74,5707	82,4620	52,5027	0,12279	8,1440
176	1	3	4	4	422,0266	17,7518	73,8048	83,2278	52,9905	0,11833	8,4512
177	3	3	3	3	430,1247	16,8481	71,0082	86,0244	54,7718	0,12000	8,3334
178	1	1	3	1	390,6116	21,3646	77,8278	79,2048	50,4281	0,12166	8,2194
179	3	2	4	1	429,3246	19,0770	75,2097	81,8230	52,0957	0,11435	8,7450

Tablo 5.46 Devamı

180	4	2	3	1	419,2470	18,6444	73,9032	83,1295	52,9279	0,11897	8,4055
181	4	2	2	4	418,8682	16,7205	70,0804	86,9523	55,3628	0,12455	8,0287
182	3	2	4	3	435,3057	17,4748	73,0953	83,9374	53,4425	0,11569	8,6435
183	2	1	4	1	403,5011	20,5004	78,4472	78,5855	50,0336	0,11686	8,5576
184	4	3	2	3	423,8749	16,6480	69,7968	87,2358	55,5434	0,12348	8,0983
185	2	1	3	2	396,7026	19,6242	76,2374	80,7953	51,4411	0,12220	8,1833
186	2	1	1	4	380,7432	18,8851	72,3904	84,6423	53,8915	0,13338	7,4971
187	1	4	1	3	403,2519	17,9447	69,5770	87,4556	55,6834	0,13013	7,6849
188	4	2	3	2	423,9321	17,7605	72,7280	84,3046	53,6764	0,11932	8,3810
189	1	1	1	3	378,0414	20,3115	73,6288	83,4039	53,1027	0,13237	7,5544
190	2	3	3	3	410,6530	17,4537	73,0834	83,9493	53,4501	0,12266	8,1528
191	2	3	2	4	404,2931	17,1153	71,3692	85,6634	54,5419	0,12713	7,8659
192	1	2	3	2	401,6486	19,6916	75,4968	81,5358	51,9128	0,12180	8,2101
193	2	3	1	4	393,3977	17,4268	70,1095	86,9232	55,3443	0,13257	7,5430
194	3	4	1	2	422,8336	17,1482	67,9962	89,0365	56,6903	0,12634	7,9150
195	1	3	2	1	395,6103	20,1255	74,6768	82,3558	52,4351	0,12490	8,0061
196	2	2	4	4	417,1298	17,5073	74,4172	82,6155	52,6005	0,11883	8,4151
197	2	1	1	1	373,4663	20,9520	75,1994	81,8333	52,1023	0,13147	7,6062
198	2	3	1	2	390,8059	18,6711	71,7946	85,2380	54,2709	0,13087	7,6415

Tablo 5.46 Devamı

199	4	1	1	3	400,3250	18,4309	70,8667	86,1660	54,8620	0,12914	7,7433
200	1	3	1	2	389,4000	19,5532	72,2830	84,7496	53,9599	0,13058	7,6579
201	1	1	1	1	372,0604	21,8285	75,6932	81,3395	51,7878	0,13117	7,6236
202	2	3	4	1	416,1555	19,0201	76,2174	80,8153	51,4539	0,11652	8,5824
203	2	2	1	1	379,8182	20,1500	73,9921	83,0406	52,8713	0,13118	7,6231
204	1	3	4	2	419,4348	19,0389	75,4957	81,5370	51,9136	0,11664	8,5735
205	3	3	4	1	435,6273	18,4199	74,1635	82,8691	52,7621	0,11414	8,7614
206	2	1	3	3	397,9985	18,9361	75,3264	81,7062	52,0214	0,12318	8,1185
207	1	3	3	3	409,2471	18,3487	73,5261	83,5065	53,1681	0,12243	8,1680
208	3	1	1	2	397,6232	19,5486	72,0905	84,9421	54,0825	0,12817	7,8018
209	3	1	3	2	416,1743	19,0427	74,2202	82,8124	52,7260	0,11939	8,3758
210	4	4	2	4	437,7268	15,1074	67,2227	89,8100	57,1830	0,12310	8,1232
211	3	2	3	2	422,5262	18,2053	73,0014	84,0313	53,5023	0,11933	8,3803
212	4	1	4	2	429,0638	18,5978	75,0013	82,0314	52,2285	0,11471	8,7175
213	1	4	1	1	397,2709	19,4982	71,6784	85,3543	54,3450	0,12891	7,7573
214	4	1	3	4	420,1720	17,3312	72,2506	84,7821	53,9805	0,12107	8,2598
215	4	2	3	3	425,2280	17,0585	71,7907	85,2419	54,2734	0,12028	8,3141
216	1	3	3	2	407,9512	19,0441	74,4543	82,5784	52,5769	0,12145	8,2336
217	4	3	3	1	425,5496	17,9900	72,8535	84,1791	53,5965	0,11869	8,4255

Tablo 5.46 Devamı

173

218	1	1	4	1	402,0952	21,3940	78,8838	78,1489	49,7556	0,11661	8,5754
219	4	4	2	1	430,4499	17,2822	70,1378	86,8948	55,3262	0,12112	8,2561
220	4	4	2	3	436,4309	15,6892	68,0022	89,0305	56,6865	0,12240	8,1701
221	1	2	4	3	414,4280	18,9874	75,6054	81,4273	51,8437	0,11789	8,4826
222	1	3	4	1	414,7496	19,9209	76,6538	80,3788	51,1759	0,11628	8,5999
223	4	4	4	1	449,5892	17,0144	72,1338	84,8988	54,0549	0,11330	8,8260
224	4	2	3	4	426,5239	16,4873	71,0283	86,0043	54,7590	0,12098	8,2656
225	2	4	2	4	416,8491	16,1686	69,5921	87,4406	55,6738	0,12586	7,9454
226	3	2	2	1	410,1853	19,2949	73,2430	83,7897	53,3484	0,12256	8,1590
227	2	2	2	4	397,9905	17,7627	72,4190	84,6137	53,8733	0,12756	7,8394
228	4	3	1	3	412,9794	16,9585	68,5699	88,4628	56,3249	0,12852	7,7807
229	3	4	2	1	429,0439	17,7138	70,4013	86,6314	55,1584	0,12115	8,2542
230	1	4	2	1	408,1663	19,2077	72,9164	84,1162	53,5564	0,12365	8,0873
231	3	2	3	3	423,8221	17,4988	72,0572	84,9754	54,1037	0,12030	8,3126
232	4	2	1	2	405,3809	18,2879	70,5663	86,4664	55,0533	0,12798	7,8138
233	4	4	1	1	419,5544	17,5860	68,9032	88,1295	56,1126	0,12603	7,9344
234	1	2	2	2	393,9928	19,8989	74,5610	82,4717	52,5089	0,12559	7,9622
234	3	2	2	4	417,4623	17,1587	70,3543	86,6784	55,1884	0,12458	8,0270
236	2	4	3	4	424,5049	15,9268	70,5565	86,4762	55,0596	0,12223	8,1815

Tablo 5.46 Devamı

237	2	2	3	1	398,3693	19,6666	76,1941	80,8386	51,4687	0,12175	8,2133
238	4	2	4	1	430,7305	18,6340	74,9485	82,0842	52,2621	0,11434	8,7457
239	1	4	2	3	414,1474	17,6348	70,8101	86,2226	54,8980	0,12492	8,0054
240	2	3	3	2	409,3571	18,1508	74,0099	83,0228	52,8599	0,12169	8,2178
241	3	4	1	4	425,4254	15,8791	66,2709	90,7617	57,7892	0,12801	7,8121
242	2	1	1	2	378,1514	20,1134	74,0593	82,9733	52,8285	0,13165	7,5958
243	4	4	3	4	445,3825	14,8564	68,1726	88,8601	56,5780	0,11971	8,3536
244	1	1	2	4	390,2328	19,4774	74,0984	82,9342	52,8036	0,12752	7,8422
245	2	1	3	1	392,0175	20,4820	77,3768	79,6558	50,7154	0,12192	8,2023
246	3	3	1	1	405,5925	18,9468	70,9675	86,0651	54,7977	0,12732	7,8544
247	3	4	4	4	442,9042	15,2419	69,4754	87,5572	55,7481	0,11534	8,6698
248	2	2	3	4	405,6463	17,5319	73,3698	83,6629	53,2677	0,12375	8,0810
249	4	3	4	1	437,0332	17,9746	73,9030	83,1297	52,9281	0,11413	8,7621
250	2	2	1	4	387,0951	18,0650	71,1646	85,8681	54,6722	0,13310	7,5134
251	1	1	4	4	409,3721	19,2587	76,0601	80,9726	51,5541	0,11868	8,4261
252	1	3	2	2	400,2955	19,2699	73,5255	83,5072	53,1685	0,12517	7,9892
253	2	3	4	4	423,4325	16,8460	73,3819	83,6508	53,2600	0,11853	8,4365
254	4	2	2	1	411,5912	18,8644	72,9734	84,0592	53,5201	0,12254	8,1607
255	1	4	2	2	412,8515	18,3361	71,7489	85,2838	54,3001	0,12394	8,0682
256	1	3	3	4	410,5430	17,7739	72,7620	84,2707	53,6548	0,12316	8,1195

5.8 Senaryo Sonuçlarının TOPSİS Yöntemi ile Sıralanması

Yapılan simülasyonlar sonucunda, 16 farklı senaryoya ait, enerji ihtiyaçları elde edilmiştir. Her bir senaryoya ait enerji ihtiyaç değerleri, mevcut yapının enerji ihtiyaçları ile karşılaştırılarak yapılmış olan enerji etkin iyileştirme sonucunda elde edilen tasarruflar belirlenmiştir. Ayrıca 16 senaryoya ait yatırım tutarları, yatırımların geri ödeme süreleri belirlenmiştir. Senaryoların sıralanması amacıyla uygulamada kullanılan TOPSİS yöntemi adımlar halinde açıklanmıştır. Çalışmada TOPSİS yönteminin uygulanması için tüm adımlar Excel programı kullanılarak yapılmıştır. TOPSİS yöntemi, deney tasarımı ile oluşturulmuş üç ayrı ortogonal dizi için uygulanmıştır.

1. 16'lı sete ait TOPSİS uygulaması

İlk set çalışmanın ana etki analizi aşamasında ilk olarak değerlendirilen settir. Sete ait parametre ve düzey kombinasyonları Tablo 5.46'da gösterilmektedir.

Tablo 5.47 1. 16'lı set için seçilen ortogonal dizide parametre ve düzey kombinasyonları

1. 16'lı set için seçilen ortogonal dizi				
Senaryo	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
1	1	1	1	1
2	2	1	2	2
3	3	1	3	3
4	4	1	4	4
5	1	2	2	3
6	2	2	1	4
7	3	2	4	1
8	4	2	3	2
9	1	3	3	4
10	2	3	4	3
11	3	3	1	2
12	4	3	2	1
13	1	4	4	2

Tablo 5.47 Devamı

14	2	4	3	1
15	3	4	2	4
16	4	4	1	3

Karar matrisinin oluşturulması;

TOPSİS yönteminde; senaryoların sıralanması sürecinde yararlanılacak değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi ve karar matrisi oluşturulması gerekmektedir.

Tablo 5.48 Karar matrisinin oluşturulması

	Senaryo	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Enerji Tasarrufu kWh/m ²	Tasarruf Yüzdesi %	Ort. yıllık karın yatırım tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)
ALTERNATİFLER	1	372,06	21,829	75,693	7719,120	51,788	0,131	7,62
	2	389,05	19,841	75,312	7755,330	52,031	0,126	7,93
	3	417,47	18,349	73,291	7947,110	53,318	0,120	8,31
	4	431,66	17,305	73,291	7947,040	53,318	0,116	8,59
	5	395,29	19,213	73,638	7914,180	53,097	0,127	7,90
	6	387,10	18,065	71,165	8148,880	54,672	0,133	7,51
	7	429,32	19,077	75,210	7765,000	52,096	0,114	8,74
	8	423,93	17,761	72,728	8000,510	53,676	0,119	8,38
	9	410,54	17,774	72,762	7997,290	53,655	0,123	8,12
	10	422,14	17,427	74,140	7866,470	52,777	0,118	8,49
	11	410,28	18,083	69,797	8278,700	55,544	0,128	7,84
	12	417,89	18,221	71,918	8077,360	54,192	0,122	8,18
	13	431,99	18,089	73,741	7904,370	53,031	0,116	8,64
	14	417,23	18,088	73,409	7935,880	53,243	0,120	8,32
	15	436,32	15,546	67,495	8497,140	57,010	0,123	8,12
	16	425,54	16,020	66,768	8566,090	57,472	0,127	7,86

İzmir ilinde mevcut bir yapının EnerPHit sertifikası alma amacıyla enerji etkin iyileştirmesine dair senaryoların değerlendirilmesinde; “m² için yatırım tutarı” kriterinde “TL” değeri, “m² için ısıtma enerjisi ihtiyacı” kriterinde “kWh/m²” değeri, “m² için toplam enerji ihtiyacı” kriterinde “kWh/m²” değeri, “m² için enerji tasarrufu” kriterinde “ kWh/m²” değeri, “tasarruf yüzdesi” kriterinde “yüzde” değeri, “ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı” kriterinde “yüzde” değeri, “geri ödeme süresi” kriterinde “yıl” değeri dikkate alınmıştır. Tablo 5.47’de kriterler ve kriterlerin

senaryolara göre aldığı değerlere ait karar matrisi gösterilmektedir. Sütunlar kriterleri, satırlar ise senaryoları temsil etmektedir.

Bağıl Değerlerin Hesaplanması

Bağıl değer, bir sütundaki tüm değerlerin kareleri toplamının karekökünün alınması ile elde edilmektedir.

Tablo 5.49 Bağıl değerlerin hesaplanması

	Senaryo	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Enerji Tasarrufu kWh/m ²	Tasarruf Yüzdesi %	Ort. yıllık karın yatırım tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)
ALTERNATİFLER	1	372,060	21,829	75,693	7719,120	51,788	0,131	7,624
	2	389,047	19,841	75,312	7755,330	52,031	0,126	7,934
	3	417,470	18,349	73,291	7947,110	53,318	0,120	8,309
	4	431,656	17,305	73,291	7947,040	53,318	0,116	8,591
	5	395,289	19,213	73,638	7914,180	53,097	0,127	7,900
	6	387,095	18,065	71,165	8148,880	54,672	0,133	7,513
	7	429,325	19,077	75,210	7765,000	52,096	0,114	8,745
	8	423,932	17,761	72,728	8000,510	53,676	0,119	8,381
	9	410,543	17,774	72,762	7997,290	53,655	0,123	8,120
	10	422,137	17,427	74,140	7866,470	52,777	0,118	8,488
	11	410,278	18,083	69,797	8278,700	55,544	0,128	7,838
	12	417,894	18,221	71,918	8077,360	54,192	0,122	8,183
	13	431,991	18,089	73,741	7904,370	53,031	0,116	8,644
	14	417,228	18,088	73,409	7935,880	53,243	0,120	8,316
	15	436,321	15,546	67,495	8497,140	57,010	0,123	8,122
	16	425,535	16,020	66,768	8566,090	57,472	0,127	7,857
Bağıl D. :		1656,02	72,89	290,26	32094,22	215,32	0,49	32,67

Her bir sütuna ait bağıl değer bir sonraki normalleştirme aşamasında kullanılmak üzere hesaplanmıştır. Hesaplanırken aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$B.D = \sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2} \quad (5.3)$$

“m² için yatırım tutarı” için bağıl değer; kendi sütunundaki 1-16 arasındaki tüm değerlerin kareleri toplamının karekökü alınarak 1786,80 olarak bulunmuştur. Tüm sütunlar için aynı işlem tekrarlanıp, tüm kriterlere ait bağıl değerler bulunmuştur.

Normalleştirme (Verilerin BD 'lere bölünerek 0-1 arası değerlere dönüşümü);

Bu aşamada kriterlerin senaryo seçimini negatif yönde mi pozitif yönde mi etkilediğine dair yönler belirlenmektedir. Örneğin “m² için yatırım tutarı” artması seçim için olumsuzluk oluşturduğundan “-“, “tasarruf yüzdesi” artması seçim için olumluluk sağladığı için “+” yönde tanımlanmıştır.

Her bir sütundaki her bir değer, kendi sütununa ait Bir önceki adımda belirlenmiş bağıl değere bölünmesiyle normalleştirme yapılmaktadır. Normalleştirilen değerler 0-1 arasında bulunmaktadır. Tablo 5.49’da her bir değer normalleştirilmiş değerleri gösterilmektedir.

Tablo 5.50 Normalleştirme (Verilerin BD 'lere bölünerek 0-1 arası değerlere dönüşümü)

YÖN :		-	-	-	+	+	+	-
ALTERNATİFLER	Senaryo	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Enerji Tasarrufu kWh/m ²	Tasarruf Yüzdesi %	Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)
	1	0,225	0,299	0,261	0,241	0,241	0,267	0,233
	2	0,235	0,272	0,259	0,242	0,242	0,256	0,243
	3	0,252	0,252	0,252	0,248	0,248	0,245	0,254
	4	0,261	0,237	0,253	0,248	0,248	0,237	0,263
	5	0,239	0,264	0,254	0,247	0,247	0,258	0,242
	6	0,234	0,248	0,245	0,254	0,254	0,271	0,230
	7	0,259	0,262	0,259	0,242	0,242	0,233	0,268
	8	0,256	0,244	0,251	0,249	0,249	0,243	0,257
	9	0,248	0,244	0,251	0,249	0,249	0,251	0,249
	10	0,255	0,239	0,255	0,245	0,245	0,240	0,260
	11	0,248	0,248	0,240	0,258	0,258	0,260	0,240
	12	0,252	0,250	0,248	0,252	0,252	0,249	0,250
	13	0,261	0,248	0,254	0,246	0,246	0,235	0,265
	14	0,252	0,248	0,253	0,247	0,247	0,245	0,255
	15	0,263	0,213	0,233	0,265	0,265	0,250	0,249
	16	0,257	0,220	0,230	0,267	0,267	0,259	0,240

Pozitifleştirme:

Pozitifleştirme aşamasında, değerlerin inceleme havuzuna katkılarının ortak ve pozitif hale getirilmesi sağlanmaktadır. +/- olarak belirlenmiş yönlerin tamamının pozitif hale getirilmesi ile inceleme ortak bir yönde yapılmış olmaktadır.

Uygulamada, “-“ yönde olan, “m² için yatırım tutarı”, “m² için ısıtma enerjisi ihtiyacı”, “m² için toplam enerji ihtiyacı”, “geri ödeme süresi”ne ait normalleştirilmiş değerler 1’den çıkartılarak pozitifleştirilmiştir. Pozitifleştirmeye ait değerler Tablo 5.50’da gösterilmektedir.

