T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPI KABUĞUNUN ENERJİ ETKİN TASARIM STRATEJİLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: OFİS YAPISI ÖRNEĞİ

Abdulkadir SÖNMEZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği Programı

Danışman

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

Mart, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPI KABUĞUNUN ENERJİ ETKİN TASARIM STRATEJİLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: OFİS YAPISI ÖRNEĞİ

Abdulkadir SÖNMEZ tarafından hazırlanan tez çalışması 19.03.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Fiziği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. A Gülay ZORER GEDİK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Suzi Dilara MANGAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Şule Filiz AKŞİT, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Yapı Kabuğunun Enerji Etkin Tasarım Stratejileri Açısından Değerlendirilmesi: Ofis Yapısı Örneği" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Abdulkadir SÖNMEZ

İmza

Canım aileme,

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecinde bana rehberlik eden, katkılarıyla çalışmamda büyük emeği geçen ve hoşgörüsünü esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Gülay Zorer Gedik'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımı kolaylaştıran, destekleriyle her zaman yanımda olan ve bana güç veren en değerli varlığım annem Emine Sönmez başta olmak üzere aileme, değerli arkadaşlarım Tunahan Sadıç ve Merve Beyza Güven'e; destekleri ve yardımları için Petr Bogdalek'e; DesignBuilder programıyla ilgili yardımları için Öğr. Gör. A. Umur Göksu'ya ve malzeme fiyat araştırması ile ilgili yardımları için sevgili arkadaşım Semiha Memircik'e teşekkür ederim.

Abdulkadir SÖNMEZ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR iv
SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ viii
ŞEKİL LİSTESİ ix
TABLO LİSTESİ xi
ÖZET xii
ABSTRACT xiv
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 2
1.2 Tezin Amacı 6
1.3 Tezin Hipotezi 7
2 ENERJİ ETKİN TASARIM ve YAPI KABUĞU 8
2.1 Enerji Etkin Yapı Tasarım Parametreleri 8
2.1.1 Çevreye İlişkin Parametreler 8
2.1.2 Kullanıcıya İlişkin Parametreler 9
2.1.3 Yapıya İlişkin Parametreler 10
2.2 Yapı Kabuğunun Özellikleri 13
2.2.1 Yapı Kabuğunun Konumu 13
2.2.2 Yapı Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özellikleri 14
3 ENERJİ ETKİN YAPI KABUĞU TASARIMININ BELİRLENMESİ İÇİN BİR YAKLAŞIM ve UYGULAMASI: OFİS YAPISI ÖRNEĞİ 17
3.1 İklim Bölgelerinin Belirlenmesi 19
3.2 Yapıya Ait Verilerin İncelenmesi 22
3.2.1 Yapının Konumu ve Yönelimi 22
3.2.2 Tasarım Özellikleri 23
3.2.3 Yapı Kabuğu Özellikleri 28
3.3 İç Ortam Konfor Koşullarının Belirlenmesi ve Veri Girişi 31
3.4 Mevcut Yapının Enerji Tüketiminin Hesaplanması 32
3.5 Yapı Kabuğu Senaryoları Oluşturulması ve Enerji Tüketimlerinin Hesaplanması 35
3.5.1 Yapı Kabuğunun Kesit ve Boyut Özelliklerinin Değiştirilmesi 35

3.5.2 Yapı Kabuğunun Konumunun Değiştirilmesi 52
3.6 Mevcut Yapı Kabuğu ve Senaryo Seçeneklerinin Yapım ve İşletim Maliyetlerinin Hesaplanması 68
3.7 Enerji Tüketim Yüzdesi ve Maliyet Yüzdesinin Hesaplanması 73
3.7.1 Enerji Tüketim Yüzdesi 73
3.7.2 Maliyet Yüzdesi 74
3.8 Bulguların Pilot İllere Göre Değerlendirilmesi 75
3.8.1 Isıtma ve Soğutma Yükleri Açısından Değerlendirme 76
3.8.2 Toplam Enerji Tüketimi Açısından Değerlendirme 77
3.8.3 Yapım ve İşletim Maliyetleri Açısından Değerlendirme 78
4 SONUÇ **82**
KAYNAKÇA **85**
A MEVCUT YAPININ PLAN ve GÖRÜNÜŞLERİ **88**
B DESIGNBUILDER MODELLEMESİNE AİT VERİLER **92**
C ENERJİ TÜKETİMİ VE MALİYET HESAPLAMALARI **94**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **101**