Tablo 5.51 Pozitifleştirme (Değerlerin inceleme havuzuna katkılarının ortak ve pozitif hale getirilmesi)

YÖN :		+	+	+	+	+	+	+
ALTERNATİFLER	Senaryo	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Enerji Tasarrufu kWh/m ²	Tasarruf Yüzdesi %	Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)
	1	0,775	0,701	0,739	0,241	0,241	0,267	0,767
	2	0,765	0,728	0,741	0,242	0,242	0,256	0,757
	3	0,748	0,748	0,748	0,248	0,248	0,245	0,746
	4	0,739	0,763	0,747	0,248	0,248	0,237	0,737
	5	0,761	0,736	0,746	0,247	0,247	0,258	0,758
	6	0,766	0,752	0,755	0,254	0,254	0,271	0,770
	7	0,741	0,738	0,741	0,242	0,242	0,233	0,732
	8	0,744	0,756	0,749	0,249	0,249	0,243	0,743
	9	0,752	0,756	0,749	0,249	0,249	0,251	0,751
	10	0,745	0,761	0,745	0,245	0,245	0,240	0,740
	11	0,752	0,752	0,760	0,258	0,258	0,260	0,760
	12	0,748	0,750	0,752	0,252	0,252	0,249	0,750
	13	0,739	0,752	0,746	0,246	0,246	0,235	0,735
	14	0,748	0,752	0,747	0,247	0,247	0,245	0,745
	15	0,737	0,787	0,767	0,265	0,265	0,250	0,751
	16	0,743	0,780	0,770	0,267	0,267	0,259	0,760
MAX		0,775	0,787	0,770	0,267	0,267	0,271	0,770
MIN		0,737	0,701	0,739	0,241	0,241	0,233	0,732

Negatif İdeal Çözüme Uzaklıkların Hesaplanması (d-)

Normalize edilmiş matristeki her bir sütuna ait minimum ve maksimum değerler bulunduğundan sonra, sütuna ait değerlerden, sütunun minimum değeri çıkarılarak sırasıyla negatif ideale olan uzaklık bulunmaktadır.

$$d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (5.4)$$

Senaryo 1 için negatif ideal çözüme uzaklık aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$d^- = \sqrt{(0,782 - 0,722)^2 + \dots + (0,274 - 0,222)^2 + (0,774 - 0,722)^2} = 0,095$$

Tüm senaryolar için ayrı ayrı negatif ideale olan uzaklıklar hesaplanmıştır. Tablo 5.51’de negatif ideale olan uzaklıklar gösterilmektedir.

Tablo 5.52 Negatif ideal çözüme uzaklıkların hesaplanması (d-)

Senaryo	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Enerji Tasarrufu kWh/m ²	Tasarruf Yüzdesi %	Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (YIL)	d-
1	0,039	-	-	-	-	0,034	0,034	0,062
2	0,029	0,027	0,001	0,001	0,001	0,024	0,025	0,052
3	0,011	0,048	0,008	0,007	0,007	0,012	0,013	0,054
4	0,003	0,062	0,008	0,007	0,007	0,004	0,005	0,064
5	0,025	0,036	0,007	0,006	0,006	0,025	0,026	0,058
6	0,030	0,052	0,016	0,013	0,013	0,038	0,038	0,084
7	0,004	0,038	0,002	0,001	0,001	-	-	0,038
8	0,007	0,056	0,010	0,009	0,009	0,010	0,011	0,060
9	0,016	0,056	0,010	0,009	0,009	0,018	0,019	0,065
10	0,009	0,060	0,005	0,005	0,005	0,007	0,008	0,062
11	0,016	0,051	0,020	0,017	0,017	0,027	0,028	0,074
12	0,011	0,049	0,013	0,011	0,011	0,016	0,017	0,060
13	0,003	0,051	0,007	0,006	0,006	0,003	0,003	0,053
14	0,012	0,051	0,008	0,007	0,007	0,012	0,013	0,057
15	-	0,086	0,028	0,024	0,024	0,018	0,019	0,100
16	0,007	0,080	0,031	0,026	0,026	0,026	0,027	0,101

Pozitif İdeal Çözüme Uzaklıkların Hesaplanması (d+)

Normalize edilmiş matristeki her bir sütuna ait minimum ve maksimum değerler bulunduğundan sonra, sütunun maksimum değerinden sütuna ait değer çıkarılarak sırasıyla pozitif ideale olan uzaklık bulunmaktadır.

$$d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (5.5)$$

Senaryo 1 için pozitif ideal çözüme uzaklık aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$d^+ = \sqrt{(0,782 - 0,782)^2 + \dots + (0,275 - 0,224)^2 + (0,775 - 0,774)^2} = 0,100$$

Hesaplamalar sonucunda elde edilen pozitif ideale olan uzaklıklar Tablo 5.52’de gösterilmektedir.

Tablo 5.53 Pozitif ideal çözüme uzaklıkların hesaplanması (d+)

Senaryo	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Enerji Tasarrufu kWh/m ²	Tasarruf Yüzdesi %	Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)	d+
1	-	0,086	0,031	0,026	0,026	0,004	0,003	0,099
2	0,010	0,059	0,029	0,025	0,025	0,014	0,013	0,078
3	0,027	0,038	0,022	0,019	0,019	0,026	0,024	0,069
4	0,036	0,024	0,022	0,019	0,019	0,034	0,033	0,073
5	0,014	0,050	0,024	0,020	0,020	0,013	0,012	0,067
6	0,009	0,035	0,015	0,013	0,013	-	-	0,043
7	0,035	0,048	0,029	0,025	0,025	0,038	0,038	0,092
8	0,031	0,030	0,021	0,018	0,018	0,028	0,027	0,067
9	0,023	0,031	0,021	0,018	0,018	0,020	0,019	0,057
10	0,030	0,026	0,025	0,022	0,022	0,031	0,030	0,071
11	0,023	0,035	0,010	0,009	0,009	0,011	0,010	0,047
12	0,028	0,037	0,018	0,015	0,015	0,022	0,020	0,062
13	0,036	0,035	0,024	0,021	0,021	0,035	0,035	0,080
14	0,027	0,035	0,023	0,020	0,020	0,026	0,025	0,067
15	0,039	-	0,003	0,002	0,002	0,020	0,019	0,048
16	0,032	0,007	-	-	-	0,012	0,011	0,037

Sonuç Tablosu

Contingency Coefficient değerlerinin (ideal çözüme göreceli yakınlık değeri) bulunarak, senaryolara ait performans puanlarının hesaplanması ve senaryo sıralamalarının yapılması aşamasında, pozitif ideale uzaklık ve negatif ideale uzaklık değerlerinden faydalanılır.

$$CC = \frac{d^-}{d^- + d^+} \quad (5.6)$$

Senaryo 1 için;

$$CC = \frac{0,095}{0,095 + 0,1} = 0,49 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

0 ile 1 arasında değişen sonuç değerler; 1'e yaklaştıkça ideale yaklaşıldığını ifade etmektedir. 0 ile 1 arasında elde edilen değerlerin yüzdesel karşılıkları bulunup ideallik yorumu yapılabilir.

Tablo 5.54 Performans puanlarının hesaplanması ve sıralama

Senaryo	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Enerji Tasarrufu kWh/m ²	Tasarruf Yüzdesi %	Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)	Contingency Coefficient	Performans %	SIRA
1	1,000	-	-	-	-	0,897	0,910	0,39	52,53%	15
2	0,736	0,316	0,043	0,043	0,043	0,623	0,658	0,402	54,71%	13
3	0,293	0,554	0,269	0,269	0,269	0,320	0,354	0,439	59,82%	12
4	0,073	0,720	0,269	0,269	0,269	0,109	0,125	0,465	63,42%	9
5	0,639	0,416	0,230	0,230	0,230	0,653	0,686	0,464	63,20%	10
6	0,766	0,599	0,507	0,507	0,507	1,000	1,000	0,661	90,10%	3
7	0,109	0,438	0,054	0,054	0,054	-	-	0,292	39,81%	16
8	0,193	0,648	0,332	0,332	0,332	0,265	0,296	0,476	64,83%	7
9	0,401	0,645	0,328	0,328	0,328	0,470	0,508	0,533	72,63%	5
10	0,221	0,701	0,174	0,174	0,174	0,185	0,209	0,468	63,81%	8
11	0,405	0,596	0,661	0,661	0,661	0,706	0,736	0,608	82,90%	4
12	0,287	0,574	0,423	0,423	0,423	0,419	0,456	0,491	66,92%	6
13	0,067	0,595	0,219	0,219	0,219	0,071	0,082	0,397	54,05%	14
14	0,297	0,595	0,256	0,256	0,256	0,315	0,349	0,458	62,39%	11
15	-	1,000	0,919	0,919	0,919	0,468	0,506	0,678	92,36%	2
16	0,168	0,925	1,000	1,000	1,000	0,689	0,721	0,734	100,00%	1

TOPSİS yöntemine ait tüm adımlar tamamlanıp, tüm senaryolara ait CC (Contingency Coefficient) değerleri bulunmuştur. Senaryolar, belirlenen kriterlere göre CC değerleri bulunarak sıralanmıştır. Bu sayede hem yatırım maliyeti, hem toplam enerji ihtiyacı, hem ısıtma enerjisi ihtiyacı hem edilen enerji tasarrufu hem de geri ödeme süreleri ve karlılık oranlarına göre bütüncül bir bakış açısıyla, tüm kriterleri göz önünde bulunduran bir sıralama yapılmıştır. Sıralama sonunda 16 numaralı senaryo birinci sırada, 15 numaralı senaryo ikinci sırada, 6 numaralı senaryo üçüncü sırada yer almıştır. Bütüncül değerlendirme sonucunda 7 numaralı senaryo seçim açısından en olumsuz senaryo olmuştur.

Senaryolarda farklılaşan malzemelerin yalıtım kalınlıklarının sadece enerji tüketimine etkisi araştırılmamış, maliyet, geri dönüş vb. açılardan da ele alınıp çok yönlü bir seçim yapılmıştır.

Tablo 5.55 İlk 16'lı set sonucunda en iyi performansa sahip senaryo

1. 16'lı set için TOPSIS sonucunda en iyi performansa sahip senaryo				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzey	P4	D4	Z1	Ç3
Yalıtım	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon)		XPS 80 mm.	Cam yünü 180 mm.
Malzemesi	K			
Tablo 5.56 Devamı				
U-Değeri	0,6 (W/m²K)	0,149 (W/m²K)	0,342 (W/m²K)	0,185 (W/m²K)

2. 16'lı sete ait TOPSIS uygulaması

Farklı ortogonal diziler, tüm senaryolar arasındaki en iyi performanslı olana farklı düzeylerde yakınlık göstermektedir. En iyiye yakınlık düzeyini gözlemlemek amacıyla ilk set için performans sıralaması yapıldıktan sonra, farklı bir ortogonal dizide performans sıralaması yapılmıştır.

Belirlenen alternatiflerin tamamı için ilk sette olduğu gibi; “m² için yatırım tutarı” kriterinde “TL” değeri, “m² için ısıtma enerjisi ihtiyacı” kriterinde “kWh/m²” değeri, “m² için toplam enerji ihtiyacı” kriterinde “kWh/m²” değeri, “m² için enerji tasarrufu” kriterinde “kWh/m²” değeri, “tasarruf yüzdesi” kriterinde “yüzde” değeri, “ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı” kriterinde “yüzde” değeri, “geri ödeme süresi” kriterinde “yıl” değeri dikkate alınmıştır.

Karar matrisi oluşturulduktan sonra, önceki bölümde açıklandığı ve bir önceki sette uygulandığı gibi TOPSIS yönteminin adımları uygulanmıştır. Bu adımlar daha önce açıklandığı için, 2. sete ait karar matrisi ve sonuç değerlere çalışmada yer verilmiştir. 2. set için performans puanları hesaplanarak elde edilen sıralama Tablo 5.57’de gösterilmektedir.

Tablo 5.56 2. 16'lı set için seçilen ortogonal dizide parametre ve düzey kombinasyonları

Senaryo	Çatı	Zemin	Duvar	Pencere
1	1	1	1	1
2	2	1	2	2
3	3	1	3	3
4	4	1	4	4
5	1	2	2	3
6	2	2	1	4
7	3	2	4	1
8	4	2	3	2
9	1	3	3	4
10	2	3	4	3
11	3	3	1	2
12	4	3	2	1
13	1	4	4	2
14	2	4	3	1
15	3	4	2	4
16	4	4	1	3

Tablo 5.57 2. Set için karar matrisinin oluşturulması

	Senaryo	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Enerji Tasarrufu kWh/m ²	Tasarruf Yüzdesi %	Ort. yıllık karın yatırım tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)
ALTERNATİFLER	1	372,06	21,829	75,693	7719,120	51,788	0,131	7,62
	2	384,50	19,302	72,846	7989,360	53,602	0,131	7,61
	3	411,57	17,390	68,853	8368,280	56,145	0,129	7,78
	4	426,83	15,443	65,986	8640,290	57,970	0,128	7,81
	5	410,19	19,295	73,243	7951,640	53,348	0,123	8,16
	6	409,92	18,825	73,026	7972,250	53,487	0,123	8,13
	7	414,15	17,635	70,810	8182,520	54,898	0,125	8,01
	8	404,29	17,115	71,369	8129,460	54,542	0,127	7,87
	9	425,55	17,990	72,854	7988,600	53,596	0,119	8,43
	10	441,38	16,597	70,164	8243,860	55,310	0,118	8,47
	11	398,00	18,936	75,326	7753,920	52,021	0,123	8,12
	12	404,24	18,426	73,811	7897,740	52,987	0,124	8,10
	13	428,71	18,072	74,472	7835,010	52,566	0,116	8,65
	14	419,43	19,039	75,496	7737,860	51,914	0,117	8,57
	15	436,71	17,029	72,837	7990,210	53,607	0,116	8,64
	16	430,25	17,750	73,553	7922,190	53,151	0,116	8,59

Sıralama sonunda 4 numaralı senaryo birinci sırada, 3 numaralı senaryo ikinci sırada, 8 numaralı senaryo üçüncü sırada yer almıştır. Bütüncül değerlendirme sonucunda 14 numaralı senaryo seçim açısından en olumsuz senaryo olmuştur.

Tablo 5.58 Performans puanlarının hesaplanması ve sıralama

ALTERNATİFLER	Senaryo	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Enerji Tasarrufu kWh/m ²	Tasarruf Yüzdesi %	Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)	Contingency Coefficient	Performans %	SIRA
	1	1	0	0	0	0	0,987439	0,988935	0,374975	0,493409	15
	2	0,820512	0,395699	0,293366	0,293366	0,293366	1	1	0,512154	0,673915	6
	3	0,430026	0,695058	0,704712	0,704712	0,704712	0,821796	0,839822	0,674904	0,888069	2
	4	0,209933	1	1	1	1	0,78602	0,806814	0,759968	1	1
	5	0,45005	0,396808	0,252418	0,252418	0,252418	0,443432	0,475294	0,386634	0,508751	14
	6	0,453813	0,470393	0,274792	0,274792	0,274792	0,468449	0,500492	0,434018	0,5711	10
	7	0,392899	0,656799	0,503056	0,503056	0,503056	0,592084	0,622677	0,584316	0,768868	4
	8	0,535045	0,738149	0,445455	0,445455	0,445455	0,732064	0,756477	0,647343	0,851802	3
	9	0,228422	0,601171	0,292541	0,292541	0,292541	0,198474	0,219682	0,445768	0,586562	9
	10	0	0,819287	0,569645	0,569645	0,569645	0,160447	0,178497	0,554823	0,73006	5
	11	0,625845	0,452994	0,037778	0,037778	0,037778	0,482111	0,514185	0,412674	0,543015	12
	12	0,535806	0,53284	0,193906	0,193906	0,193906	0,50407	0,536092	0,46784	0,615605	8
	13	0,182811	0,588363	0,125807	0,125807	0,125807	0	0	0,391977	0,51578	13
	14	0,316628	0,436887	0,020344	0,020344	0,020344	0,068961	0,077671	0,31702	0,417149	16
	15	0,067411	0,751619	0,294289	0,294289	0,294289	0,008229	0,009345	0,47967	0,63117	7
	16	0,160623	0,638723	0,220448	0,220448	0,220448	0,054857	0,061904	0,431928	0,56835	11

Tablo 5.59 İkinci 16'lı set sonucunda en iyi performansa sahip senaryo

2. 16'lı set için TOPSIS sonucunda en iyi performansa sahip senaryo				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzy	P4	D4	Z1	Ç4
Yalıtım	Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon)		Cam yünü 200	
Malzemesi	K		EPS 200 mm.	XPS 80 mm.
U-Değeri	0,6 (W/m ² K)	0,149 (W/m ² K)	0,342 (W/m ² K)	0,185 (W/m ² K)

3. 16'lı sete ait TOPSIS uygulaması

Farklı ortogonal diziler, tüm senaryolar arasındaki en iyi performanslı olana farklı düzeylerde yakınlık göstermektedir. En iyiye yakınlık düzeyini gözlemlemek amacıyla ilk iki set için performans sıralaması yapıldıktan sonra, farklı bir ortogonal dizide performans sıralaması yapılmıştır.

Tablo 5.60 3. 16'lı set için seçilen ortogonal dizide parametre ve düzey kombinasyonları

Senaryo	Duvar	Çatı	Pencere	Zemin
1	1	1	1	1
2	2	1	2	2
3	3	1	3	3
4	4	1	4	4
5	1	2	2	3
6	2	2	1	4
7	3	2	4	1
8	4	2	3	2
9	1	3	3	4
10	2	3	4	3
11	3	3	1	2
12	4	3	2	1
13	1	4	4	2
14	2	4	3	1
15	3	4	2	4
16	4	4	1	3

Tablo 5.61 3. Set için karar matrisinin oluşturulması

ALTERNATİFLER	Senaryo	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Enerji Tasarrufu kWh/m ²	Tasarruf Yüzdesi %	Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (YIL)
	1	372,0604025	21,8285	75,6932	81,3395	51,7878	0,13117	7,62361
	2	390,713608	19,8732	75,2444	81,7883	52,0737	0,1256	7,96189
	3	424,1436754	18,4362	73,123	83,9097	53,4249	0,1187	8,42461
	4	449,5891549	17,0144	72,1338	84,8988	54,0549	0,1133	8,82598
	5	396,7026154	19,6242	76,2374	80,7953	51,4411	0,1222	8,18329
	6	413,1321538	19,6893	76,5279	80,5047	51,2561	0,11692	8,55296
	7	411,683549	17,6495	69,511	87,5217	55,7255	0,12756	7,83965
	8	433,7290917	16,8381	69,2283	87,8043	55,9055	0,12146	8,23287
	9	428,9538166	18,3336	74,3241	82,7085	52,6598	0,11569	8,64388
	10	425,2279916	17,0585	71,7907	85,2419	54,2734	0,12028	8,31414
	11	401,5913572	18,5744	72,5922	84,4405	53,7629	0,12616	7,92652
	12	404,6578061	17,0606	69,0918	87,9409	55,9925	0,13039	7,66913
	13	412,5163035	17,5656	71,3233	85,7094	54,5712	0,12466	8,02161
	14	406,5668114	17,4707	69,1492	87,8835	55,9559	0,1297	7,71034
	15	423,4324531	16,846	73,3819	83,6508	53,26	0,11853	8,43651
	16	423,0989652	16,822	70,9885	86,0442	54,7844	0,12202	8,19538

Belirlenen alternatiflerin tamamı için ilk sette olduğu gibi; “m² için yatırım tutarı” kriterinde “TL” değeri, “m² için ısıtma enerjisi ihtiyacı” kriterinde “kWh/m²” değeri, “m² için toplam enerji ihtiyacı” kriterinde “kWh/m²” değeri, “m² için enerji tasarrufu” kriterinde “ kWh/m²” değeri, “tasarruf yüzdesi” kriterinde “yüzde” değeri, “ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı” kriterinde “yüzde” değeri, “geri ödeme süresi” kriterinde “yıl” değeri dikkate alınmıştır.

Karar matrisi oluşturulduktan sonra, önceki bölümde açıklandığı ve daha önceki setlerde uygulandığı gibi TOPSIS yönteminin adımları uygulanmıştır. Bu adımlar daha önce açıklandığı için, 3. sete ait karar matrisi ve sonuç değerlere çalışmada yer verilmiştir. 3. set için performans puanları hesaplanarak elde edilen sıralama Tablo 5.61’de gösterilmektedir.

Sıralama sonunda 12 numaralı senaryo birinci sırada, 14 numaralı senaryo ikinci sırada, 7 numaralı senaryo üçüncü sırada yer almıştır. Bütüncül değerlendirme sonucunda 6 numaralı senaryo seçim açısından en olumsuz senaryo olmuştur.