SİMGE LİSTESİ

lux	Aydınlık düzeyi birimi
kWh/m^2	Birim alanda enerji tüketimi
E	Enerji tüketim yüzdesi
E_{max}	En yüksek enerji tüketimi olan senaryonun yıllık toplam enerji tüketimi
clo	Giysilerin yalıtım değeri
λ	Isı iletkenlik değeri (W/mK)
d	Kalınlık (m)
M	Maliyet yüzdesi
M_{max}	Maliyeti en yüksek olan senaryonun yapım ve işletim maliyeti toplamı
met	Metabolik eşdeğer
U	Toplam ısı geçirme katsayısı (W/m^2K)
kWh	Toplam enerji tüketimi
M_x	X senaryosunun yapım ve işletim maliyeti toplamı
E_x	X senaryosunun yıllık toplam enerji tüketimi
p	Yoğunluk (kg/m^3)

KISALTMA LİSTESİ

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning
EPDK	T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems
İGDAŞ	İstanbul Gaz ve Doğalgaz Dağıtım A.Ş
LED	Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
LT	Gün ışığı geçirgenlik değeri
SGHC	Güneş ısısı kazanç katsayısı
TS- 825	Binalarda Isı Yalıtım Kuralları – 825 sayılı Türk Standardı
XPS	Ekstrüde Polistiren Köpük

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 TS 825'te derece gün bölgelerine göre illerimiz 9
Şekil 2.2 Yapı cephesinde kullanılan güneş kontrol elemanı örnekleri 12
Şekil 2.3 Yapı kabuğunu oluşturan elemanlar. 13
Şekil 2.4 Pencere camına gelen güneş ışınımı 15
Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan yaklaşımın adımları. 18
Şekil 3.2 İstanbul'a ait iklim verileri (Ölçüm Periyodu 1950 – 2022) 19
Şekil 3.3 Ankara'ya ait iklim verileri (Ölçüm Periyodu 1927 – 2022). 20
Şekil 3.4 İzmir'e ait iklim verileri (Ölçüm Periyodu 1938 – 2022) 21
Şekil 3.5 Yapının konumu 22
Şekil 3.6 Doğan Holding Yönetim Binası 23
Şekil 3.7 Doğan Holding Yönetim Binası vaziyet planı 24
Şekil 3.8 Doğan Holding Yönetim Binası zemin kat planı 25
Şekil 3.9 Doğan Holding Yönetim Binası 1.kat planı 25
Şekil 3.10 Doğan Holding Yönetim Binası 2.kat planı 26
Şekil 3.11 Doğan Holding Yönetim Binası 26
Şekil 3.12 Mevcut yapının kesit detayı 27
Şekil 3.13 Doğan Holding Yönetim Binası güney cephesi 27
Şekil 3.14 Doğan Holding Yönetim Binası batı cephesi 28
Şekil 3.15 Mevcut Yapının DesignBuilder'da modellenmesi 32
Şekil 3.16 Mevcut yapının zemin kat iç mekân bölümlenmesi 33
Şekil 3.17 Mevcut yapıda birim alana düşen toplam enerji tüketimi 34
Şekil 3.18 Yapı kabuğunun kesit ve boyut özelliklerinin değiştirilmesi ile oluşturulan senaryolar 36
Şekil 3.19 K1 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması 38
Şekil 3.20 Dolu alan seçeneklerinin enerji tüketimi ve maliyet kıyaslaması 41
Şekil 3.21 K2 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması 43
Şekil 3.22 K1+K2 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması 45
Şekil 3.23 K3 senaryosu ile oluşturulan yapının modellenmesi 46
Şekil 3.24 K3 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması 47
Şekil 3.25 K4 senaryosu ile oluşturulan yapının modellenmesi 48