Tablo 5.62 Performans puanlarının hesaplanması ve sıralama

ALTERNATİFLER	Senaryo	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Enerji Tasarrufu kWh/m ²	Tasarruf Yüzdesi %	Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)	Contingency Coefficient	Performans %	SIRA
	1	1,000	-	0,112	0,112	0,112	1,000	1,000	0,4745	57,424%	13
	2	0,759	0,391	0,173	0,173	0,173	0,688	0,719	0,5050	61,117%	10
	3	0,328	0,678	0,458	0,458	0,458	0,302	0,334	0,4925	59,603%	12
	4	-	0,962	0,591	0,591	0,591	-	-	0,4946	59,864%	11
	5	0,682	0,440	0,039	0,039	0,039	0,498	0,535	0,4543	54,988%	14
	6	0,470	0,427	-	-	-	0,202	0,227	0,3421	41,407%	16
	7	0,489	0,835	0,944	0,944	0,944	0,798	0,820	0,7470	90,407%	3
	8	0,205	0,997	0,982	0,982	0,982	0,457	0,493	0,6439	77,935%	7
	9	0,266	0,698	0,296	0,296	0,296	0,134	0,151	0,4376	52,958%	15
	10	0,314	0,953	0,637	0,637	0,637	0,390	0,426	0,6152	74,458%	8
	11	0,619	0,650	0,529	0,529	0,529	0,719	0,748	0,6440	77,943%	6
	12	0,580	0,952	1,000	1,000	1,000	0,956	0,962	0,8262	100,000%	1
	13	0,478	0,851	0,700	0,700	0,700	0,636	0,669	0,6910	83,639%	4
	14	0,555	0,870	0,992	0,992	0,992	0,917	0,928	0,7966	96,420%	2
	15	0,337	0,995	0,423	0,423	0,423	0,293	0,324	0,5836	70,639%	9
	16	0,342	1,000	0,745	0,745	0,745	0,488	0,524	0,6621	80,141%	5

Tablo 5.63 Üçüncü 16'lı set sonucunda en iyi performansa sahip senaryo

3. 16'lı set için TOPSIS sonucunda en iyi performansa sahip senaryo				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzey	P2	D4	Z1	Ç3
Yalıtım Malzemesi	Isıcam 4+16+4 (Argon) K EPS 200 mm. XPS 80 mm. Cam yünü 180 mm.			
U-Değeri	1,1 (W/m ² K)	0,149 (W/m ² K)	0,342 (W/m ² K)	0,185 (W/m ² K)

Üç farklı alternatifin, tüm alternatifler arasındaki en iyiye yaklaşımı hakkında çıkarımda bulunmak için tüm senaryoları içeren TOPSIS yapılmış ve tüm senaryo kombinasyonları performansa göre sıralanmıştır. Tüm senaryoları içeren karar matrisi ve performans sıralamaları; Tablo 5.63 ve Tablo 5.64'de gösterilmektedir.

Tablo 5.64 Tüm senaryolar için TOPSIS karar matrisi

Senaryo	TOPSIS Karar Matrisi						
	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Enerji Tasarrufu [kWh/m ²]	Tasarruf Yüzdesi (%)	Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (YIL)
1	438,1056	17,0461	71,0850	85,9476	54,7229	0,11771	8,4956
2	417,8939	18,2213	71,9182	85,1144	54,1922	0,12220	8,1830
3	425,1708	16,0726	69,0240	88,0086	56,0357	0,12420	8,0517
4	422,9728	19,9249	76,4326	80,6001	51,3168	0,11433	8,7463
5	402,9973	17,6834	72,1302	84,9024	54,0572	0,12641	7,9110
6	384,5033	19,3019	72,8455	84,1871	53,6016	0,13137	7,6121
7	424,3787	19,4846	76,1639	80,8688	51,4880	0,11433	8,7462
8	436,6997	17,4868	71,3483	85,6844	54,5552	0,11773	8,4943
9	441,3848	16,5973	70,1638	86,8689	55,3097	0,11809	8,4684
10	421,1731	17,7790	71,0084	86,0242	54,7717	0,12255	8,1600
11	414,2574	17,4433	71,2921	85,7406	54,5910	0,12418	8,0525
12	385,7992	18,6247	71,9232	85,1095	54,1891	0,13236	7,5550
13	452,8684	16,5580	71,2046	85,8280	54,6467	0,11371	8,7941
14	433,7291	16,8381	69,2283	87,8043	55,9055	0,12146	8,2329
15	411,1104	18,0010	71,5955	85,4372	54,3978	0,12469	8,0197
16	434,6926	16,4674	72,3789	84,6537	53,8988	0,11685	8,5582
17	398,9191	18,8627	71,1548	85,8779	54,6785	0,12917	7,7420
18	433,2867	17,3706	72,8025	84,2301	53,6290	0,11664	8,5735
19	390,6959	18,8717	71,3576	85,6750	54,5493	0,13157	7,6003
20	412,5163	17,5656	71,3233	85,7094	54,5712	0,12466	8,0216
21	379,3373	19,7688	72,8849	84,1477	53,5765	0,13310	7,5133
22	454,1643	15,8340	70,2534	86,7792	55,2526	0,11464	8,7226
23	403,2660	19,9126	75,6098	81,4229	51,8409	0,12115	8,2546
24	406,6768	17,6005	69,6299	87,4027	55,6497	0,12895	7,7548
25	397,8885	19,2600	75,0269	82,0058	52,2122	0,12366	8,0866
26	431,4206	16,2677	70,2358	86,7968	55,2638	0,12071	8,2841
27	423,2090	16,5053	71,3187	85,7140	54,5741	0,12152	8,2291

Tablo 5.64 Devamı

29	436,7116	17,0293	72,8366	84,1961	53,6073	0,11568	8,6447
30	416,4880	18,6603	72,1946	84,8380	54,0162	0,12222	8,1820
31	424,1437	18,4362	73,1230	83,9097	53,4249	0,11870	8,4246
32	423,0990	16,8220	70,9885	86,0442	54,7844	0,12202	8,1954
33	383,0974	20,1762	73,3243	83,7083	53,2966	0,13110	7,6276
34	417,8411	19,0826	74,1734	82,8592	52,7558	0,11898	8,4046
35	413,1322	19,6893	76,5279	80,5047	51,2561	0,11692	8,5530
36	409,4821	18,9318	76,3858	80,6469	51,3466	0,11817	8,4624
37	396,6946	18,3273	73,1756	83,8571	53,3914	0,12683	7,8843
38	410,2776	18,0829	69,7966	87,2360	55,5435	0,12758	7,8385
39	414,5381	18,7895	76,0978	80,9349	51,5301	0,11714	8,5365
40	448,1833	17,4599	72,3911	84,6415	53,8910	0,11331	8,8251
41	426,8313	15,4434	65,9864	91,0463	57,9704	0,12798	7,8135
42	428,9538	18,3336	74,3241	82,7085	52,6598	0,11569	8,6439
43	430,3597	17,8876	74,0660	82,9667	52,8242	0,11567	8,6452
44	403,0545	18,7950	75,0404	81,9923	52,2036	0,12206	8,1929
45	396,9634	20,5482	76,6409	80,3918	51,1841	0,12151	8,2298
46	379,4473	19,4369	73,1412	83,8915	53,4132	0,13265	7,5385
47	408,0762	19,8299	76,8135	80,2192	51,0742	0,11795	8,4784
48	422,5790	17,3430	70,7349	86,2978	54,9459	0,12253	8,1613
49	422,4690	17,0807	70,0660	86,9667	55,3720	0,12351	8,0964
50	435,9884	15,8803	71,6160	85,4166	54,3847	0,11755	8,5071
51	406,7803	20,5274	77,7322	79,3004	50,4890	0,11697	8,5494
52	403,8335	20,1245	74,4688	82,5639	52,5676	0,12267	8,1519
53	409,8145	18,5692	72,3666	84,6661	53,9066	0,12396	8,0673
54	441,6083	16,8124	72,0430	84,9897	54,1127	0,11547	8,6600
55	455,5702	15,3883	70,0003	87,0323	55,4138	0,11462	8,7242
56	410,7780	18,3590	75,6283	81,4043	51,8291	0,11890	8,4102
57	404,5478	17,3756	68,8081	88,2246	56,1732	0,13085	7,6424
58	434,5825	16,7825	72,0292	85,0035	54,1215	0,11736	8,5209
59	440,3124	17,5238	72,9843	84,0484	53,5132	0,11453	8,7313
60	395,2967	20,5118	76,6922	80,3405	51,1515	0,12194	8,2004
61	403,3619	17,7509	70,0249	87,0078	55,3982	0,12942	7,7265
62	444,3101	15,7819	71,0154	86,0173	54,7673	0,11616	8,6089

Tablo 5.64 Devamı

63	418,7661	17,7720	72,5198	84,5129	53,8090	0,12109	8,2584
64	442,7907	16,1564	69,9017	87,1310	55,4766	0,11807	8,4698
65	409,5722	18,3150	72,4508	84,5819	53,8530	0,12391	8,0705
66	390,7136	19,8732	75,2444	81,7883	52,0737	0,12560	7,9619
67	436,3209	15,5459	67,4948	89,5378	57,0097	0,12313	8,1217
68	411,5735	17,3905	68,8527	88,1800	56,1448	0,12855	7,7790
69	422,1366	17,4275	74,1405	82,8922	52,7768	0,11782	8,4877
70	430,2347	17,1081	71,6783	85,3544	54,3450	0,11903	8,4010
71	417,5802	18,6095	73,9568	83,0759	52,8938	0,11937	8,3775
72	403,9750	18,7268	70,8586	86,1741	54,8671	0,12799	7,8132
73	400,6958	19,1506	71,7413	85,2914	54,3049	0,12771	7,8299
74	408,1862	19,6293	77,3026	79,7300	50,7627	0,11720	8,5327
75	435,4157	17,7419	73,7745	83,2582	53,0099	0,11473	8,7162
76	401,9560	18,6396	70,5151	86,5176	55,0859	0,12914	7,7432
77	417,4702	18,3493	73,2907	83,7419	53,3180	0,12036	8,3087
78	417,5723	17,2938	70,8544	86,1783	54,8698	0,12383	8,0757
79	435,1350	16,3991	68,9543	88,0784	56,0801	0,12145	8,2339
80	394,3439	19,9701	72,9660	84,0667	53,5249	0,12791	7,8181
81	396,5926	19,8235	75,7727	81,2600	51,7371	0,12294	8,1342
82	456,8661	14,7964	69,2244	87,8082	55,9080	0,11532	8,6717
83	454,2743	16,1124	70,9509	86,0818	54,8083	0,11370	8,7954
84	376,7455	20,9849	74,0178	83,0149	52,8549	0,13221	7,5638
85	418,1485	18,0251	69,1933	87,8394	55,9279	0,12604	7,9340
86	415,8339	18,0858	75,1740	81,8587	52,1185	0,11811	8,4665
87	399,2944	18,3698	74,5729	82,4597	52,5013	0,12391	8,0705
88	409,9245	18,8250	73,0258	84,0068	53,4867	0,12296	8,1328
89	415,5533	16,7456	70,3621	86,6706	55,1834	0,12514	7,9910
90	443,0142	16,3672	71,7879	85,2448	54,2752	0,11545	8,6616
91	384,7149	20,3998	73,4337	83,5989	53,2269	0,13038	7,6699
92	382,9559	21,5658	76,9188	80,1139	51,0072	0,12552	7,9669
93	443,9766	15,2971	68,4308	88,6019	56,4135	0,11974	8,3515
94	415,7239	18,4120	74,8514	82,1812	52,3239	0,11861	8,4310
95	406,9984	18,5138	70,6819	86,3508	54,9797	0,12730	7,8555
96	420,8407	18,1364	75,0663	81,9664	52,1871	0,11686	8, 5572

Tablo 5.64 Devamı

97	399,0291	19,1179	71,8058	85,2269	54,2638	0,12815	7,8033
98	415,8220	18,9851	73,8527	83,1800	52,9601	0,12002	8,3318
99	408,4470	20,5662	77,6820	79,3507	50,5210	0,11656	8,5789
100	423,7649	16,5107	69,2976	87,7351	55,8614	0,12422	8,0501
101	435,0250	16,1285	68,2757	88,7570	56,5123	0,12242	8,1688
102	390,3428	19,1527	74,3868	82,6458	52,6199	0,12704	7,8718
103	436,6016	16,8875	72,3214	84,7113	53,9354	0,11641	8,5900
104	431,9908	18,0886	73,7411	83,2916	53,0311	0,11569	8,6441
105	421,8031	17,4015	71,7553	85,2773	54,2960	0,12130	8,2438
106	404,2404	18,4263	73,8110	83,2217	52,9867	0,12352	8,0957
107	407,9727	17,0375	68,8608	88,1719	56,1396	0,12967	7,7117
108	397,0162	19,2449	74,2145	82,8181	52,7296	0,12516	7,9897
109	420,7307	18,3327	74,5683	82,4644	52,5043	0,11760	8,5033
110	431,5306	16,4085	70,7447	86,2880	54,9397	0,11997	8,3351
111	395,3988	19,0152	74,0981	82,9346	52,8038	0,12585	7,9460
112	428,7115	18,0717	74,4720	82,5607	52,5656	0,11555	8,6545
113	424,2395	16,7191	67,7228	89,3099	56,8645	0,12631	7,9170
114	434,0098	18,1886	74,0369	82,9958	52,8428	0,11474	8,7155
115	411,6835	17,6495	69,5110	87,5217	55,7255	0,12756	7,8396
116	442,6807	15,8818	69,2117	87,8210	55,9161	0,11903	8,4012
117	404,6719	19,0221	75,1646	81,8681	52,1245	0,12138	8,2383
118	416,2764	17,9889	71,7948	85,2378	54,2708	0,12286	8,1395
119	442,9042	16,2252	71,2691	85,7635	54,6057	0,11618	8,6071
120	438,0075	16,4481	72,0683	84,9644	54,0966	0,11639	8,5920
121	415,4432	17,0609	70,0452	86,9875	55,3852	0,12563	7,9598
122	411,4892	19,9137	75,3860	81,6467	51,9834	0,11905	8,3998
123	412,8694	16,8236	68,0788	88,9538	56,6377	0,12927	7,7356
124	430,2497	17,7502	73,5533	83,4793	53,1508	0,11642	8,5899
125	405,9537	16,4927	68,3255	88,7072	56,4806	0,13111	7,6272
126	392,1018	17,9877	70,8711	86,1615	54,8592	0,13185	7,5846
127	398,6768	18,6186	71,1964	85,8362	54,6520	0,12918	7,7410
128	417,2279	18,0876	73,4091	83,6236	53,2426	0,12026	8,3156
129	386,1208	19,5264	72,9505	84,0822	53,5347	0,13066	7,6536
130	402,8872	18,0055	71,8287	85,2040	54,2493	0,12689	7,8808

Tablo 5.64 Devamı

131	433,3967	17,1796	73,3085	83,7241	53,3067	0,11591	8,6275
132	411,2204	18,1332	72,0915	84,9412	54,0819	0,12394	8,0687
133	389,0469	19,8411	75,3116	81,7211	52,0308	0,12603	7,9344
134	421,9131	17,2099	72,2491	84,7836	53,9815	0,12057	8,2939
135	388,9369	20,0435	74,8602	82,1725	52,3184	0,12676	7,8886
136	409,8529	19,6702	77,2563	79,7764	50,7922	0,11679	8,5625
137	395,2887	19,2130	73,6377	83,3949	53,0970	0,12658	7,8999
138	389,3077	20,7528	75,7092	81,3235	51,7776	0,12534	7,9786
139	427,6579	19,0436	75,2675	81,7651	52,0589	0,11472	8,7172
140	444,0866	15,4412	68,9527	88,0800	56,0811	0,11900	8,4031
141	392,9380	20,4007	73,2552	83,7774	53,3406	0,12792	7,8171
142	405,2709	18,0404	69,9224	87,1102	55,4634	0,12897	7,7540
143	412,8951	19,4801	75,1219	81,9107	52,1516	0,11903	8,4013
144	385,6892	18,9470	71,6522	85,3805	54,3617	0,13282	7,5288
145	405,2394	19,6891	74,1914	82,8413	52,7444	0,12266	8,1529
146	401,7014	18,3756	73,0551	83,9776	53,4681	0,12543	7,9724
147	400,2150	18,3011	70,3881	86,6446	55,1668	0,12990	7,6984
148	427,3056	18,9778	74,9062	82,1264	52,2890	0,11532	8,6717
149	425,5354	16,0202	66,7683	90,2644	57,4724	0,12727	7,8572
150	378,4123	21,0232	74,4748	82,5579	52,5638	0,13090	7,6393
151	428,8288	17,5488	71,9443	85,0884	54,1756	0,11905	8,3997
152	404,3504	18,1012	74,1248	82,9079	52,7868	0,12302	8,1285
153	396,5846	18,6506	72,8791	84,1535	53,5802	0,12732	7,8544
154	414,2753	16,3962	67,8011	89,2316	56,8146	0,12924	7,7378
155	391,6387	18,5941	73,6357	83,3969	53,0983	0,12777	7,8268
156	424,1295	16,4551	67,0521	89,9806	57,2917	0,12729	7,8559
157	401,5914	18,5744	72,5922	84,4405	53,7629	0,12616	7,9265
158	418,8761	17,9068	73,0198	84,0129	53,4906	0,12034	8,3098
159	384,3933	19,5092	72,4173	84,6154	53,8743	0,13208	7,5714
160	387,6410	20,7142	75,7727	81,2600	51,7371	0,12578	7,9506
161	399,2899	19,5824	72,0247	85,0080	54,1244	0,12774	7,8285
162	425,1180	16,9220	71,2882	85,7445	54,5935	0,12102	8,2633
163	391,9918	18,3090	70,5938	86,4389	55,0358	0,13231	7,5582
164	441,7183	17,0842	72,7299	84,3027	53,6752	0,11451	8,7328

Tablo 5.64 Devamı

165	411,9489	16,8808	72,3248	84,7079	53,9333	0,12338	8,1053
166	404,6578	17,0606	69,0918	87,9409	55,9925	0,13039	7,6691
167	401,6209	17,8685	70,1008	86,9318	55,3498	0,12987	7,6999
168	416,1664	17,7294	71,1257	85,9070	54,6970	0,12385	8,0740
169	408,5186	19,2640	73,3056	83,7271	53,3085	0,12297	8,1319
170	432,8265	15,8295	69,9751	87,0575	55,4299	0,12068	8,2862
171	384,3618	20,6868	76,4482	80,5845	51,3069	0,12579	7,9495
172	431,6556	17,3046	73,2915	83,7412	53,3175	0,11640	8,5911
173	406,5668	17,4707	69,1492	87,8835	55,9559	0,12970	7,7103
174	414,8705	18,4308	72,0743	84,9584	54,0928	0,12287	8,1387
175	402,9445	18,9940	74,5707	82,4620	52,5027	0,12279	8,1440
176	422,0266	17,7518	73,8048	83,2278	52,9905	0,11833	8,4512
177	430,1247	16,8481	71,0082	86,0244	54,7718	0,12000	8,3334
178	390,6116	21,3646	77,8278	79,2048	50,4281	0,12166	8,2194
179	429,3246	19,0770	75,2097	81,8230	52,0957	0,11435	8,7450
180	419,2470	18,6444	73,9032	83,1295	52,9279	0,11897	8,4055
181	418,8682	16,7205	70,0804	86,9523	55,3628	0,12455	8,0287
182	435,3057	17,4748	73,0953	83,9374	53,4425	0,11569	8,6435
183	403,5011	20,5004	78,4472	78,5855	50,0336	0,11686	8,5576
184	423,8749	16,6480	69,7968	87,2358	55,5434	0,12348	8,0983
185	396,7026	19,6242	76,2374	80,7953	51,4411	0,12220	8,1833
186	380,7432	18,8851	72,3904	84,6423	53,8915	0,13338	7,4971
187	403,2519	17,9447	69,5770	87,4556	55,6834	0,13013	7,6849
188	423,9321	17,7605	72,7280	84,3046	53,6764	0,11932	8,3810
189	378,0414	20,3115	73,6288	83,4039	53,1027	0,13237	7,5544
190	410,6530	17,4537	73,0834	83,9493	53,4501	0,12266	8,1528
191	404,2931	17,1153	71,3692	85,6634	54,5419	0,12713	7,8659
192	401,6486	19,6916	75,4968	81,5358	51,9128	0,12180	8,2101
193	393,3977	17,4268	70,1095	86,9232	55,3443	0,13257	7,5430
194	422,8336	17,1482	67,9962	89,0365	56,6903	0,12634	7,9150
195	395,6103	20,1255	74,6768	82,3558	52,4351	0,12490	8,0061
196	417,1298	17,5073	74,4172	82,6155	52,6005	0,11883	8,4151
197	373,4663	20,9520	75,1994	81,8333	52,1023	0,13147	7,6062
198	390,8059	18,6711	71,7946	85,2380	54,2709	0,13087	7,6415