Şekil 3.26 K4 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması 50

Şekil 3.27 Yapı kabuğunun kesit ve boyut özelliklerinin değiştirilmesi ile oluşturulan senaryolarda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin kıyaslanması 51

Şekil 3.28 Yapı kabuğunun konumunun değiştirilmesi ile oluşturulan senaryolar 52

Şekil 3.29 S1 senaryosu ile oluşturulan yapının modellenmesi 53

Şekil 3.30 S1 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması 54

Şekil 3.31 Yatay güneş kırıcı tasarımına ait plan, kesit ve ön görünüş 56

Şekil 3.32 Düşey güneş kırıcı tasarımına ait plan, kesit ve ön görünüş 56

Şekil 3.33 S2 senaryosu ile oluşturulan seçeneklerde güneş kırıcı kullanılan pencere alanları ve birim alandaki enerji tüketimleri 58

Şekil 3.34 $S2_2$ senaryosu ile oluşturulan yapının modellenmesi 59

Şekil 3.35 $S2_2$ senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması 60

Şekil 3.36 $S2_4$ senaryosu ile oluşturulan yapının modellenmesi 61

Şekil 3.37 $S2_4$ senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması 62

Şekil 3.38 S3 senaryosu ile oluşturulan yapının modellenmesi 63

Şekil 3.39 S3 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması 64

Şekil 3.40 S4 senaryosu ile oluşturulan yapının modellenmesi 65

Şekil 3.41 S4 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması 67

Şekil 3.42 Yapı kabuğunun konumunun değiştirilmesi ile oluşturulan senaryoların kıyaslanması 68

Şekil 3.43 Yapım ve işletim maliyetinin hesaplanmasında oluşturulan yaklaşımın adımları 69

Şekil 3.44 Isıtma ve soğutma yüklerinin karşılaştırması 76

Şekil 3.45 Enerji tüketim yüzdesi açısından değerlendirme 77

Şekil 3.46 Mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin yapım maliyeti yüzdeleri 78

Şekil 3.47 İstanbul – Yapım + İşletim Maliyeti Yüzdeleri 79

Şekil 3.48 Ankara – Yapım + İşletim Maliyeti Yüzdeleri 80

Şekil 3.49 İzmir – Yapım + İşletim Maliyeti Yüzdeleri 81

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 TS 825'te farklı iklim bölgeleri için ısı geçirme katsayısı değerleri 14
Tablo 3.1 Yönlere göre cephelerin saydamlık oranları 28
Tablo 3.2 Mevcut yapı kabuğunun saydam alan özellikleri 29
Tablo 3.3 Mevcut yapı kabuğunun duvar özellikleri 29
Tablo 3.4 Mevcut yapı kabuğunun zemin özellikleri....29
Tablo 3.5 Mevcut yapı kabuğunun çatı özellikleri....30
Tablo 3.6 Mevcut yapının enerji tüketim analizi 33
Tablo 3.7 K1 senaryosu için farklı pencere seçenekleri ve özellikleri 36
Tablo 3.8 K1 senaryosu ile oluşturulan yapının enerji tüketim analizi....37
Tablo 3.9 K2 senaryosu için oluşturulan dolu alan seçenekleri ve özellikleri....39
Tablo 3.10 K2 senaryosu ile oluşturulan yapının enerji tüketim analizi....42
Tablo 3.11 K1+K2 senaryosu ile oluşturulan yapının enerji tüketim analizi 44
Tablo 3.12 K3 senaryosu ile oluşturulan yapının saydamlık oranları....46
Tablo 3.13 K3 senaryosu ile oluşturulan yapının enerji tüketim analizi....46
Tablo 3.14 K4 senaryosu ile oluşturulan yapının saydamlık oranları....49
Tablo 3.15 K4 senaryosu ile oluşturulan yapının enerji tüketim analizi....49
Tablo 3.16 S1 senaryosu ile oluşturulan yapının enerji tüketim analizi 53
Tablo 3.17 S2 senaryosu için oluşturulan seçeneklerin birim alana düşen enerji tüketiminin sınıflandırılması....57
Tablo 3.18 S3 senaryosu ile oluşturulan yapının saydamlık oranları 63
Tablo 3.19 S3 senaryosu ile oluşturulan yapının enerji tüketim analizi 63
Tablo 3.20 S4 senaryosu ile oluşturulan yapının saydamlık oranları 66
Tablo 3.21 S4 toplam ve birim alana düşen enerji tüketiminin sınıflandırılması.66
Tablo 3.22 Mevcut yapı kabuğunun yapım maliyeti 70
Tablo 3.23 İstanbul ili mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin yapım ve işletim maliyetleri 71
Tablo 3.24 Ankara ili mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin yapım ve işletim maliyetleri 71
Tablo 3.25 İzmir ili mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin yapım ve işletim maliyetleri 72
Tablo 3.26 Mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin enerji tüketim yüzdesi 73
Tablo 3.27 Yapım ve işletim maliyetleri yüzdesi 75