Tablo 5.64 Devamı

199	400,3250	18,4309	70,8667	86,1660	54,8620	0,12914	7,7433
200	389,4000	19,5532	72,2830	84,7496	53,9599	0,13058	7,6579
201	372,0604	21,8285	75,6932	81,3395	51,7878	0,13117	7,6236
202	416,1555	19,0201	76,2174	80,8153	51,4539	0,11652	8,5824
203	379,8182	20,1500	73,9921	83,0406	52,8713	0,13118	7,6231
204	419,4348	19,0389	75,4957	81,5370	51,9136	0,11664	8,5735
205	435,6273	18,4199	74,1635	82,8691	52,7621	0,11414	8,7614
206	397,9985	18,9361	75,3264	81,7062	52,0214	0,12318	8,1185
207	409,2471	18,3487	73,5261	83,5065	53,1681	0,12243	8,1680
208	397,6232	19,5486	72,0905	84,9421	54,0825	0,12817	7,8018
209	416,1743	19,0427	74,2202	82,8124	52,7260	0,11939	8,3758
210	437,7268	15,1074	67,2227	89,8100	57,1830	0,12310	8,1232
211	422,5262	18,2053	73,0014	84,0313	53,5023	0,11933	8,3803
212	429,0638	18,5978	75,0013	82,0314	52,2285	0,11471	8,7175
213	397,2709	19,4982	71,6784	85,3543	54,3450	0,12891	7,7573
214	420,1720	17,3312	72,2506	84,7821	53,9805	0,12107	8,2598
215	425,2280	17,0585	71,7907	85,2419	54,2734	0,12028	8,3141
216	407,9512	19,0441	74,4543	82,5784	52,5769	0,12145	8,2336
217	425,5496	17,9900	72,8535	84,1791	53,5965	0,11869	8,4255
218	402,0952	21,3940	78,8838	78,1489	49,7556	0,11661	8,5754
219	430,4499	17,2822	70,1378	86,8948	55,3262	0,12112	8,2561
220	436,4309	15,6892	68,0022	89,0305	56,6865	0,12240	8,1701
221	414,4280	18,9874	75,6054	81,4273	51,8437	0,11789	8,4826
222	414,7496	19,9209	76,6538	80,3788	51,1759	0,11628	8,5999
223	449,5892	17,0144	72,1338	84,8988	54,0549	0,11330	8,8260
224	426,5239	16,4873	71,0283	86,0043	54,7590	0,12098	8,2656
225	416,8491	16,1686	69,5921	87,4406	55,6738	0,12586	7,9454
226	410,1853	19,2949	73,2430	83,7897	53,3484	0,12256	8,1590
227	397,9905	17,7627	72,4190	84,6137	53,8733	0,12756	7,8394
228	412,9794	16,9585	68,5699	88,4628	56,3249	0,12852	7,7807
229	429,0439	17,7138	70,4013	86,6314	55,1584	0,12115	8,2542
230	408,1663	19,2077	72,9164	84,1162	53,5564	0,12365	8,0873
231	423,8221	17,4988	72,0572	84,9754	54,1037	0,12030	8,3126
232	405,3809	18,2879	70,5663	86,4664	55,0533	0,12798	7,8138

Tablo 5.64 Devamı

233	419,5544	17,5860	68,9032	88,1295	56,1126	0,12603	7,9344
234	393,9928	19,8989	74,5610	82,4717	52,5089	0,12559	7,9622
235	417,4623	17,1587	70,3543	86,6784	55,1884	0,12458	8,0270
236	424,5049	15,9268	70,5565	86,4762	55,0596	0,12223	8,1815
237	398,3693	19,6666	76,1941	80,8386	51,4687	0,12175	8,2133
238	430,7305	18,6340	74,9485	82,0842	52,2621	0,11434	8,7457
239	414,1474	17,6348	70,8101	86,2226	54,8980	0,12492	8,0054
240	409,3571	18,1508	74,0099	83,0228	52,8599	0,12169	8,2178
241	425,4254	15,8791	66,2709	90,7617	57,7892	0,12801	7,8121
242	378,1514	20,1134	74,0593	82,9733	52,8285	0,13165	7,5958
243	445,3825	14,8564	68,1726	88,8601	56,5780	0,11971	8,3536
244	390,2328	19,4774	74,0984	82,9342	52,8036	0,12752	7,8422
245	392,0175	20,4820	77,3768	79,6558	50,7154	0,12192	8,2023
246	405,5925	18,9468	70,9675	86,0651	54,7977	0,12732	7,8544
247	442,9042	15,2419	69,4754	87,5572	55,7481	0,11534	8,6698
248	405,6463	17,5319	73,3698	83,6629	53,2677	0,12375	8,0810
249	437,0332	17,9746	73,9030	83,1297	52,9281	0,11413	8,7621
250	387,0951	18,0650	71,1646	85,8681	54,6722	0,13310	7,5134
251	409,3721	19,2587	76,0601	80,9726	51,5541	0,11868	8,4261
252	400,2955	19,2699	73,5255	83,5072	53,1685	0,12517	7,9892
253	423,4325	16,8460	73,3819	83,6508	53,2600	0,11853	8,4365
254	411,5912	18,8644	72,9734	84,0592	53,5201	0,12254	8,1607
255	412,8515	18,3361	71,7489	85,2838	54,3001	0,12394	8,0682
256	410,5430	17,7739	72,7620	84,2707	53,6548	0,12316	8,1195

Tablo 5.65 Tüm senaryolar için performans sıralamaları

6. FİNAL TABLOSU (Contingency Coefficient Değerlerinin ve Performans Puanlarının Hesaplanması ve Ranking)										
Senaryo	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m2]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m2]	m ² için Enerji Tasarrufu [kWh/m ²]	Tasarruf Yüzdesi %	Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)	Contingency Coefficient	Performans %	SIRA
1	0,221	0,680	0,605	0,605	0,605	0,176	0,204	0,504	67%	127
2	0,460	0,513	0,540	0,540	0,540	0,369	0,413	0,488	65%	137
3	0,374	0,819	0,764	0,764	0,764	0,455	0,501	0,659	87%	19
4	0,400	0,271	0,190	0,190	0,190	0,031	0,037	0,238	31%	254
5	0,635	0,589	0,524	0,524	0,524	0,550	0,595	0,576	76%	68
6	0,853	0,359	0,468	0,468	0,468	0,763	0,795	0,527	70%	107
7	0,383	0,333	0,211	0,211	0,211	0,031	0,037	0,268	35%	251
8	0,238	0,617	0,584	0,584	0,584	0,176	0,205	0,478	63%	148
9	0,183	0,744	0,676	0,676	0,676	0,192	0,222	0,539	71%	92
10	0,421	0,576	0,611	0,611	0,611	0,384	0,429	0,529	70%	103
11	0,502	0,624	0,589	0,589	0,589	0,454	0,500	0,569	75%	73
12	0,838	0,456	0,540	0,540	0,540	0,806	0,833	0,587	78%	58
13	0,047	0,749	0,595	0,595	0,595	0,004	0,005	0,482	64%	142
14	0,273	0,710	0,749	0,749	0,749	0,337	0,380	0,581	77%	65

Tablo 5.65 Devamı

15	0,540	0,544	0,565	0,565	0,565	0,476	0,522	0,539	71%	91
16	0,261	0,762	0,504	0,504	0,504	0,139	0,162	0,512	68%	122
17	0,683	0,422	0,599	0,599	0,599	0,668	0,708	0,547	72%	87
18	0,278	0,634	0,471	0,471	0,471	0,130	0,152	0,458	61%	165
19	0,780	0,420	0,584	0,584	0,584	0,772	0,803	0,571	75%	72
20	0,523	0,606	0,586	0,586	0,586	0,476	0,521	0,569	75%	75
21	0,914	0,293	0,465	0,465	0,465	0,839	0,861	0,519	69%	114
22	0,032	0,852	0,669	0,669	0,669	0,046	0,052	0,529	70%	104
23	0,632	0,272	0,254	0,254	0,254	0,327	0,365	0,338	45%	235
24	0,592	0,601	0,717	0,717	0,717	0,663	0,699	0,642	85%	26
25	0,695	0,365	0,299	0,299	0,299	0,436	0,478	0,415	55%	194
26	0,300	0,791	0,671	0,671	0,671	0,310	0,346	0,591	78%	53
27	0,397	0,757	0,587	0,587	0,587	0,345	0,382	0,583	77%	61
28	0,429	0,529	0,480	0,480	0,480	0,296	0,329	0,462	61%	158
29	0,238	0,682	0,469	0,469	0,469	0,095	0,105	0,466	62%	156
30	0,476	0,451	0,519	0,519	0,519	0,377	0,414	0,458	61%	164
31	0,386	0,482	0,447	0,447	0,447	0,227	0,252	0,415	55%	193
32	0,398	0,712	0,612	0,612	0,612	0,370	0,405	0,577	76%	67
33	0,870	0,235	0,431	0,431	0,431	0,762	0,785	0,476	63%	153
34	0,460	0,390	0,365	0,365	0,365	0,241	0,265	0,367	49%	224
35	0,516	0,304	0,183	0,183	0,183	0,153	0,166	0,286	38%	249

Tablo 5.65 Devamı

36	0,559	0,412	0,194	0,194	0,194	0,207	0,226	0,351	46%	229
37	0,710	0,498	0,443	0,443	0,443	0,581	0,613	0,531	70%	100
38	0,549	0,533	0,705	0,705	0,705	0,613	0,644	0,592	78%	51
39	0,499	0,432	0,216	0,216	0,216	0,165	0,177	0,348	46%	230
40	0,102	0,621	0,503	0,503	0,503	0,000	0,016	0,423	56%	190
41	0,354	0,908	1,000	1,000	1,000	0,632	0,660	0,745	99%	2
42	0,329	0,497	0,354	0,354	0,354	0,104	0,105	0,374	50%	219
43	0,313	0,560	0,374	0,374	0,374	0,104	0,104	0,405	54%	202
44	0,635	0,431	0,298	0,298	0,298	0,380	0,407	0,421	56%	192
45	0,706	0,182	0,174	0,174	0,174	0,358	0,382	0,312	41%	243
46	0,913	0,340	0,445	0,445	0,445	0,838	0,844	0,531	70%	99
47	0,575	0,284	0,160	0,160	0,160	0,205	0,216	0,292	39%	247
48	0,404	0,638	0,632	0,632	0,632	0,402	0,428	0,559	74%	79
49	0,406	0,675	0,684	0,684	0,684	0,445	0,471	0,594	79%	49
50	0,246	0,846	0,563	0,563	0,563	0,189	0,197	0,555	73%	83
51	0,591	0,185	0,089	0,089	0,089	0,166	0,168	0,242	32%	253
52	0,625	0,242	0,342	0,342	0,342	0,412	0,434	0,360	48%	226
53	0,555	0,463	0,505	0,505	0,505	0,467	0,491	0,488	65%	138
54	0,180	0,713	0,530	0,530	0,530	0,102	0,094	0,483	64%	140
55	0,015	0,916	0,689	0,689	0,689	0,065	0,051	0,548	72%	86
56	0,543	0,493	0,252	0,252	0,252	0,252	0,261	0,402	53%	204

Tablo 5.65 Devamı

57	0,617	0,633	0,781	0,781	0,781	0,767	0,775	0,689	91%	14
58	0,263	0,718	0,531	0,531	0,531	0,186	0,187	0,508	67%	125
59	0,195	0,612	0,457	0,457	0,457	0,064	0,047	0,426	56%	187
60	0,726	0,187	0,170	0,170	0,170	0,387	0,402	0,321	42%	240
61	0,631	0,580	0,687	0,687	0,687	0,708	0,718	0,636	84%	34
62	0,148	0,860	0,610	0,610	0,610	0,136	0,128	0,546	72%	88
63	0,449	0,577	0,493	0,493	0,493	0,350	0,363	0,497	66%	130
64	0,166	0,807	0,696	0,696	0,696	0,219	0,221	0,563	74%	77
65	0,558	0,500	0,499	0,499	0,499	0,473	0,488	0,503	67%	128
66	0,780	0,278	0,282	0,282	0,282	0,548	0,561	0,410	54%	198
67	0,242	0,893	0,883	0,883	0,883	0,439	0,454	0,669	88%	17
68	0,534	0,631	0,778	0,778	0,778	0,675	0,683	0,659	87%	20
69	0,410	0,626	0,368	0,368	0,368	0,213	0,210	0,459	61%	163
70	0,314	0,671	0,559	0,559	0,559	0,265	0,268	0,516	68%	118
71	0,463	0,458	0,382	0,382	0,382	0,281	0,283	0,407	54%	200
72	0,624	0,441	0,622	0,622	0,622	0,654	0,661	0,548	72%	85
73	0,662	0,381	0,554	0,554	0,554	0,643	0,649	0,509	67%	123
74	0,574	0,313	0,123	0,123	0,123	0,191	0,179	0,294	39%	246
75	0,253	0,581	0,396	0,396	0,396	0,083	0,057	0,408	54%	199
76	0,647	0,453	0,649	0,649	0,649	0,706	0,707	0,571	76%	71
77	0,465	0,495	0,434	0,434	0,434	0,328	0,329	0,444	59%	179

Tablo 5.65 Devamı

78	0,463	0,645	0,623	0,623	0,623	0,478	0,485	0,582	77%	62
79	0,256	0,772	0,770	0,770	0,770	0,375	0,379	0,607	80%	46
80	0,737	0,264	0,459	0,459	0,459	0,657	0,657	0,455	60%	171
81	0,711	0,285	0,241	0,241	0,241	0,444	0,446	0,373	49%	220
82	0,000	1,000	0,749	0,749	0,749	0,111	0,087	0,578	76%	66
83	0,031	0,813	0,615	0,615	0,615	0,042	0,004	0,506	67%	126
84	0,945	0,120	0,377	0,377	0,377	0,847	0,827	0,451	60%	174
85	0,457	0,541	0,751	0,751	0,751	0,577	0,580	0,584	77%	59
86	0,484	0,532	0,288	0,288	0,288	0,237	0,224	0,414	55%	195
87	0,679	0,492	0,334	0,334	0,334	0,489	0,488	0,479	63%	146
88	0,554	0,427	0,454	0,454	0,454	0,448	0,447	0,453	60%	172
89	0,487	0,723	0,661	0,661	0,661	0,542	0,542	0,637	84%	33
90	0,163	0,777	0,550	0,550	0,550	0,123	0,093	0,509	67%	124
91	0,851	0,203	0,423	0,423	0,423	0,772	0,756	0,460	61%	162
92	0,872	0,037	0,152	0,152	0,152	0,564	0,558	0,341	45%	234
93	0,152	0,929	0,810	0,810	0,810	0,309	0,301	0,625	83%	39
94	0,485	0,486	0,313	0,313	0,313	0,264	0,247	0,403	53%	203
95	0,588	0,471	0,636	0,636	0,636	0,639	0,632	0,556	74%	81
96	0,425	0,525	0,296	0,296	0,296	0,190	0,163	0,397	52%	209
97	0,682	0,385	0,549	0,549	0,549	0,678	0,667	0,518	68%	117
98	0,484	0,404	0,390	0,390	0,390	0,327	0,314	0,395	52%	210

Tablo 5.65 Devamı

99	0,571	0,180	0,093	0,093	0,093	0,180	0,149	0,236	31%	255
100	0,390	0,756	0,743	0,743	0,743	0,508	0,502	0,644	85%	24
101	0,258	0,811	0,822	0,822	0,822	0,430	0,423	0,637	84%	32
102	0,784	0,381	0,349	0,349	0,349	0,635	0,621	0,476	63%	152
103	0,239	0,703	0,509	0,509	0,509	0,173	0,141	0,491	65%	135
104	0,293	0,532	0,399	0,399	0,399	0,143	0,105	0,398	53%	207
105	0,413	0,630	0,553	0,553	0,553	0,386	0,373	0,532	70%	98
106	0,621	0,484	0,393	0,393	0,393	0,485	0,472	0,479	63%	144
107	0,577	0,681	0,777	0,777	0,777	0,749	0,728	0,699	92%	9
108	0,706	0,367	0,362	0,362	0,362	0,558	0,542	0,449	59%	176
109	0,426	0,497	0,335	0,335	0,335	0,230	0,199	0,398	53%	208
110	0,299	0,771	0,631	0,631	0,631	0,331	0,312	0,575	76%	69
111	0,725	0,400	0,371	0,371	0,371	0,590	0,572	0,472	62%	154
112	0,332	0,534	0,342	0,342	0,342	0,142	0,098	0,391	52%	212
113	0,385	0,727	0,865	0,865	0,865	0,606	0,591	0,673	89%	15
114	0,270	0,518	0,376	0,376	0,376	0,108	0,057	0,379	50%	215
115	0,533	0,594	0,727	0,727	0,727	0,663	0,643	0,627	83%	38
116	0,167	0,846	0,750	0,750	0,750	0,293	0,267	0,594	79%	50
117	0,615	0,399	0,288	0,288	0,288	0,400	0,376	0,402	53%	205
118	0,479	0,546	0,550	0,550	0,550	0,462	0,442	0,519	69%	112
119	0,165	0,797	0,590	0,590	0,590	0,172	0,130	0,529	70%	102

Tablo 5.65 Devamı

120	0,222	0,765	0,528	0,528	0,528	0,182	0,140	0,515	68%	119
121	0,488	0,678	0,685	0,685	0,685	0,584	0,562	0,632	84%	35
122	0,535	0,272	0,271	0,271	0,271	0,302	0,268	0,314	42%	241
123	0,519	0,712	0,838	0,838	0,838	0,742	0,712	0,711	94%	6
124	0,314	0,580	0,413	0,413	0,413	0,187	0,141	0,431	57%	184
125	0,600	0,759	0,819	0,819	0,819	0,823	0,785	0,756	100%	1
126	0,764	0,546	0,621	0,621	0,621	0,858	0,813	0,641	85%	27
127	0,686	0,456	0,596	0,596	0,596	0,743	0,709	0,569	75%	74
128	0,467	0,532	0,424	0,424	0,424	0,357	0,325	0,461	61%	161
129	0,834	0,327	0,460	0,460	0,460	0,810	0,767	0,513	68%	120
130	0,637	0,544	0,547	0,547	0,547	0,646	0,615	0,573	76%	70
131	0,277	0,661	0,432	0,432	0,432	0,169	0,116	0,461	61%	160
132	0,538	0,525	0,527	0,527	0,527	0,519	0,490	0,523	69%	108
133	0,800	0,283	0,277	0,277	0,277	0,614	0,579	0,422	56%	191
134	0,412	0,657	0,514	0,514	0,514	0,373	0,339	0,530	70%	101
135	0,801	0,254	0,312	0,312	0,312	0,647	0,610	0,425	56%	189
136	0,554	0,307	0,126	0,126	0,126	0,214	0,159	0,289	38%	248
137	0,726	0,372	0,407	0,407	0,407	0,639	0,602	0,477	63%	150
138	0,797	0,153	0,246	0,246	0,246	0,587	0,550	0,370	49%	223
139	0,344	0,396	0,280	0,280	0,280	0,124	0,056	0,312	41%	242
140	0,151	0,908	0,770	0,770	0,770	0,306	0,266	0,611	81%	44