ÖZET

Yapı Kabuğunun Enerji Etkin Tasarım Stratejileri Açısından Değerlendirilmesi: Ofis Yapısı Örneği

Abdulkadir SÖNMEZ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

Enerji verimliliği günümüzde yapı sektöründe giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle ofis binaları ve büyük ölçekli iş merkezleri, enerji tüketimi açısından önemli bir paya sahiptir ve enerji giderleri yüksek yapılardır. Bu çalışmanın amacı, mevcut bir ofis yapısı üzerinden, yapı kabuğu tasarımının enerji tüketimi ile yapım ve işletim maliyetlerine etkisini değerlendirerek enerji etkin yapı kabuğu tasarımını belirlemektir.

Bu tez çalışmasında ele alınan referans yapı; cephe elemanlarından oluşan bir grid ile çevrili olup, yapı kabuğu cepheden içeri çekilmiş bir konumda bulunmakta ve bu şekilde bir mimari üsluba sahiptir. Çalışma kapsamında yapının sahip olduğu bu farklı üslubun yanı sıra yapı kabuğunda kesit ve boyut özelliklerinin değiştirilmesinin farklı iklim bölgelerinde enerji performansı ve yapım+işletim maliyetleri açısından verimliliği incelenmiştir.

Birinci bölümde, literatürdeki ilgili çalışmalara değinilmiş, tezin amaç ve hipotezi açıklanmıştır. İkinci bölümde, enerji etkin yapı tasarım parametreleri ve yapı kabuğunun özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde, farklı iklim bölgelerinde enerji etkin yapı kabuğu tasarımının belirlenmesi için oluşturulan yaklaşım ve uygulaması ele alınmıştır. Analiz edilen ofis yapısı tanıtılmış, mevcut binanın yıllık enerji tüketimi hesaplanmıştır. İki başlık altında çeşitli kabuk senaryoları geliştirilmiş olup birinci başlık, mimari üslubun korunarak yapı kabuğunun kesit ve boyut özelliklerinin değiştirilmesi, ikinci başlık ise yapı kabuğunun konumunun değiştirilmesiyle ilgili senaryoları kapsamaktadır. Çalışma, farklı iklim bölgelerini temsil eden İstanbul, Ankara ve İzmir pilot illerinde uygulanmış, her senaryo için tüm pilot illerdeki yıllık enerji tüketimleri ve yapım+işletim maliyetleri hesaplanmıştır. Bulgular pilot illere göre değerlendirilerek en verimli yapı kabuğu tasarımı senaryosu belirlenmiştir.