Tablo 5.65 Devamı

141	0,754	0,203	0,436	0,436	0,436	0,700	0,658	0,436	58%	182
142	0,608	0,539	0,695	0,695	0,695	0,743	0,700	0,618	82%	42
143	0,519	0,334	0,292	0,292	0,292	0,315	0,267	0,342	45%	233
144	0,839	0,410	0,561	0,561	0,561	0,914	0,851	0,581	77%	63
145	0,609	0,304	0,364	0,364	0,364	0,473	0,433	0,391	52%	213
146	0,650	0,491	0,452	0,452	0,452	0,594	0,554	0,519	69%	115
147	0,668	0,502	0,659	0,659	0,659	0,787	0,737	0,607	80%	45
148	0,349	0,405	0,308	0,308	0,308	0,156	0,086	0,327	43%	239
149	0,369	0,826	0,939	0,939	0,939	0,670	0,631	0,724	96%	5
150	0,925	0,115	0,342	0,342	0,342	0,838	0,777	0,437	58%	181
151	0,331	0,609	0,538	0,538	0,538	0,318	0,268	0,494	65%	131
152	0,619	0,530	0,369	0,369	0,369	0,494	0,450	0,492	65%	133
153	0,711	0,452	0,466	0,466	0,466	0,681	0,633	0,528	70%	106
154	0,502	0,773	0,859	0,859	0,859	0,760	0,711	0,738	98%	4
155	0,769	0,460	0,407	0,407	0,407	0,703	0,651	0,529	70%	105
156	0,386	0,764	0,917	0,917	0,917	0,676	0,632	0,705	93%	8
157	0,652	0,463	0,488	0,488	0,488	0,633	0,585	0,521	69%	111
158	0,448	0,558	0,455	0,455	0,455	0,380	0,328	0,479	63%	143
159	0,855	0,330	0,501	0,501	0,501	0,893	0,822	0,535	71%	96
160	0,816	0,158	0,241	0,241	0,241	0,622	0,569	0,379	50%	216
161	0,679	0,319	0,532	0,532	0,532	0,704	0,650	0,488	64%	139

Tablo 5.65 Devamı

162	0,374	0,698	0,589	0,589	0,589	0,410	0,360	0,563	75%	76
163	0,765	0,500	0,643	0,643	0,643	0,904	0,831	0,629	83%	36
164	0,179	0,675	0,477	0,477	0,477	0,128	0,046	0,457	60%	166
165	0,530	0,704	0,509	0,509	0,509	0,516	0,465	0,590	78%	54
166	0,616	0,678	0,759	0,759	0,759	0,820	0,757	0,708	94%	7
167	0,651	0,563	0,681	0,681	0,681	0,799	0,736	0,639	85%	30
168	0,480	0,583	0,602	0,602	0,602	0,538	0,486	0,559	74%	78
169	0,570	0,365	0,432	0,432	0,432	0,502	0,447	0,430	57%	185
170	0,283	0,853	0,691	0,691	0,691	0,399	0,344	0,620	82%	41
171	0,855	0,162	0,189	0,189	0,189	0,631	0,569	0,379	50%	217
172	0,297	0,643	0,434	0,434	0,434	0,216	0,140	0,462	61%	159
173	0,593	0,620	0,755	0,755	0,755	0,795	0,729	0,673	89%	16
174	0,495	0,483	0,528	0,528	0,528	0,500	0,443	0,493	65%	132
175	0,636	0,403	0,334	0,334	0,334	0,500	0,439	0,432	57%	183
176	0,411	0,580	0,394	0,394	0,394	0,304	0,234	0,455	60%	170
177	0,315	0,708	0,611	0,611	0,611	0,375	0,313	0,556	74%	82
178	0,781	0,066	0,082	0,082	0,082	0,457	0,389	0,297	39%	245
179	0,325	0,391	0,285	0,285	0,285	0,133	0,037	0,308	41%	244
180	0,444	0,453	0,386	0,386	0,386	0,335	0,264	0,406	54%	201
181	0,448	0,726	0,683	0,683	0,683	0,576	0,516	0,639	84%	31
182	0,254	0,619	0,449	0,449	0,449	0,191	0,105	0,446	59%	177

Tablo 5.65 Devamı

183	0,629	0,189	0,034	0,034	0,034	0,250	0,163	0,252	33%	252
184	0,389	0,737	0,705	0,705	0,705	0,530	0,470	0,628	83%	37
185	0,709	0,313	0,205	0,205	0,205	0,483	0,413	0,378	50%	218
186	0,898	0,419	0,503	0,503	0,503	0,969	0,872	0,583	77%	60
187	0,632	0,552	0,722	0,722	0,722	0,823	0,746	0,643	85%	25
188	0,388	0,578	0,477	0,477	0,477	0,354	0,281	0,479	63%	145
189	0,929	0,216	0,407	0,407	0,407	0,929	0,833	0,489	65%	136
190	0,545	0,622	0,450	0,450	0,450	0,502	0,433	0,540	71%	90
191	0,620	0,670	0,583	0,583	0,583	0,697	0,625	0,641	85%	28
192	0,651	0,304	0,263	0,263	0,263	0,469	0,395	0,372	49%	222
193	0,748	0,626	0,680	0,680	0,680	0,936	0,841	0,698	92%	10
194	0,401	0,666	0,844	0,844	0,844	0,660	0,592	0,655	87%	21
195	0,722	0,242	0,326	0,326	0,326	0,607	0,531	0,401	53%	206
196	0,469	0,614	0,346	0,346	0,346	0,340	0,258	0,472	62%	155
197	0,983	0,125	0,286	0,286	0,286	0,898	0,799	0,444	59%	178
198	0,779	0,449	0,550	0,550	0,550	0,866	0,775	0,581	77%	64
199	0,667	0,483	0,622	0,622	0,622	0,790	0,707	0,588	78%	56
200	0,796	0,324	0,512	0,512	0,512	0,856	0,764	0,522	69%	110
201	1,000	0,000	0,247	0,247	0,247	0,888	0,787	0,412	54%	197
202	0,480	0,399	0,207	0,207	0,207	0,245	0,146	0,333	44%	238
203	0,909	0,239	0,379	0,379	0,379	0,887	0,788	0,482	64%	141

Tablo 5.65 Devamı

204	0,441	0,397	0,263	0,263	0,263	0,250	0,152	0,337	45%	236
205	0,250	0,485	0,366	0,366	0,366	0,139	0,027	0,361	48%	225
206	0,694	0,411	0,276	0,276	0,276	0,539	0,456	0,437	58%	180
207	0,562	0,495	0,415	0,415	0,415	0,504	0,423	0,479	63%	147
208	0,699	0,324	0,527	0,527	0,527	0,755	0,668	0,497	66%	129
209	0,480	0,396	0,362	0,362	0,362	0,373	0,284	0,386	51%	214
210	0,226	0,956	0,904	0,904	0,904	0,527	0,453	0,690	91%	13
211	0,405	0,515	0,456	0,456	0,456	0,369	0,281	0,450	60%	175
212	0,328	0,459	0,301	0,301	0,301	0,170	0,056	0,348	46%	231
213	0,703	0,331	0,559	0,559	0,559	0,791	0,698	0,513	68%	121
214	0,433	0,640	0,514	0,514	0,514	0,447	0,362	0,535	71%	95
215	0,373	0,678	0,550	0,550	0,550	0,412	0,326	0,544	72%	89
216	0,577	0,396	0,343	0,343	0,343	0,469	0,379	0,414	55%	196
217	0,369	0,546	0,468	0,468	0,468	0,345	0,251	0,457	60%	168
218	0,646	0,062	0,000	0,000	0,000	0,264	0,151	0,223	30%	256
219	0,312	0,647	0,678	0,678	0,678	0,449	0,364	0,559	74%	80
220	0,241	0,873	0,844	0,844	0,844	0,503	0,422	0,662	88%	18
221	0,500	0,404	0,254	0,254	0,254	0,317	0,213	0,358	47%	227
222	0,497	0,271	0,173	0,173	0,173	0,248	0,134	0,272	36%	250
223	0,086	0,685	0,523	0,523	0,523	0,110	-	0,456	60%	169
224	0,358	0,760	0,609	0,609	0,609	0,448	0,358	0,592	78%	52

Tablo 5.65 Devamı

225	0,472	0,805	0,720	0,720	0,720	0,661	0,572	0,693	92%	12
226	0,550	0,360	0,437	0,437	0,437	0,522	0,429	0,427	56%	186
227	0,694	0,578	0,501	0,501	0,501	0,742	0,643	0,596	79%	48
228	0,518	0,693	0,800	0,800	0,800	0,779	0,682	0,697	92%	11
229	0,328	0,585	0,658	0,658	0,658	0,457	0,366	0,533	70%	97
230	0,574	0,373	0,463	0,463	0,463	0,572	0,477	0,451	60%	173
231	0,390	0,616	0,529	0,529	0,529	0,424	0,327	0,518	68%	116
232	0,607	0,503	0,645	0,645	0,645	0,761	0,660	0,589	78%	55
233	0,440	0,603	0,774	0,774	0,774	0,673	0,579	0,622	82%	40
234	0,741	0,274	0,335	0,335	0,335	0,664	0,561	0,425	56%	188
235	0,465	0,664	0,661	0,661	0,661	0,612	0,518	0,616	81%	43
236	0,382	0,839	0,646	0,646	0,646	0,509	0,414	0,641	85%	29
237	0,690	0,307	0,209	0,209	0,209	0,499	0,393	0,373	49%	221
238	0,308	0,454	0,305	0,305	0,305	0,170	0,037	0,343	45%	232
239	0,504	0,596	0,626	0,626	0,626	0,630	0,532	0,588	78%	57
240	0,560	0,523	0,378	0,378	0,378	0,494	0,390	0,478	63%	149
241	0,371	0,846	0,978	0,978	0,978	0,761	0,661	0,745	98%	3
242	0,928	0,244	0,374	0,374	0,374	0,936	0,806	0,491	65%	134
243	0,135	0,991	0,830	0,830	0,830	0,399	0,299	0,646	85%	23
244	0,786	0,334	0,371	0,371	0,371	0,755	0,641	0,477	63%	151
245	0,765	0,191	0,117	0,117	0,117	0,514	0,400	0,335	44%	237

Tablo 5.65 Devamı

246	0,605	0,410	0,614	0,614	0,614	0,741	0,633	0,536	71%	93
247	0,165	0,937	0,729	0,729	0,729	0,355	0,088	0,601	79%	47
248	0,604	0,611	0,428	0,428	0,428	0,589	0,481	0,551	73%	84
249	0,234	0,548	0,386	0,386	0,386	0,165	0,026	0,394	52%	211
250	0,823	0,535	0,598	0,598	0,598	1,000	0,861	0,649	86%	22
251	0,560	0,365	0,219	0,219	0,219	0,372	0,251	0,352	47%	228
252	0,667	0,364	0,415	0,415	0,415	0,655	0,543	0,464	61%	157
253	0,394	0,709	0,427	0,427	0,427	0,362	0,244	0,519	69%	113
254	0,534	0,422	0,458	0,458	0,458	0,539	0,428	0,457	60%	167
255	0,519	0,497	0,553	0,553	0,553	0,600	0,490	0,522	69%	109
256	0,546	0,577	0,475	0,475	0,475	0,568	0,456	0,536	71%	94

Tablo 5.66 Tüm senaryoların sonucunda en iyi performansa sahip senaryo

Tüm senaryoların TOPSIS sonucunda en iyi performansa sahip senaryo				
Parametre	Pencere	Duvar	Zemin	Çatı
Düzy	P2	D4	Z1	Ç4
Yalıtım Malzemesi	Isıcam 4+16+4 (Argon) K	EPS 200 mm.	XPS 80 mm.	Cam yünü 200 mm.
U-Değeri	1,1 (W/m ² K)	0,149 (W/m ² K)	0,342 (W/m ² K)	0,185 (W/m ² K)

5.9 Sonuçların Değerlendirilmesi

Çalışmada üçüncü bölümünde teorik olarak aktarılmış olan yaklaşım, dördüncü bölümde bir model üzerinde uygulanmıştır. Uygulama aşamasında; yaklaşım bölümünde açıklanan yaklaşım adım adım uygulanmıştır. Uygulama mevcut bir

yapının EnerPHit kriterleri çerçevesinde enerji ve maliyet etkin iyileştirilmesi için senaryoların belirlenmesi, belirlenen senaryoların mevcut binaya uygulanması, uygulama sonrası elde edilen verilerin bütüncül değerlendirilmesini kapsamaktadır. Çalışmanın hedef ve kısıtları kapsamında uygulama; EnerPHit sertifikası kriterleri çerçevesinde, İzmir ilinde mevcut bir konut yapısında yapılmıştır.

Senaryoların; simülasyon programı aracılığı ile enerji ihtiyaçları belirlenmiş ardından maliyet analizleri yapılmıştır. Öncelikle 16 farklı senaryo, faktörlerin ana etkilerini ve en etkin düzeylerini belirlenmesi amacıyla; ana etki yöntemi ile değerlendirilmiştir. İkinci olarak ise; 16 farklı senaryo; “m² için ısıtma enerjisi ihtiyacı”, “m² için toplam enerji ihtiyacı”, “m² için yatırım tutarı”, “m² için enerji tasarrufu”, “tasarruf yüzdesi”, “ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı”, “geri ödeme süresi” verilerinin tamamı birer sonuç kriteri olarak kabul edilerek TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Ana etki yöntemi ile; enerji tasarrufu, ısıtma enerjisi ihtiyacı, geri ödeme süresi, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı kriterleri yönünden her biri için ayrı ayrı faktörlerin etki düzeyleri ve en etkin seviyeleri belirlenmiştir. Tüm senaryolar, yani tüm olası faktör düzey kombinasyonları denenerek, ana etki yöntemi ile yeniden oluşturulan, sonuca göre en etkin senaryo dizilimlerinin doğrulaması yapılmıştır. Her bir yanıt için belirlenen en etkin faktör düzey dizilimi, 256 kombinasyon arasındaki en iyi senaryolar ile %100 uyumludur. Çalışmanın bu aşamasında, parametre ve düzey sayısı doğrultusunda uygun deney tasarımı ile, tüm olasılıkların denenmesi yerine çok daha az sayıda deney/simülasyon yaparak yanıt için en etkin faktör düzey diziliminin yapılabileceği görülmüştür.

İkinci aşamada ise, sonuçların her biri birer performans kriteri olarak kabul edilip, deney tasarım setindeki senaryolar performansa göre sıralanmıştır. Bu aşamada bir performans sıralama yöntemi olan TOPSIS kullanılmıştır. Çalışmanın bu aşamasında üç farklı ortogonal dizi kullanılarak, dizi içerisindeki en yüksek performanslı senaryonun, tüm senaryolar arasındaki performans yerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Değerlendirme sonucunda senaryolar için, 1 ile 16 arasında öncelik sırası belirlenmiştir. Senaryoların öncelik sırasına göre sıralanmış hali ve senaryolara ait; “m² için ısıtma enerjisi ihtiyacı”, “m² için toplam enerji ihtiyacı”, “m² için yatırım tutarı” çalışmanın önceki bölümünde gösterilmektedir. İlk set için Senaryo 16 (S16) birinci sırada yer alırken, ikinci set için Senaryo 4 (S4), üçüncü set için ise Senaryo 12 (S12) birinci sırada yer almaktadır.

İlk sette öncelik sıralamasında birinci sırada yer alan S16’da; duvarda 4. düzeydeki 200 mm. EPS kullanarak 0,149(W/m²K) U-değerine, çatıda 3. düzeydeki 180 mm. cam yünü kullanarak 0,204 (W/m²K) U-değerine, zeminde 1. düzeydeki 80 mm. XPS kullanarak 0,342 (W/m²K) U-değerine, pencerelerde 4. düzeydeki Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) Konfor kullanarak 0,6 (W/m²K) U-değerine ulaşılmıştır.

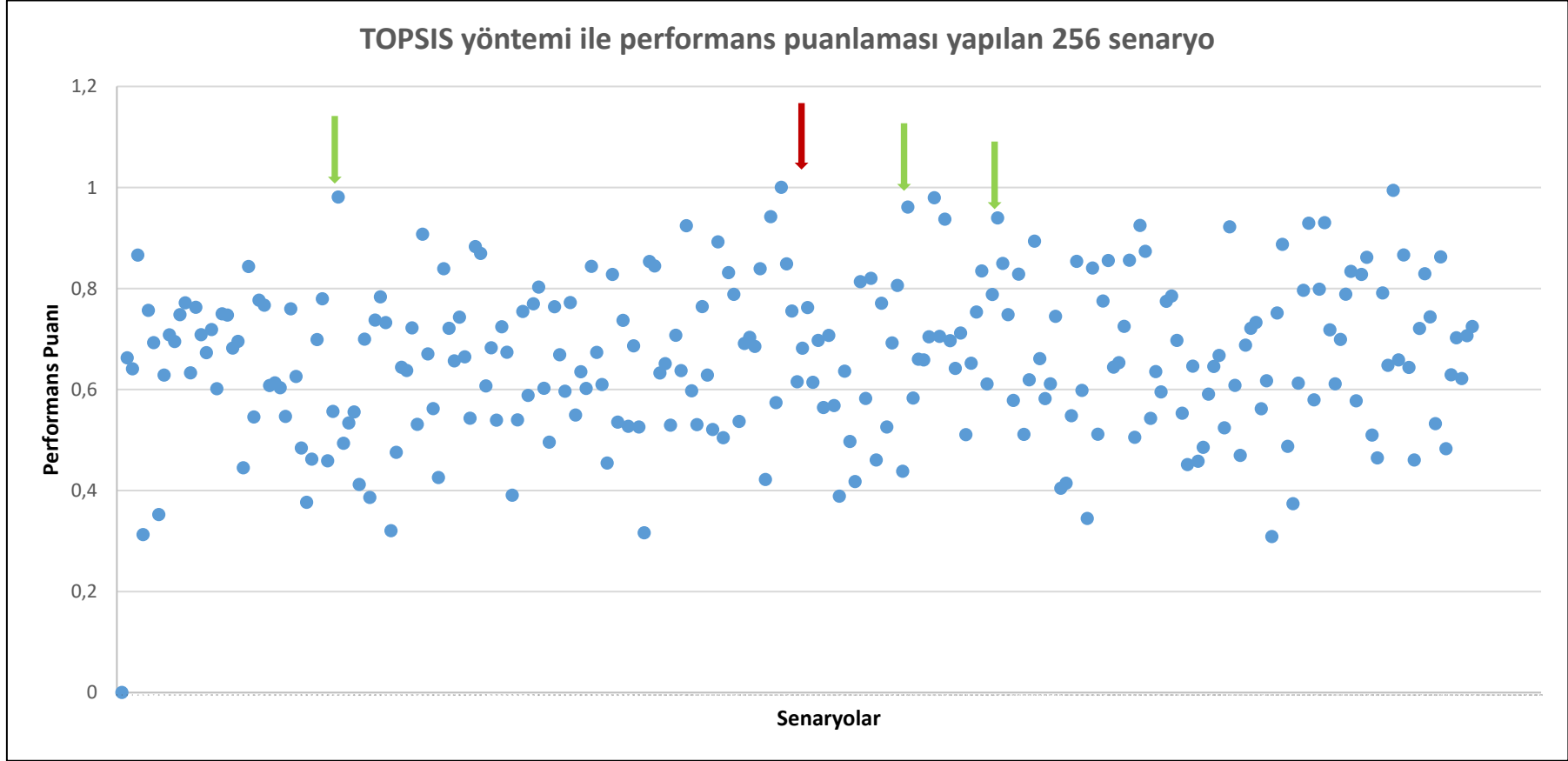
İkinci sette öncelik sıralamasında birinci sırada yer alan S4’de; duvarda 4. düzeydeki 200 mm. EPS kullanarak 0,149(W/m²K) U-değerine, çatıda 4. düzeydeki 200 mm. cam yünü kullanarak 0,185 (W/m²K) U-değerine, zeminde 1. düzeydeki 80 mm. XPS kullanarak 0,342 (W/m²K) U-değerine, pencerelerde 4. düzeydeki Isıcam 4+16+4+16+4 (Argon) Konfor kullanarak 0,6 (W/m²K) U-değerine ulaşılmıştır.