Sonuç bölümünde, en verimli senaryonun saydam ve dolu alan kesitinde birlikte yapılan iyileştirilme olduğu görülmektedir. Bu sonuç mimari üslupta iklimle dengeli tasarım özelliklerine önem verilmesinin yanında; kesit özelliklerinin enerji korunumu ve maliyet açısından detaylandırılması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji etkin tasarım, yapı kabuğu, binalarda enerji performansı, ofis yapısı.

ABSTRACT

Evaluation of Building Envelope in Terms of Energy-Efficient Design Strategies: A Case Study of an Office Building

Abdulkadir SÖNMEZ

Department of Architecture

Building Physics Programme

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

In today's construction sector, energy efficiency is gaining increasing importance. Especially office buildings and large-scale business centers have a significant share in energy consumption and are structures with high energy expenditures. The aim of this study is to determine an energy-efficient building envelope design by evaluating its impact on energy consumption, and construction+operational costs, using an existing office building as a case study.

The reference building analyzed in this thesis is enclosed by a grid of facade elements, with its building envelope set back from the facade, reflecting a distinctive architectural style. Within the scope of this study, alongside the architectural style of the building, variations in sectional detail and dimensional characteristics of the building envelope have been examined for their impact on energy performance and construction + operational costs across different climatic regions.

The first chapter contains a literature review, thesis's purpose, and hypothesis. The second chapter contains energy-efficient building design parameters and building envelope characteristics.

In the third chapter, the methodology for determining energy-efficient building envelope design in different climatic regions is presented. The analyzed office building is introduced, and the annual energy consumption of the existing building is calculated. Various envelope scenarios are developed under two categories: the first involves altering the section and dimension properties of the building envelope while preserving the architectural style, and the second involves scenarios related to changing the position of the building envelope. The study is implemented in pilot cities of Istanbul, Ankara, and Izmir, representing different climate regions. The annual energy consumption and construction+operating costs for each scenario are calculated in all pilot cities. Findings are evaluated based on the pilot cities to determine the most efficient building envelope design scenario.

The fourth chapter concludes the study, presenting an evaluation of the findings of the study based on the pilot cities and offering recommendations for future studies.

In the conclusion chapter, it is stated that the most efficient scenario is improvement in both transparent and opaque area components together. This result indicates the importance of emphasizing climate-balanced design features in architectural style, as well as the need to detail section characteristics for energy conservation and cost considerations.

Keywords: Energy-efficient design, building envelope, building energy performance, office building.

1
GİRİŞ

Günümüzde, inşaat endüstrisinde enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik konuları, dünya genelinde artan enerji talebi ve çevresel kaygılarla birlikte öncelikli hedefler arasında öne çıkmaktadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2024 yılında yayınladığı Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'na göre 2022 yılındaki enerji tüketiminin %32,6'sını bina ve hizmet sektörü oluşturmaktadır. Bu oranla toplam nihai enerji tüketiminde en yüksek paya sahiptir [1].

Yapı sektörü, enerji tüketiminin büyük bir payını oluşturduğundan, enerji tasarrufu ve sürdürülebilirlik bu sektörün geleceği için oldukça önemlidir. Bu bağlamda, mevcut yapıların enerji etkin tasarım stratejileri açısından iyileştirilmesi ve inşa edilecek yeni yapıların bu amaçla tasarlanması, enerji verimliliğini artırmaya ve enerji maliyetlerini azaltmaya yönelik önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Mevcut yapıların enerji etkinliğinin artırılması ve yeni yapıların enerji tasarruflu bir şekilde tasarlanması, iklim değişikliği ile mücadelede ve enerji kaynaklarının korunmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Yapılarda enerji verimliliği, bir binanın içerisinde barındırdığı fonksiyonları sağlıklı ve konforlu bir şekilde yerine getirebilmesi için gereken iç ortam koşullarının, en az enerji kullanımıyla elde edilmesi olarak tanımlanabilir [7].