Üçüncü sette öncelik sıralamasında birinci sırada yer alan S12’de; duvarda 4. düzeydeki 200 mm. EPS kullanarak 0,149(W/m²K) U-değerine, çatıda 3. düzeydeki 180 mm. cam yünü kullanarak 0,204 (W/m²K) U-değerine, zeminde 1. düzeydeki 80 mm. XPS kullanarak 0,342 (W/m²K) U-değerine, pencerelerde 2. düzeydeki Isıcam 4+16+4 (Argon) Konfor kullanarak 1,1 (W/m²K) U-değerine ulaşılmıştır.

Tüm senaryolar arasında, 256 alternatifin en yüksek performanslı olanını saptamak amacıyla TOPSIS uygulanmıştır ve en yüksek performanslı senaryo bulunmuştur. Tüm senaryolar arasındaki en yüksek performans puanına sahip senaryoda; duvarda 4. düzeydeki 200 mm. EPS kullanarak 0,149(W/m²K) U-değerine, çatıda 4. düzeydeki 200 mm. cam yünü kullanarak 0,185 (W/m²K) U-değerine, zeminde 1. düzeydeki 80 mm. XPS kullanarak 0,342 (W/m²K) U-değerine, pencerelerde 2. düzeydeki Isıcam 4+16+4 (Argon) kullanarak 1,1 (W/m²K) U-değerine ulaşılmıştır.

256 senaryoya ait TOPSİS sonrası performans puanları dağılımını gösteren grafik Şekil 5.21’de gösterilmektedir. Grafikte kırmızı ok ile gösterilen tüm senaryolar arasındaki en iyi performansa sahip senaryo iken, yeşil ok ile gösterilenler birinci, ikinci ve üçüncü setin en iyi performansa sahip senaryolarıdır.





Şekil 5.21 TOPSİS yöntemi ile performans puanlaması yapılmış tüm senaryolar

Şekil 5.21'deki grafikte yatayda senaryolar, düşeyde ise performans puanları gösterilmektedir. İlk yeşil işaret 41 numaralı senaryoyu temsil etmektedir ve ilk set için en iyi performansı gösteren senaryodur. 2. yeşil işaret ise; 149 numaralı senaryoyu temsil etmektedir ve ikinci set için en iyi performansı gösteren senaryodur. Son olarak 3. yeşil işaret ise; 166 numaralı senaryoyu temsil etmektedir ve üçüncü set için en iyi performansı gösteren senaryodur.

Kırmızı ile işaretli nokta ise, tüm olası senaryolar içerisindeki performans puanı en yüksek olan 125 numaralı senaryodur. 3 set ve tüm kombinasyonlar karşılaştırıldığında en iyi performanslı senaryoya parametre ve düzey kombinasyonu açısından %90 üstünde yakınlık sağlandığı görülmektedir.

Üç setin ayrı ayrı ve tüm sistem içindeki en iyi performanslı senaryolara ait değerler Tablo 5.66'da gösterilmektedir.

Tablo 5.67 3 set için ve tüm kombinasyonlar için TOPSIS sonuçları

Senaryo	m ² için yatırım tutarı (TL)	m ² için Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Toplam Enerji İhtiyacı [kWh/m ²]	m ² için Enerji Tasarrufu kWh/m ²	Tasarruf Yüzdesi %	Ort yıllık karın yat. tutarına oranı (%)	Geri Ödeme Süresi (YIL)	CC	Perf.%	Sıralama
41	426,831	15,443	65,986	91,046	57,970	0,128	7,813	0,745	98,58%	2
125	405,954	16,493	68,326	88,707	56,481	0,131	7,627	0,756	100,00%	1
149	425,535	16,020	66,768	90,264	57,472	0,127	7,857	0,724	95,73%	5
166	404,658	17,061	69,092	87,941	55,992	0,130	7,669	0,715	94%	7

Yapılan iyileştirmeler ile elde edilen simülasyon sonuçlarına göre 41 numaralı senaryonun ısıtma enerjisi ihtiyacı 15,443 kWh/m², m² için toplam enerji ihtiyacı 65,986 kWh/m² olarak bulunmuştur. Mevcut binaya ait veriler ile S41'e ait iyileştirmelerin karşılaştırılması yoluyla; m² için enerji tasarrufu 91,046 kWh/m², tasarruf yüzdesi %57,970 olarak bulunmuştur. Maliyet analizi ile de m² için yatırım

tutarı 426,831 TL, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı 0,128, geri ödeme süresi 7,813 yıl bulunmuştur.

Yapılan iyileştirmeler ile elde edilen simülasyon sonuçlarına göre 125 numaralı senaryonun ısıtma enerjisi ihtiyacı 16,493 kWh/m², m² için toplam enerji ihtiyacı 68,326 kWh/m² olarak bulunmuştur. Mevcut binaya ait veriler ile S125'e ait iyileştirmelerin karşılaştırılması yoluyla; m² için enerji tasarrufu 88,707 kWh/m², tasarruf yüzdesi %56,481 olarak bulunmuştur. Maliyet analizi ile de m² için yatırım tutarı 405,954 TL, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı 0,131, geri ödeme süresi 7,627 yıl bulunmuştur.

Yapılan iyileştirmeler ile elde edilen simülasyon sonuçlarına göre 149 numaralı senaryonun ısıtma enerjisi ihtiyacı 16,020 kWh/m², m² için toplam enerji ihtiyacı 66,768 kWh/m² olarak bulunmuştur. Mevcut binaya ait veriler ile S149'a ait iyileştirmelerin karşılaştırılması yoluyla; m² için enerji tasarrufu 90,264 kWh/m², tasarruf yüzdesi %57,471 olarak bulunmuştur. Maliyet analizi ile de m² için yatırım tutarı 425,535 TL, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı 0,127, geri ödeme süresi 7,857 yıl bulunmuştur.

Yapılan iyileştirmeler ile elde edilen simülasyon sonuçlarına göre 166 numaralı senaryonun ısıtma enerjisi ihtiyacı 17,061 kWh/m², m² için toplam enerji ihtiyacı 69,092 kWh/m² olarak bulunmuştur. Mevcut binaya ait veriler ile S166'a ait iyileştirmelerin karşılaştırılması yoluyla; m² için enerji tasarrufu 87,941 kWh/m², tasarruf yüzdesi %55,992 olarak bulunmuştur. Maliyet analizi ile de m² için yatırım tutarı 404,658 TL, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı 0,130, geri ödeme süresi 7,669 yıl bulunmuştur.

Setler içerisindeki en iyi senaryoların biri tüm sistem içerisinde ikinci sırada yer alırken diğeri beşinci sırada yer almaktadır. TOPSIS sıralaması sonucunda en iyi senaryoya yakın performans gösteren senaryolar seçilebildiği ama %100 en

performanslı senaryoyu seçmenin mümkün olmadığı görülebilmektedir. Ancak belirlenen bir yanıt üzerinde, ana etki yöntemi ile parametrelerin en iyi düzey kombinasyonunun yapılması yoluyla en iyi senaryo elde edilebilmektedir.



BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez kapsamında, mevcut binalarda enerji performansını iyileştirmeye yönelik geliştirilmiş bir sertifika sistemi olan EnerPHit sisteminin Türkiye'nin İzmir ilinde uygulanması durumunda elde edilecek enerji kazanımları ve maliyet etkinlik araştırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda; EnerPHit sertifika sistemi doğrultusunda iyileştirme yapılacak yapı bileşenleri yani parametreler belirlenmiştir. Bu parametrelerdeki iyileştirmeler binanın enerji ihtiyacını da farklı oranlarda etkilemektedir. Çalışmada enerji etkin iyileştirme yapmak amacıyla seçilen parametreler; çatı, duvar, zemin ve pencerelerdir. Belirlenen parametrelere farklı düzeylerde yalıtım yapılması hedeflenmiş bu sebeple de 2017 yılına kadar sertifikalanmış dünyadaki tüm EnerPHit sertifikalı yapılar, yalıtım malzemeleri, yalıtım kalınlıkları, bina tipleri, bina büyüklükleri ve iyileştirme sonucunda elde edilen enerji tüketim değerleri vb. açısından geniş kapsamlı değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda, Türkiye'de de kolay ulaşılabilen, yaygın kullanıma sahip, incelenen örneklerde sık kullanılmış olan malzemeler belirlenmiştir. Aynı zamanda, İzmir ile benzer iklim bölgelerinde tercih edilen yalıtım malzemeleri ve kalınlıkları da, yalıtım düzeyleri belirlenirken dikkate alınmıştır.

Dört farklı parametre (duvar, çatı, zemin ve pencere) ve bu parametrelere ait dörder düzey (farklı yalıtım düzeyleri) belirlenmiştir. Parametre ve düzeylere ait tüm olası kombinasyonların enerji ve maliyet analizlerinin yapılabilmesi için 256 simülasyon yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada seçilen parametre ve düzey sayısı 256 simülasyon gerektirse de, artan parametre ya da düzey sayısı ile birlikte bu sayı binlerce simülasyon sayısına ulaşabilmektedir. Binalarda enerji performansını iyileştirmek ya da geri dönüş süreleri açısından en etkin senaryoyu uygulamak gibi sorularla yola çıkıldığında, parametre sayıları arttıkça simülasyon sayıları artmakta ve bu da pratikte uygulanamaz bir hale gelmektedir. Uygulanması zaman, maliyet açısından sorun teşkil ettiği gibi hata yapma olasılığı artarak sonuçların güvenilirliği

azalmaktadır. Bu sebeple, simülasyon ya da deney çalışmalarını içeren bilim dallarında sıklıkla kullanılan bir istatistiksel yaklaşım olan deney tasarımı yöntemi bu çalışmada kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yaklaşım teorik olarak dördüncü bölümde aktarılmıştır. Bu yöntem, enerji performansını arttırmayı, enerji tüketimini minimize etmeyi hedefleyen tasarımcılar tarafından çalışmalarına ya da pratikteki uygulamalarına uyarlanıp hızlı ve kesin sonuçlar elde edilmesini sağlayabilecektir.

Araştırmanın Pasif Ev EnerPHit sertifikası sınır değerleri kapsamında yapılması, iyileştirme parametreleri ve seviyelerinin mevcut örnekler araştırılarak belirlenmesi, İzmir iklim verileri ile çalışılması, önerilen yaklaşımın tek katlı bir bina üzerinden uygulanması bu çalışmanın sınırlarını oluşturmaktadır.

Binalarda enerji performansı ya da maliyet etkinlik açısından en iyi alternatifin belirlenmesi önerilen yöntem İzmir’de mevcut bir binaya uygulanmıştır. İzmir ili Karşıyaka ilçesinde bulunan tek katlı bit mevcut konut yapısı, Design Builder simülasyon programı aracılığı ile modellenmiş ardından kalibrasyonu yapılmıştır. Mevcut binaya ait yıllık ısıtma, soğutma ve birincil enerji ihtiyaçları bulunmuştur. Simülasyon programına girmek ve tüketim değerlerini elde etmek amacıyla deney tasarımı yoluyla 16 farklı iyileştirme senaryo alternatifi belirlenmiştir. Senaryolar için ısıtma, soğutma ve birincil enerji ihtiyaçları, ilk yatırım maliyetleri, geri ödeme süreleri ve ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranları belirlenmiştir.

Senaryoların sonuçlarının, enerji ya da maliyet etkinlik açısından incelenmesi amacıyla sonuç verileri iki farklı yöntemle analiz edilmiştir. İlk yöntem, senaryoların enerji tüketimi ya da maliyet etkinlik açısından ayrı ayrı değerlendirilmesine olanak sağlayan ana etkiler (main effect) yöntemidir. Bu yöntem ile senaryolar, enerji tasarrufu açısından, geri ödeme süresi açısından, ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

- Enerji tasarrufu açısından incelendiğinde parametrelerin en etkin düzeyleri, pencere için 0,6 (W/m²K), duvar için 0,149 (W/m²K), zemin için 0,342 (W/m²K), çatı için ise 0,185 (W/m²K) olduğu U-değerleri olarak belirlenmiştir.
- Geri ödeme süresi açısından incelendiğinde parametrelerin en etkin düzeyleri, pencere için 1,1 (W/m²K), duvar için 0,239 (W/m²K), zemin için 0,342 (W/m²K), çatı için ise 0,185 (W/m²K) olduğu U-değerleri olarak belirlenmiştir.
- Isıtma enerjisi açısından incelendiğinde parametrelerin en etkin düzeyleri, pencere için 0,6 (W/m²K), duvar için 0,149 (W/m²K), zemin için 0,203 (W/m²K), çatı için ise 0,185 (W/m²K) olduğu U-değerleri olarak belirlenmiştir.
- Ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı açısından incelendiğinde parametrelerin en etkin düzeyleri, pencere için 1,1 (W/m²K), duvar için 0,239 (W/m²K), zemin için 0,342 (W/m²K), çatı için ise 0,185 (W/m²K) olduğu U-değerleri olarak belirlenmiştir.

Parametrelerin farklı açılardan farklı etki dereceleri ve etkinlik düzeyleri bulunmaktadır. Elde edilen etki grafikleri ile etki dereceleri ve en etkin düzeyleri farklı sonuçlar için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Yapılan uygulama çalışmasında; toplam enerji tüketimine etki açısından çatı, duvar ve pencerelerde en yüksek yalıtımın yapıldığı, zeminde ise en düşük yalıtımın yapıldığı senaryonun en etkin alternatif olduğu saptanmıştır. Isıtma enerjisi tüketimi açısından değerlendirildiğinde ise tüm parametrelerin en yüksek yalıtıma sahip düzeylerinin bulunduğu senaryonun en etkin alternatif olduğu görülmektedir. Maliyet açısından değerlendirildiğinde ise, tüm senaryolar arasında geri ödeme süresi en kısa olan yani en karlı olan senaryonun, pencerenin ikinci düzeyde, duvarın en az düzeyde (birinci düzey), zeminin en az düzeyde (birinci düzey), çatının ise en yüksek düzeyde (dördüncü düzey) yalıtım yapıldığı senaryo olduğu saptanmıştır.

16'lı deney tasarım seti üzerinden, ana etki yöntemi kullanılarak oluşturulan, hedefe yönelik optimum kombinasyonlar belirlenmiştir. Daha sonra tüm olası senaryo kombinasyonları, yani 256 farklı iyileştirme simülasyonu, modelde uygulanmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları ve yapılan maliyet analizleri ile tüm senaryolar kendi içerisinde değerlendirilmiştir. Ana etki yöntemi ile ulaşılan; birincil enerji tüketimi, ısıtma enerjisi tüketimi, geri ödeme süresi, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranına göre en iyi senaryolar; tüm senaryolar arasındaki en iyi senaryolar ile %100 uyumlu bulunmuştur.

Çalışmanın değerlendirme aşamasında ikinci olarak; çok kriterli performans puanlaması yapılmasına olanak sağlayan TOPSİS yöntemi ile 16'lı set değerlendirilmiştir. Bu aşamada performans puanlamasına etki eden kriterler; m² için yatırım tutarı, m² için ısıtma enerjisi ihtiyacı, m² için toplam enerji ihtiyacı, m² için enerji tasarrufu, tasarruf yüzdesi, ortalama yıllık karın yatırım tutarına oranı, geri ödeme süresi olarak karar matrisinde kullanılmıştır. Her bir kriterin performans puanına etki ağırlığı aynı kullanılmıştır.

TOPSİS yöntemi ile değerlendirme aşamasında, iki farklı ortogonal dizi, bir diğer deyişle üç farklı 16'lı senaryo seti kullanılmıştır. Her üç set için, TOPSİS değerlendirme süreci adımları uygulanmış ve üç set için ayrı ayrı en iyi senaryo belirlenmiştir. İlk set için çok kriterli değerlendirme sonucunda en yüksek performans puanına sahip senaryonun, duvarın dördüncü düzeyinin, çatının üçüncü düzeyinin, zeminin birinci düzeyinin, pencerenin dördüncü düzeyinin kullanıldığı senaryo olduğu saptanmıştır. İkinci senaryo seti için çok kriterli değerlendirme sonucunda en yüksek performans puanına sahip senaryonun, duvarın dördüncü düzeyinin, çatının dördüncü düzeyinin, zeminin birinci düzeyinin, pencerenin dördüncü düzeyinin kullanıldığı senaryo olduğu saptanmıştır. Üçüncü senaryo seti için ise çok kriterli değerlendirme sonucunda en yüksek performans puanına sahip senaryonun, duvarın dördüncü düzeyinin, çatının üçüncü düzeyinin, zeminin birinci düzeyinin, pencerenin ikinci düzeyinin kullanıldığı senaryo olduğu saptanmıştır.

Simülasyonları ve maliyet analizleri yapılan tüm kombinasyonlar arasındaki en iyi performans puanına sahip senaryonun, üç farklı setin en yüksek performansı puanına sahip senaryosu ile benzerliği ya da yakınlığını saptamak amacıyla, 256 senaryo için TOPSİS karar matrisi oluşturulmuştur. Tüm senaryoların belirlenmiş kriterler doğrultusunda performans puanları sıralanmıştır. 256 senaryonun yani olabilecek tüm alternatifler arasındaki en yüksek performans puanına sahip senaryo belirlenmiştir. Tüm senaryolar arasındaki en yüksek performansa sahip senaryonun, duvarın dördüncü düzeyinin, çatının dördüncü düzeyinin, zeminin birinci düzeyinin, pencerenin ikinci düzeyinin kullanıldığı senaryo olduğu saptanmıştır. Üç ayrı sete ait en yüksek performans puanına sahip senaryolar ile, tüm olası senaryo kombinasyonları arasındaki en yüksek performansa sahip senaryo karşılaştırıldığında, yaklaşık %90 yakın parametre seviye düzeyleri olduğu görülmektedir. Çok kriterli bir değerlendirme yapmak istendiğinde TOPSİS yöntemi ile deney seti arasında sıralama yapıldığında, en yüksek puandan en düşük puana sıralamanın ve en iyi senaryoların oldukça yakın ve uyumlu olduğu görülebilmektedir.

Çalışmada EnerPHit sertifika sisteminin İzmir ilinde mevcut tek katlı bir yapıya uygulandığında, optimum parametre düzey kombinasyonlarının seçildiği durumda, mevcut tüketim değerlerine göre birincil enerji ihtiyacında % 57,97 tasarruf yapılabildiği saptanmıştır. Ayrıca m² için ısıtma enerjisi ihtiyacı en etkin parametre düzey kombinasyonunda 14,7964 [kWh/m²], toplam enerji ihtiyacı [kWh/m²] 65,9864, geri ödeme süresi ise 7,4971 yıl olduğu saptanmıştır.