Yapı kabuğu, bir yapının enerji performansını büyük ölçüde etkileyen önemli bir bileşen olarak kabul edilmektedir. Yalıtım, güneş ışınlarından koruma, doğal aydınlatma, havalandırma ve ısı transferi gibi faktörler, yapı kabuğunun tasarımına ve uygulanmasına bağlı olarak enerji tüketimini etkiler.

Yapı kabuğunun ısıl performansı, iç ortam ısıl konforu için gereken enerji miktarını etkiler. Enerji tüketimini azaltmanın yaygın bir yolu, duvar ve çatılara ısı yalıtım malzemeleri eklemektir. Bu, dışarıya doğru ısı kayıplarını azaltır ve enerji tasarrufunu sağlar. Yalıtım malzemeleri, binanın enerji verimliliğini artırmak için uzun yıllardır kullanılan ana araçlardır [2].

Enerji etkin binaların ilk yatırım maliyeti genellikle geleneksel alternatiflerinden daha yüksektir. Bununla birlikte, uzun vadede, sürdürülebilir binaların ilk yatırım harcamalarında yapılan ekstra harcamalar, enerji tüketiminin azaltılması nedeniyle nispeten kısa bir süre içinde telafi edilebilir [3].

1.1 Literatür Özeti

Yüksek enerji tüketimi ve harcamalarına sahip ofis yapılarında enerji verimliliği çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik verimlilik açısından büyük önem taşımaktadır. Yapı tasarım aşamasında alınacak doğru kararlarla, ofis yapılarında enerji etkin yapı kabuğu oluşturulması yapının enerji yüklerini azaltıp dolayısıyla yüksek işletim maliyetlerini düşürebilir.

Bu bağlamda, yapılan literatür araştırması, ofis yapılarında enerji etkin yapı kabuğu tasarımı ve maliyet analizi üzerine yapılan çalışmaları kapsar. İncelenen çalışmalar arasında, farklı iklim bölgelerinde enerji etkin yapı kabuğu tasarımına odaklanan araştırmalar [4-6], ofis yapılarında enerji verimliliği stratejilerini ele alan çalışmalar [7-13] ve enerji etkin tasarım stratejilerinin maliyet açısından analizini yapan çalışmalar [14-17] bulunmaktadır.

Aydınol (2016), yüksek lisans tezinde farklı iklim bölgelerinde yapı kabuğu saydamlık oranlarının enerji performansına etkisi üzerine çalışmış olup yapıların enerji kayıplarının büyük bir kısmının pencerelerden kaynaklandığını vurgulamıştır. Farklı iklim bölgelerinde saydamlık oranlarının ve çeşitli cam türlerinin yapı enerji performansına etkisini karesel formda tasarladığı bir yapı üzerinden incelemiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, özellikle kaplamalı çift camın, artan saydamlık oranında, büyük ısı kayıplarını önlediğinden dolayı enerji tasarrufu açısından diğer cam çeşitlerine göre daha etkili olduğu ortaya konmuştur [4].

Türkiye'nin farklı iklim özelliklerine sahip beş şehrinde yapılan bir çalışmada, binaların ısıl performansını artırmak için optimum bina en-boy oranları ve güney yönündeki pencere boyutları belirlenmiştir. Çalışma, bir konut yapısı üzerinde odaklanmıştır. Elde edilen sonuçlar, sıcak iklimlerde yazın ısı kazancının azaltılması gereği nedeniyle %25 saydamlık oranının, soğuk iklimlerde ise, kışın ısı kazançlarının arttırılması gereği nedeniyle, belirli bir noktaya kadar daha büyük

saydamlık oranının tercih edilebileceğini göstermektedir. Bu sonuçların sadece zemin veya çatı teması olmayan ara katlar için geçerli olduğu belirtilmiştir [5].

Yapı kabuğu saydamlık oranının ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimine etkisinin incelendiği bir çalışmada, karasal iklim bölgesinde bulunan örnek bir yapı üzerinde çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi için optimum saydamlık oranı güney yönü için %30, diğer tüm yönler için ise %10 olarak belirlenmiştir [6].