Türkiye’de binalarda enerji tüketiminin diğer sektörler göre en yüksek paya sahip olduğu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan sektörler göre enerji dağılımı raporlarına göre bilinmektedir. Ayrıca, binalar arasında da en yüksek enerji tüketim payının %89 oranı ile meskenlere ait olduğu da ifade edilmektedir. Dolayısıyla, binalarda özellikle de konutlarda belirli standart, sertifika, yasa ve yönetmelikler çerçevesinde yapılacak enerji etkin iyileştirmenin ülke çapındaki enerji tüketimine etkisinin büyük olacağı açıkça görülmektedir. Yaklaşık %60 enerji

tasarrufunun tüm mevcut binalarda sağlanması sonucunda, ülkenin enerji tüketimi büyük oranda azalacaktır. Bu durumda da hem ekolojik hem ekonomik olarak sürdürülebilir ve refah bir yaşam sağlanmış olacaktır.

Çalışma kapsamında izlenen yöntem, binalarda enerji performansını arttırmak amacıyla yapılacak iyileştirme çalışmalarında, sezgisel, tahmini ya da deneyimlere dayanan seçimler yapmak yerine, hızlı ve kolay uygulanabilen, en etkin sonuca kesin ulaştıran bir yöntemdir. Önerilen yaklaşımın, farklı bina tipleri, farklı parametre-seviye düzeyleri, farklı iklim koşulları ya da farklı araştırma hedeflerine uyarlanabilir olması sebebiyle; binalarda enerji ve/veya maliyet etkinlik araştırıldığı çalışmalarda kullanılabilmesi açısından büyük potansiyele sahiptir. Bu çalışmada sadece Pasif Ev sertifikasına yönelik parametreler kullanılmış olsa da ileriki çalışmalarda aktif sistemlerin de birer parametre olarak belirlendiği, daha fazla parametre sayısına sahip veri setlerine uygun deney planı seçilerek, bu çalışmada olduğu gibi az sayıda deney yapıp optimum sonuçlara ulaşılacaktır. Ya da yeni yapılacak binalar için, yön, pencere alanı, gölgeleme elemanı kullanımı gibi parametrelerin de veri setinde kullanılması ile farklı parametre ve düzey sayıları için uygun deney planı seçimi ile sonuca ulaşılacaktır. Önerilen yaklaşım kısaca; araştırmacının başlangıç parametreleri ve hedeflediği sonuçlara yönelik uyarlanabilir olması sebebiyle farklı araştırma konularında da kullanılabilecektir.

Yöntem İzmir ilinde mevcut bir bina üzerinde uygulanmış, etkinliği ve bu alanda uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmada izlenen yöntem farklı iklim koşulları, farklı parametreler, farklı yapı tipleri, farklı parametre düzeyleri ya da farklı araştırma soruları üzerinde de uygulanabilecektir. Bu sayede binalarda enerji performansını etkileyen farklı parametre ve koşullar, hızlı ve net bir süreç ile değerlendirilip en uygun alternatif belirlenebilecektir. Özellikle mevcut binaların iyileştirilmesi her bina tipi ve iklim koşulu için kendine özgü iyileştirme kararı alınması gerektirdiğinden, bu yöntem ile çok sayıda bina için çok hızlı optimum iyileştirme kararları alınabilecektir.

Ayrıca Türkiye’de şu ana kadar sertifikalanmış biri EnerPHit sertifikalı olmak üzere sadece iki adet Pasif Ev sertifikasına sahip yapı bulunmaktadır. Pasif Ev sertifikası için Avrupa’daki sertifikalı binalar incelendiğinde yüksek yalıtım kalınlıkları kullanıldığı gör÷lmektedir. Bu durum da maliyet açısından önyargı oluşturmaktadır. Ancak maliyet ya da enerji etkinlik açısından karar vermeyi sağlayan bu yaklaşım kullanıldığında bilinmezlik azalacak ve hatta Pasif Ev sertifika sisteminin Türkiye’de kullanımı artabilecektir. Hızlı bir öngörü ve karar sağlayan bu yöntem ile binalarda enerji etkin iyileştirme çalışmalarının hızlanması ve yaygınlaşması arttırılabilecektir. Bu durumda da özellikle günümüz ekonomik koşullarına adaptasyon ve sürdürülebilir bir çevre açısından geleceğe yönelik önemli bir adım atılmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Addelman, S. (1962). Symmetrical and asymmetrical fractional factorial plans. *Technometrics*, 4(1), 47-58.
- Adıgüzel, D. (2012). *Beton üretiminde en uygun agrega karışımının lineer programlama ile belirlenmesi*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Allard, F. (1998). *Natural ventilation in buildings*. A design handbook..
- Anderson, B. (1977). *Solar energy: fundamentals in building design*.
- Antony, J. (2014). *Design of experiments for engineers and scientists*. Elsevier.
- ASHRAE, A. G. (2002). Guideline 14-2002: Measurement of Energy and Demand Savings. *ASHRAE, Atlanta*.
- Ashrafian, T. (2016). *A new approach to define economically applicable energy efficient retrofit solutions for residential buildings in Turkey*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Asimakopoulou, D., & Santamouris, M. (2013). *Passive cooling of buildings*. Routledge.
- Aşıkoğlu, A. (2014). *Sürdürülebilir yapılarda pasif sistemlerin irdelenmesi ve kullanılan teknikler açısından karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Aşıkoğlu A. ve Altın M. (2016). *Passive System Techniques Used in Sustainable Buildings*, IEE8E, Afyonkarahisar, Türkiye, Mayıs 2016.

Aşıkoğlu R., Kaderli Y., Demir S., Çelikkol H. (2011). *Yatırım Projelerinin Hazırlanması Değerlendirilmesi ve Realize Edilmesi* (2. Baskı).Sözkesen Matbaacılık.

Athienitis, A. K. ve Santamouris, M. (2002). *Thermal analysis and design of passive solar buildings*. Routledge.

Baker, N. ve Steemers, K. (2005). *Energy and environment in architecture: a technical design guide*. Taylor & Francis.

Balçıkanlı, M. (2020). *Lifli hibrit betonların mekanik ve durabilite özelliklerinin araştırılması ve performans optimizasyonu*. Doktora Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun.

Bansal, N.K., Hauser, G., Minke, G. (1994) *A Passive Handbook of Building Natural Climate Dizayn Control*. Elsevier Science B.V.

Bilgiç, S. (2003). *Passive solar dizayn strategies for buildings: a case study on improvement of an existing residential building's thermal performance by passive solar dizayn tools*. Yüksek Lisans Tezi. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, (2008). 04 Mayıs 2021, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm>

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, (2010). 17 Mayıs 2021, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/04/20100401-5.htm>

Bharath, K. N., Manjunatha, G. B., & Santhosh, K. (2019). Failure analysis and the optimal toughness design of sheep–wool reinforced epoxy composites. In *Failure Analysis in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites* (pp. 97-107). Woodhead Publishing.

Building Performance Institute Europe-BPIE, (2015). *Nearly zero energy buildings definitions across europe*.

Building Performance Institute Europe-BPIE, (2011). *Principles For nearly Zero-Buildings*.

Büker, S., Aşıkoğlu, R., & Sevil, G. (2018). *Finansal Yönetim* (9. Baskı). Ankara: Sözkesen Matbaacılık.

Bütünleşik Bina Tasarım Yaklaşımı Uyarlama Raporu, (2016). 09 Mart 2020, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/mesleki hizmetler/ustmenu/ustmenu837.pdf>

Christie, M. A., Glimm, J., Grove, J. W., Higdon, D. M., Sharp, D. H., & Wood-Schultz, M. M. (2005). Error analysis and simulations of complex phenomena. *Los Alamos Science*, 29(6), 6-25.

Çayır, B. (2018). *Yenilenebilir enerji planlaması için bütünleşik çok amaçlı bir karar modeli önerisi*. Doktora Tezi, Üniversitesi, Ankara.

Çelik, E. (2021). *Determination of ageing properties of turkish stones and investigation the effectiveness of diammonium phosphate consolidant*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2019). 15 Haziran 2020, <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/binalarda-enerjiverimlilik-i-85813>

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2021). 04 Mayıs 2020, <https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587>

Çınar, K. (2021). *Ozmotik membran distilasyon sisteminde galaktooligosakkarit sentezinin optimizasyonu ve kinetik modellenmesi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Çömlekçi, N. (2003). *Deney tasarımı ilke ve teknikleri*. Alfa.

Danacıoğlu, N. ve Muluk, F. Z. (2005). Taguchi techniques for 2^k fractional factorial experiments. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 34(1), 83-93.

Demircioğlu, E. (2021). *Çevre etki değerlendirmesinde kullanılan çok kriterli karar verme teknikleri*. Doktora Tezi, Galatasaray Üniversitesi, İstanbul.

Demirel, B. (2013). *Pasif ev uygulamasının Türkiye için değerlendirilmesine yönelik bir çalışma*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Dilbaş, H. (2020). *Geri kazanılmış agrega kullanımının beton özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Doğan, Z. (2012). *Sürdürülebilir konutlar için bir değerlendirme sistemi önerisi*. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

Durakovic, B. (2017). Design of experiments application, concepts, examples: State of the art. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 5(3).

Enerji Verimliliği Kanunu, (2007). 11 Nisan 2020, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070502-2.htm>

- Erikci, S. N. (2020). *Farklı iklim bölgelerinde yapı kabuğu performansının belirlenmesine yönelik bir yaklaşım: yüzeyden ısıtma sistemli modüler hibrit duvar örneği*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Erkan, K. (2020). *Bakteriyorodopsin üretimi, saflaştırılması ve biyo optoelektronik cihazlarda kullanım potansiyelinin araştırılması*. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Erten, D. (2009). Türkiye için yeşil bina sertifikası ve çözüm önerileri. *Yapı Dergisi Yapıda Ekoloji Eki*, 329, 50-55.
- Erten, D. (2010). Uluslararası Yeşil Bina Sertifika Sistemleri ve Türkiye, *Tesisat Dergisi*, 175.
- ETKB Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü [EİE] (2008). *Elektrik Motor Sistemlerinde Enerji Verimliliği*.
- EU Commission Report, (2010). Directive 2010/31/EU. *European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (recast)*, Off. J. Eur. Union, 13–35.
- EU Commission Report, (2013). *Progress by Member States towards Nearly Zero-Energy Buildings*.
- EU Commission Report, (2018). *Directive 2018/844/EU*. 22 Temmuz 2021, https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.156.01.0075.01.ENG
- EU Commission Report, (2021). *Directive 2021/0203*. Directive Of The European Parliament And Of The Council on Energy Efficiency (Recast)

Fowlkes, W. Y., & Creveling, C. M. (1995). *Engineering methods for robust product design: using Taguchi methods in technology and product development*. Addison-Wesley Publishing Company.

Ganiç, N. (2012). *Minimum enerji performans gereksinimlerine ilişkin optimum maliyet düzeyinin ofis binalarındaki iyileştirmeler için hesaplanması*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

Ge, Z., Gao, Z., Sun, R., & Zheng, L. (2012). Mix design of concrete with recycled clay-brick-powder using the orthogonal design method. *Construction and Building Materials*, 31, 289-293.

Gong, W., Cai, Z., & Jiang, L. (2008). Enhancing the performance of differential evolution using orthogonal design method. *Applied Mathematics and Computation*, 206(1), 56-69.

Gökçe, B., & Taşgetiren, S. (2009). Kalite için deney tasarımı. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 71-83.

Görgün, E. (2020). *Örgü keçelerin sızdırmazlık performansının incelenmesi*. Doktora Tezi, Sabancı Üniversitesi, İstanbul.

Gücyeter, B. (2010). *A metot on energy-efficient retrofitting for existing building envelopes*, İzmir Institute of Technology, Doktora Tezi, İzmir.

Güleryüz, S. (2017). *Etkin yenilenebilir enerji kaynakları seçim problemi için önerilen yeni entegre mcdm yaklaşımları*. Doktora Tezi, Galatasaray Üniversitesi, İstanbul.

Hasgül, Ö. (2010). *Üretim parametrelerinin güçlü tasarımı ve bir gıda işletmesinde uygulanması*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

Hermelink, A., Schimschar, S., Boermans, T., Pagliano, L., Zangheri, P., Armani, R., ... & Musall, E. (2013). *Towards nearly zero-energy buildings*. Definition of common principles under the EPBD. Final report.

İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı. (2011). *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*. https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/file/eylem%20planlari/Iklim%20Degisikligi%20Eylem%20Plani_TR.pdf

James, M. (2015). *Net Zero Energy Buildings Passive House + Renewables*. Published by Low Carbon Productions.

Karaca, Ü., & Çetinbaş, K. F. (2015). Sürdürülebilir yapı tasarımının Türkiye'deki ve dünyadaki yasal düzenlemeler açısından incelenmesi. In *2nd International Sustainable Buildings Symposium* (pp. 1053-1061).

Kim, S. J., Cho, Y. G., Oh, C. S., Kim, D. E., Moon, M. B., & Han, H. N. (2009). Development of a dual phase steel using orthogonal design method. *Materials & Design*, 30(4), 1251-1257.

Kobilinsky, A., Monod, H., & Bailey, R. A. (2017). Automatic generation of generalised regular factorial designs. *Computational Statistics & Data Analysis*, 113, 311-329.

Korucu, H. (2019). *Karbon kaynaklı malzeme katkılı beton harcının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırılması: bir deneysel tasarım tabanlı çok yanıtlı optimizasyon uygulaması*. Doktora Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı.

Kurtuluş, C. (2021). *Uçucu kül esaslı geopolimer köpük beton özelliklerinin geliştirilmesi*. Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.

- Kuyrukçu, Z. (2019). *Üniversitelerin yer seçiminde yararlanılabilecek yeni bir yöntem önerisi*. Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Lei, G., Guo, Y. G., Zhu, J. G., Chen, X. M., Xu, W., & Shao, K. R. (2012). Sequential subspace optimization method for electromagnetic devices design with orthogonal design technique. *IEEE Transactions on Magnetics*, 48(2), 479-482..
- Leung, Y. W., & Wang, Y. (2001). An orthogonal genetic algorithm with quantization for global numerical optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary computation*, 5(1), 41-53.
- Liu, G., Lin, Z., & Bao, Y. (2002). Improving dimensional accuracy of a u-shaped part through an orthogonal design experiment. *Finite Elements in Analysis and Design*, 39(2), 107-118.
- Liu, Y., Deng, R., Hao, M., Yan, H., & Yang, W. (2010). Orthogonal design study on factors effecting on fibers diameter of melt electrospinning. *Polymer Engineering & Science*, 50(10), 2074-2078..
- Li, H., Jiao, Y. C., Zhang, L., & Gu, Z. W. (2006, September). Genetic algorithm based on the orthogonal design for multidimensional knapsack problems. In *International conference on natural computation* (pp. 696-705). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ma, S., Wang, H., Wang, Y., Bu, H., & Bai, J. (2011). Bio-hydrogen production from cornstalk wastes by orthogonal design method. *Renewable Energy*, 36(2), 709-713.
- Mandal, V., Mohan, Y., & Hemalatha, S. (2008). Microwave assisted extraction of curcumin by sample–solvent dual heating mechanism using Taguchi L9 orthogonal design. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 46(2), 322-327.

Mahieux, C. A. (2005). *Environmental degradation of industrial composites*. Elsevier.

Mercan, Ş. (2019). *Deney tasarımı ve yapay zeka tekniklerinden yararlanarak ürün kalitesinin geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.

Montgomery, D. C. (2005). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & Sons.

NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, (09 Temmuz 2021),
<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>

OeEB by Allplan GmbH, (2013). *Energy Efficiency Finance Country Report: Turkey*. Vienna, AUSTRIA.

Olağanüstü Hal Kapsamında Bazı Tedbirler, (2017). 26 Nisan 2019,
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/01/20170106M1-1.htm>

Oral, G. K. (2007). Sağlıklı Binalar için Enerji Verimliliği ve Isı Yalıtımı. VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı, 253-264.

Orhunbilge, N. (2000). *Tanımsal istatistik olasılık ve olasılık dağılımları*. İstanbul Üniversitesi Yayınları.

Özbilen, B. (2021). *Ses yalıtım ve maliyet performansına bağlı duvar tipi seçimi için bir yaklaşım*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Özgür, N. (2008). *Enerji verimliliği ve suyun verimli kullanılması*. 04 Mayıs 2020,
https://www.sanayi.gov.tr/download/tuketici/enerji_verimlilik.zip

Özhan, S. (2020). *Cw625n pirinç alaşımlarda ısı işlemi uygulanmadan standart altında (iso 6509) dezinifikasyon direncinin azaltılması*. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Özteker, S. S. Ç. (2005). Ekolojik Tasarımda Mimari Tesisat İlişkileri. *TTMD Dergisi*.

Özyürek, İ. (2018). *Kamu yapım ihalelerinde yüklenici seçimi için alternatif bir yöntem önerisi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Plackett, R. L., & Burman, J. P. (1946). The design of optimum multifactorial experiments. *Biometrika*, 33(4), 305-325.

Ross, P. J. (1996). *Taguchi techniques for quality engineering: loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design*. (2. Baskı), New York : McGraw-Hill.

Ruijiang, L., Yewang, Z., Chongwei, W., & Jian, T. (2010). Study on the design and analysis methods of orthogonal experiment. *Experimental Technology and Management*, 27(9), 52-55.

Sahoo, P. (2012). Tribological performance of electroless Ni-P coatings. In *Materials and Surface Engineering* (pp. 163-205). Woodhead Publishing.

Schnieders, J. (2003). CEPHEUS–measurement results from more than 100 dwelling units in passive houses. *European Council for an Energy Efficient Economy: Summer Study*, 2003.

Sev, A., & Canbay, N. (2009). Yeşil bina değerlendirme-sertifika sistemleri. *Gayrimenkul Türkiye Dergisi*. 15 Şubat 2022,

https://www.gyoder.org.tr/uploads/Yay%C4%B1nlar/sektorel_yayinlar/GYODER_PDF____20140605153004_2996yesil-degerleme.pdf.

Sev, A., & Canbay, N. (2009). Dünya genelinde uygulanan yeşil bina değerlendirme ve sertifika sistemleri. *Yapı Dergisi Yapıda Ekoloji Eki*, 329, 42-47.

Sharma, P., Verma, A., Sidhu, R. K., & Pandey, O. P. (2005). Process parameter selection for strontium ferrite sintered magnets using Taguchi L9 orthogonal design. *Journal of materials processing technology*, 168(1), 147-151.

Sousa, J. (2012, September). Energy simulation software for buildings: review and comparison. In *International Workshop on Information Technology for Energy Applicatons-IT4Energy, Lisabon* (p. 12).

Soykan, B., Erol, S. (2015). *Simülasyon Deneyleri Tasarımı: Bir Simülasyon Modeli Üzerinde Karşılaştırmalı Çalışmalar*. Usmos, Sy 188.

Su, L., Zhang, J., Wang, C., Zhang, Y., Li, Z., Song, Y., ... & Ma, Z. (2016). Identifying main factors of capacity fading in lithium ion cells using orthogonal design of experiments. *Applied Energy*, 163, 201-210.

Şengezer O., (2011). *Pasif ev sistemlerinde enerjinin etkin kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.

Şenoğlu, B., & Acıtaş, Ş. (2011). *İstatistiksel deney tasarımı: sabit etkili modeller*. Nobel.

Taylan, D. (2009). *Taguchi deney tasarımı uygulaması geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

The U.S. Department of Energy by The National Institute of Building Sciences, (2015). *A Common Definition for Zero Energy Buildings*. 11 Nisan 2020, <https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/common-definition-zero-energybuildings#:~:text=Generally%20speaking%2C%20a%20zero%20energy,campuses%2C%20portfolios%2C%20and%20communities.>

Thullner, K. (2010). Low-energy buildings in Europe-Standards, criteria and consequences-a study of nine European countries. *TVIT-5019*. 15 Şubat 2022, <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1585765&fileId=1585770>

Türkiye Petrolleri, (2014). *Ham petrol ve doğalgaz sektör raporu*. Ankara.