Karaca (2011), yüksek lisans tezinde İstanbul'daki mevcut bir ofis yapısının enerji etkin yenilenmesi üzerine çalışmıştır. Yapının enerji tüketiminin azaltılması için farklı senaryolar geliştirmiştir. Geliştirilen senaryolar sınırlı sayıda olup; yapı kabuğu dolu alanları ve saydam alanlarının iyileştirilmesi, saydamlık oranının azaltılması ve güneş kontrol elemanı uygulanması ve HVAC sisteminin değiştirilmesini kapsamaktadır. Ele alınan iyileştirme önerileri ayrı ayrı değerlendirilmemiş, bir iyileştirme önerisinin üzerine bir sonraki aşamada yeni bir iyileştirme önerisi getirilmesi ile aşamalı olarak (S1: Dolu alanlarda iyileştirme, S2: S1+saydam alanlarda iyileştirme, S3: S1+S2+güneş kontrolü, S4: S1+S2+S3+saydamlık oranının azaltılması, S5: S1+S2+S3+S4+ HVAC sistemi önerisi) yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ofis yapılarında yapılacak enerji etkin tasarım yaklaşımlar ile önemli oranda enerji tasarrufunun sağlanabileceği saptanmış, bu çalışma kapsamında ele alınmayan maliyet analizinin de gelecek çalışmalarda yapılması gerektiği vurgulanmıştır [7].

Poirazis H. ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, İsveç'te ofis yapıları için yapı tasarım parametrelerinin farklılaştırılması ile oluşturulan seçeneklerin enerji verimlilikleri incelenmiştir. Bir binanın enerji verimliliğinin, büyük ölçüde cephelerin yapısına bağlı olduğu belirtilen çalışma kapsamında %30, %60 ve %100 olarak üç farklı saydamlık oranı belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, tamamen cam cepheden oluşan binaların, enerji tüketiminin %30 veya %60 saydamlık oranı alternatiflerine göre oldukça büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermiş, bu etkinin ısı geçirgenliği daha düşük cam seçilerek azaltılabileceği vurgulanmıştır. Dikkate değer bir diğer sonuç ise gölgelendirme elemanı ne kadar içeriye yerleştirilirse, güneş kazancını engelleme etkisi o kadar azalacak ve dolayısıyla soğutma yükü de o kadar artacaktır [8].

Ghritalahare ve Judson (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, ofis binalarında kullanılan çeşitli yapı malzemelerinin yaşam döngüsü maliyetleri değerlendirilmiştir. Araştırma, yapı malzemelerinin enerji tüketimine ve maliyetlerine odaklanmaktadır. Geleneksel tuğla duvar, gaz beton duvar, boşluklu duvar ve yapısal cam gibi çeşitli bina cephe unsurları incelenmiş olup sonuçlar, gaz beton duvarın en az enerji tüketen ve yaşam döngüsü maliyeti açısından en etkili alternatif olduğunu göstermektedir [9].

Yüksel (2019) yüksek lisans tezinde, İstanbul'daki mevcut bir ofis yapısı için pasif ve aktif iyileştirme seçenekleri değerlendirilmiş, her bir iyileştirmenin maliyet analizi yapılarak yatırımın geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada, pasif ve aktif iyileştirme seçenekleriyle oluşturulan 5 farklı senaryo incelenmiş ve sonuçlar, mevcut bir yapıda ufak iyileştirmelerle bile %23,5 oranında enerji tasarrufunun sağlanabileceğini ve 2019 yılı fiyatlarıyla 72.500 TL'lik enerji giderlerinden tasarruf edilebileceğini göstermektedir [10].

Ofis yapılarında yıllık enerji tüketimini azaltan parametrelerin incelenmesi ve pasif yöntemlerin enerji ihtiyaçlarına etkileri üzerine yapılan bir çalışmada, İstanbul'daki bir ofis yapısı üzerine çalışılmıştır. Enerji tasarrufu amacıyla her parametre için en uygun alternatif belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, çift camlı yüzeylerin ısıtmada %26 tasarruf sağladığını ve İstanbul iklimi için alternatifler arasında en uygun cam tipinin Low-E kaplamalı cam olduğu görülmektedir [11].