Utkutuğ, G., (1999). Binayı Oluşturan Sistemler Arasındaki Etkileşim ve Ekip Çalışmasının Önemi Mimar Tesisat Mühendisliği İşbirliği. *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Bilimsel/Teknolojik Çalışmalar*, İzmir .

Umass, (2021). 15 Haziran 2021, <https://www.umass.edu/>

Ülgen, K. (Bt.). *Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği*, Seminer Sunumu.

Uzun, G. (2021). *Zaman Pencereci Tamirci Problemi Ve Uzantılarının Yeni Matematiksel Modelleri*. Doktora Tezi, Başkent Üniversitesi, Ankara.

Waltjen, T., Pokorny, W., Zelger, T., Torghele, K., Mötzl, H., Bauer, B., ... & Unzeitig, U. (2008). Details for passive houses. A catalogue of ecologically rated constructions. *ed: Springer, Wien*.

Xin, Q. (2013). Optimization techniques in diesel engine system design. Diesel engine system design. *Diesel Engine System Design*, 203-296.

Vignesh, M., & Ramanujam, R. (2020). Laser-assisted high speed machining of Inconel 718 alloy. In *High Speed Machining* (pp. 243-262). Academic Press.

Yenilmez, G. (2020). *Çok kriterli karar verme yöntemleri kullanarak optimum yenilenebilir enerjinin seçimi*. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

Yüncüoğlu, E. (2020). *Farklı oryantasyonlardaki kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine deniz suyu etkisinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Zağpus, S. (2009). *İklim duyarlı yapılaşma için imar yönetmeliği geliştirme modeli*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

EKLER

EK 1: Ortogonal Dizi Algoritmaları

Bu prosedür ile, ortogonal ana etki tasarımı oluşturulmaktadır. Bu yöntem ile, faktörlere ait kombinasyonlardan oluşan en küçük ortogonal plan bulunabilmektedir. Hazırlanmış ortogonal planlardan oluşmuş kütüphaneden bir planı seçmek ya da kullanıcının tasarımına uyarlamak, minimum boyut gereksinimini karşılamaktadır.

SPSS programında Plackett and Burman ve Addelman'ın ortogonal dizi oluşturma metotlarından yararlanarak ortogonal plan kütüphanesi oluşturulmuştur. Plackett and Burman (1946) tek bir sütunun rotasyonu ile elde edilen bir dizi plan belirlemişlerdir. Addelman (1961) ise ortogonal ana etki planlarını oluşturmak için genel yöntemleri tanımlamıştır. 1961 ve 1962'de yayınladığı makalelerinde genel yöntemleri ve bu yöntemlerle oluşturulmuş ortogonal dizileri tanımlamaktadır. Addelman'ın yöntemlerini kullanarak yazarlar daha fazla sayıda dizi üretmiştir.

SPSS'te kullanılan karar kuralları şu şekilde açıklanmaktadır;

Her bir L (tasarımdaki maksimum seviye sayısı) değeri için farklı bir karar kuralı bulunmaktadır. Bu kuralları tanımlarken;

M: Minimum satır sayısı,

F: Tasarımdaki faktör sayısı

M ile ifade edilen minimum satır sayısı, hazır ortogonal ana etki planları ya da yazılımlar kullanılarak bulunabilse de, minimum M'nin bulunmasını sağlayan yöntem aşağıda açıklanmıştır. Bu çalışmada M, n ile ifade edilmiştir.

Bu çalışmada, bir OMEP'in (Ortogonal ana etki planı) sahip olduğu parametre setlerinin sayısının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ortogonal bir ana etki planı veya OMEP, satırlar (deneme) ve sütunları (faktörler) olan bir matristir. 4 faktörlü, s1, s2, s3 ve s4 seviyeli bir OMEP $s_1 \times s_2 \times s_3 \times s_4 // n$ şeklinde ifade edilmektedir. Gallant R. Ve Colbourn C., “Tight 4-factor orthogonal main effect plans” başlıklı çalışmalarında bir OMEP için minimum n'yi belirlemek üzere kullanılan yöntemi tanımlanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan yöntemler farklı sayıda faktörlü OMEP'lere uygulanabilir. OMEP'ler $s_1=s_2=s_3=s_4$ ise $n=s^2$ olan ortogonal dizilerdir.

Teori 2.3'e göre;

$$t \leq r / 2 \text{ ise}$$

OMEP $p^t \times p^t \times p^t \times p^{r-t} // p^r$ ile ifade edilebilmektedir.

Çalışmaya uyarlandığında t:1, r:2 kabul edildiğinde $1 \leq 2/2$ şartı sağlanmaktadır. Buna göre her biri dört seviyeli dört faktörlü bir ortogonal ana etki planı için;

$$4 \times 4 \times 4 \times 4 // n =$$

$4^1 \times 4^1 \times 4^1 \times 4^{2-1} // 4^2$ ise n:16 olarak bulunmaktadır. (Gallant R., Colbourn C., 1996)

Bu teoriye de dayanarak, çalışmadaki minimum deneme sayısını ifade eden sayı M=16 olduğu görülmektedir.

L=2

Eğer tüm faktörler 2 seviyeli ise,

Faktör sayısına uygun en küçük 2 seviyeli Plackett-Burman planı seçilmelidir.

L=3

P= Seviyesi 2 den fazla olan faktörlerin sayısı ve $K=F+2P$.

Eğer $M < 9$ ve $F < 6$ ve $P < 2$ ise, Tablo 73-5 “8 satır, 4 seviyeli 1 sütun artı 2 seviyeli 4 sütun” planı temel alınmaktadır.

Eğer $M < 10$ ve $F < 5$ ise, PB 3.4 planı temel alınmaktadır.

Eğer $M < 17$ ve $K < 16$ ise, Tablo 73-6 “16 satır, 4 seviyeli 5 sütun” planı temel alınmaktadır.

Eğer $M < 19$ ve $K < 8$ ise, Tablo 73-4 “ 18 satır, 3 seviyeli 7 sütun” planı temel alınmaktadır.

Eğer $M < 28$ ve $K < 14$ ise, PB 3.13 planı temel alınmaktadır.

Eğer $M < 65$ ve $K < 22$ ise, $L=4$ ‘de belirtilen kurallar uygulanmaktadır.

Eğer $F < 41$ ise PB 3.40 planı temel alınmaktadır.

Eğer $F > 40$ ise, daha fazla sayıda faktör içeren plan bulunmamaktadır.

$L=4$

P =Seviyesi 2 den fazla olan faktörlerin sayısı ve $K=F+2P$.

Eğer $M < 9$ ve $F < 6$ ve $P < 2$ ise, Tablo 73-5 “8 satır, 4 seviyeli 1 sütun artı 2 seviyeli 4 sütun” planı temel alınmaktadır.

Eğer $M < 17$ ve $K < 15$ ise, Tablo 73-6 “16 satır, 4 seviyeli 5 sütun” planı temel alınmaktadır.

Çalışmanın uygulama aşaması için;

$P=4, F=4$

$K=F+2P$.

$K= 4+(2 \times 4) =12, K \leq 15$

$M=16, M \leq 17$,

Eğer $M < 26$ ve $K < 19$ ise PB 5.6. planı temel alınmaktadır.

Eğer $M < 33$ ve $K < 28$ ise, Tablo 73-7 “32 satır, 4 seviyeli 9 sütun” planı temel alınmaktadır.

Eğer $M < 49$ ve $K < 23$ ise, $L=7$ 'de belirtilen kurallar uygulanmaktadır.

Eğer $K < 64$ ise Tablo 73-8 “64 satır, 4 seviyeli 21 sütun” planı temel alınmaktadır.

L=5

$L=7$ 'de belirtilen kurallara uygun plan tasarlanmaktadır.

Eğer plan 26 veya daha fazla satıra sahipse $M < 26$ ve $F < 7$ ise, PB 5.6 planı temel alınmaktadır.

L=6

$L=7$ 'de belirtilen kurallara uygun plan tasarlanmaktadır.

L=7

$L=8$ 'de belirtilen kurallara uygun plan tasarlanmaktadır.

Eğer plan 49'dan daha fazla satıra sahipse $M < 50$ ve $F < 9$ ise, PB 7.8 planı temel alınmaktadır.

L=8

P =Seviyesi 2 den fazla olan faktörlerin sayısı ve Q seviyesi 4'den fazla olan faktörlerin seviyesidir.

Eğer $M < 17$ ve $F < 10$ ve $P < 2$ ise, Tablo 73-9 “ 16 satır, 8 seviyeli 1 sütun artı 2 seviyeli 8 sütun” planı temel alınmaktadır.

Eğer $M < 28$ ve $F < 11$ ve sadece bir faktörün 3'ten fazla seviyesi varsa, $L=9$ 'da belirtilen kurallara uygun plan tasarlanmaktadır.

Eğer $M < 33$ ve $Q < 2$ ve $F + 2P + 4Q < 32$ ise, § 73-10 “31 satır, 8 seviyeli 1 sütun artı 4 seviyeli 8 sütun” planı temel alınmaktadır.

Eğer $M < 65$ ve $F + 6P < 64$ ise, Tablo 73-11 “64 satır, 8 seviyeli 9 sütun” planı temel alınmaktadır.

L=9

P= Seviyesi 3'den fazla olan faktörlerin sayısı ve $K=F+3P$

Eğer $M<28$ ve $F<11$ ve $P<2$ ise, Tablo 73-12 “27 satır, 9 seviyeli 1 sütun artı 3 seviyeli 9 sütun” planı temel alınmaktadır.

Eğer $K<41$ ise, Tablo 73-13 “81 satır, 9 seviyeli 10 sütun” planı temel alınmaktadır.

SPSS Programında ortogonal dizi türetmek amacıyla temel alınan Addelman planları:

Tablo 73-4

18 satır, 3 seviyeli 7 sütuna kadar

0000000	0021011
0112111	0100122
0221222	0212200
1011120	1002221
1120201	1111002
1202012	1220110
2022102	2010212
2101210	2122020
2210021	2201101

Tablo 73-5

8 satır, 4 seviyeli 1 sütun ve 2 seviyeli 4 sütuna kadar

0	0000
0	1111
1	0011
1	1100
2	0101
2	1010
3	0110
3	1001

Tablo 73-6

16 satır, 4 seviyeli 5 sütuna kadar

00000	02231
10111	12320
20222	22013
30333	32102
01123	03312
11032	13203
21301	23130
31210	33021

32 satır, 4 seviyeli 9 sütuna kadar

132032301	130102112
202223102	200313311
213012013	211122200
220131320	222001133
231300231	233230022
303332130	301202323
312103021	310033232
321023212	322110101

64 satır, 4 seviyeli 21 sütuna kadar

0000000000000000000000000000	000222233331111022220
1111111111111111100000	111333322220000122220
222222222222222200000	22200001111333322220
333333333333333300000	33311110000222232220
123012301230123012301	123230132101032030121
032103210321032112301	032321023010123130121
301230123012301212301	301012310323210230121

210321032103210312301	210103201232301330121
231023102310231023102	231201331021320001322
320132013201320123102	320310220130231101322
013201320132013223102	013023113203102201322
102310231023102323102	102132002312013301322
312031203120312031203	312213030211203013023
203120312031203131203	203302121300312113023
130213021302130231203	130031212033021213023
021302130213021331203	021120303122130313023
000111122223333011110	000333311112222033330
111000033332222111110	111222200003333133330
222333300001111211110	222111133330000233330
333222211110000311110	333000022221111333330
123103223013210003211	123321010322301021031
032012332102301103211	032230101233210121031
301321001231032203211	301103232100123221031
210230110320123303211	210012323011032321031
231132020133102032012	231310213202013010232
320023131022013132012	320201302313102110232
013310202311320232012	013132031020231210232
102201313200231332012	102023120131320310232
312120321303021020313	312302112032130002133
203031230212130120313	203213003123021102133
130302103121203220313	130120330210312202133
021213012030312320313	021031221301203302133

Tablo 73-9

16 satır, 8 seviyeli 1 sütun ve 2 seviyeli 8 sütuna kadar

0	00000000	0	11111111
1	01010101	1	10101010
2	00001111	2	11110000
3	01011010	3	10100101
4	00111100	4	11000011
5	01101001	5	10010110
6	00110011	6	11001100
7	01100110	7	10011001

Tablo 73-10

31 satır, 8 seviyeli 1 sütun ve 4 seviyeli 8 sütuna kadar

0	00000000	0	22222222
1	01230123	1	23012301
2	02021313	2	20203131
3	03211230	3	21033012
4	00113322	4	22331100
5	01323201	5	23101023
6	02132031	6	20310213
7	03302112	7	21120330
0	11111111	0	33333333
1	10321032	1	32103210
2	13130202	2	31312020
3	12300321	3	30122103
4	11002233	4	33220011
5	10232310	5	32010132
6	13023120	6	31201302

7 12213003 7 30031221

Tablo 73-11

64 satır, 8 seviyeli 9 sütuna kadar

000000000	202222222	404444444	606666666
011234567	213016745	415670123	617452301
022456713	220647531	426021357	624203175
033651274	231473056	437215630	635037412
044517326	246735104	440153762	642371540
055723641	257501463	451367205	653145927
066172435	264350617	462536071	660714253
077346152	275164370	473702516	671520734
101111111	303333333	505555555	707777777
110325476	312107654	514761032	7165432210
123574602	321756420	527130246	725312064
132140365	330562147	536304721	734126503
145406237	347624015	541042673	743260451
154632750	356410572	550276314	752054136
167063524	356241706	563427160	761605342
176257043	374075261	572613407	770481625

Tablo 73-12

27 satır, 9 seviyeli 1 sütun ve 3 seviyeli 9 sütuna kadar

0 000000000	3 011001111	6 022002222
0 112121212	3 120122020	6 101120101
0 221212121	3 202210202	6 210211010
1 000111122	4 011112200	7 022110011
1 112202001	4 120200112	7 101201220

1	221020210	4	202021021	7	210022102
2	000222211	5	011220022	8	022221100
2	112010120	5	120011201	8	101012012
2	221101002	5	202102110	8	210100221

Tablo73-13

81 satır, 9 seviyeli 10 sütuna kadar

0000000000	0336258147	0663174285
1011111111	1347036258	1674285063
2022222222	2358147036	2685063174
3033333333	3360582471	3606417528
4044444444	4371360582	4617528306
5055555555	5382471360	5628306417
6066666666	6303825714	6630741852
7077777777	7314603825	7641852630
8088888888	8325714603	8652630741
0112345678	0448561723	0775426831
1120453786	1456372804	1783507642
2101534867	2437480615	2764318750
3145678012	3472804156	3718750264
4153786120	4480615237	4726831075
5134867201	5461723048	5707642183
6178012345	6415237480	6742183507
7186120453	7423048561	7750264318
8167201534	8404156372	8731075426
0221687354	0557813462	0884732516
1202768435	1538624570	1865840327
2210876543	2546705381	2873651408
3254021687	3581246705	3827165840

4235102768	4562057813	4808273651
5243210876	5570138624	5816084732
6287354021	6524570138	6851408273
7268435102	7505381246	7832516084
8276543210	8513462057	8840327165



EK 2: Mevcut Bina Simulasyon Sonuçları

Bina enerji simülasyon programı Design Builder kullanılarak mevcut binanın enerji ihtiyacı değerlerine ulaşılmıştır. Aşağıda mevcut bina için Design Builder programından alınan rapor bulunmaktadır.

Program Version: **EnergyPlus, Version 8.9.0-40101eaafd, YMD=2021.02.06 16:12**

Tabular Output Report in Format: **HTML**

Building: **Building**

Environment: **SEMIKLER (O1-O1:31-12) ** IZMIR - TUR IWEK Data**

WMO#=172180

Report: **Annual Building Utility Performance Summary**

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2021-02-06 16:15:05**

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	14902.40	157.01	157.01
Net Site Energy	14902.40	157.01	157.01
Total Source Energy	41399.44	436.17	436.17
Net Source Energy	41399.44	436.17	436.17

Site to Source Energy Conversion Factors

	Site=>Source Conversion Factor
Electricity	3.167
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating	3.613
Steam	0.250
Gasoline	1.050
Diesel	1.050
Coal	1.050
Fuel Oil #1	1.050

Fuel Oil #2	1.050
Propane	1.050
Other Fuel 1	1.000
Other Fuel 2	1.000

Building Area

	Area [m2]
Total Building Area	94.91
Net Conditioned Building Area	94.91
Unconditioned Building Area	0.00

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	7408.23	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	4378.13	0.00	0.00
Interior Lighting	710.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	2090.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	315.19	4.94
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	2800.86	0.00	0.00	4378.13	7723.42	4.94

Note: District heat appears to be the principal heating source based on energy usage.

End Uses By Subcategory

	Subcategory	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	General	0.00	0.00	0.00	0.00	7408.23	0.00
Cooling	General	0.00	0.00	0.00	4378.13	0.00	0.00
Interior Lighting	ELECTRIC EQUIPMENT#3412#GeneralLights	50.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#3555#GeneralLights	111.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#3563#GeneralLights	236.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#3574#GeneralLights	106.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#3582#GeneralLights	104.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#3589#GeneralLights	101.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	ELECTRIC EQUIPMENT#3412#05	148.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#3555#05	326.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#3563#05	695.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#3574#05	312.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#3582#05	307.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#3589#05	298.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	DHW 3412	0.00	0.00	0.00	0.00	22.44	0.35
	DHW 3555	0.00	0.00	0.00	0.00	49.28	0.77
	DHW 3563	0.00	0.00	0.00	0.00	104.88	1.64
	DHW 3574	0.00	0.00	0.00	0.00	47.18	0.74
	DHW 3582	0.00	0.00	0.00	0.00	46.33	0.73
	DHW 3589	0.00	0.00	0.00	0.00	45.07	0.71
Refrigeration	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

General

	Value
Program Version and Build	EnergyPlus, Version 8.9.0-40101eaafd, YMD=2021.02.06 16:12
RunPeriod	SEMIKLER (01-01:31-12)
Weather File	IZMIR - TUR IWECD Data WMO#=172180
Latitude [deg]	38.46
Longitude [deg]	27.11
Elevation [m]	12.00
Time Zone	2.00
North Axis Angle [deg]	0.00
Rotation for Appendix G [deg]	0.00
Hours Simulated [hrs]	8760.00

ENVELOPE**Window-Wall Ratio**

	Total	North (315 to 45 deg)	East (45 to 135 deg)	South (135 to 225 deg)	West (225 to 315 deg)
Gross Wall Area [m2]	127.30	30.80	32.85	30.80	32.85
Above Ground Wall Area [m2]	127.30	30.80	32.85	30.80	32.85
Window Opening Area [m2]	17.23	4.20	3.92	4.93	4.17
Gross Window-Wall Ratio [%]	13.53	13.64	11.94	16.02	12.70
Above Ground Window-Wall Ratio [%]	13.53	13.64	11.94	16.02	12.70

Conditioned Window-Wall Ratio

	Total	North (315 to 45 deg)	East (45 to 135 deg)	South (135 to 225 deg)	West (225 to 315 deg)
Gross Wall Area [m2]	127.30	30.80	32.85	30.80	32.85
Above Ground Wall Area [m2]	127.30	30.80	32.85	30.80	32.85
Window Opening Area [m2]	17.23	4.20	3.92	4.93	4.17
Gross Window-Wall Ratio [%]	13.53	13.64	11.94	16.02	12.70
Above Ground Window-Wall Ratio [%]	13.53	13.64	11.94	16.02	12.70

Report: **Envelope Summary**