Eskin N. Ve Türkmen H., Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde bir ofis yapısı için belirli parametreler belirleyip, bu parametrelerin enerji tüketimine etkisini incelemişlerdir. Parametreler; yalıtım, bina en-boy oranı, dış yüzeylerin rengi, gölgelendirme, pencere boyutları, cam sistemleri ve havalandırmadır. Çalışmanın sonuçları göre, ofis yapısı için enerji tüketiminde tasarrufu sağlayan seçenekler yalıtım kalınlıklarının artırılması, saydamlık oranının azaltılması, çift ya da üçlü cam kullanımı, gölgelendirme elemanlarının kullanılması ve dış duvarda açık renk boya kullanılması (özellikle sıcak nemli iklim bölgesinde) olmuştur [12].

Liao ve diğerleri (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, sıcak nemli iklim bölgelerinde ofis binalarında pasif güneş tasarımının enerji verimliliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma, güneş ışınlarını etkileyen çeşitli tasarım faktörlerini belirlemek için veri madenciliği tekniği kullanılarak yapılmıştır. Yedi

tasarım parametresi (saydamlık oranı, bina yönelimi, cam sistemi, yatay saçak derinliği, dikey kanat derinliği, dış duvar kaplaması ve çatı kaplaması) ile senaryolar oluşturulmuştur. Çalışmanın sonuçları, cam sistemi ve saydamlık oranı, çatı kaplaması gibi faktörlerin ofis binalarının enerji tüketimini en çok etkileyen parametreler olduğunu göstermektedir. En verimli seçeneğin yüksek SHGC'ye sahip yalıtımlı cam olduğu tespit edilmiştir. Cam türünün enerji tüketimindeki etkisinin saydamlık oranının artması ile daha da arttığı belirtilmiştir [13].

Gazioğlu (2012), yüksek lisans tezinde farklı iklim bölgelerinden seçilen pilot illerde ısıtma enerjisi harcamalarının azaltılması üzerine çalışmıştır. İncelenen üç iklim bölgesi; ılıman-nemli, ılıman-kuru ve soğuk iklim bölgeleridir. Bu illeri temsil etmek için İstanbul, Ankara ve Erzurum pilot illeri seçilmiştir. TS- 825'e uygun tasarlanmış bir referans binanın enerji tüketimini azaltmak için pasif tasarım alternatifleri oluşturulmuş ve ısıtma enerjisi harcamalarının azaltılması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, sadece saydamlık oranının değiştirilmesi ile bile iyileşme sağlanabileceğini ve iklim bölgelerinin enerji tüketiminde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Ilıman ve soğuk iklim bölgelerinde pasif tasarım alternatifleriyle, ısıtma giderlerinde %20'ye varan tasarruflar sağlanabileceği ortaya konmuştur. İklim koşulları ılımandan soğuğa doğru gittikçe iyileşme oranının azaldığı belirlenmiştir [14].

Lollini ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışma, İtalya'nın altı farklı iklim bölgesi için yapı kabuğunda dolu alanlar için enerji ve maliyet açısından en verimli yalıtım seçeneğini belirlemeyi amaçlamıştır. Sonuçlar, Avrupa'nın en ılıman ülkelerinden birinde yüksek ısıtma enerjisi tüketimine dikkat çekmekte ve daha iyi yalıtılmış binaların ısıtma enerjisi talebini güçlü bir şekilde azaltabileceğini göstermektedir. Araştırma, en iyi yalıtım seviyesinin belirlenmesinde, bulunulan enlem için çok kalın yalıtım malzemesine ihtiyaç olmadığını ve tüm ek malzemenin kısa bir geri ödeme süresine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma ısıtma dönemini kapsamakta olup soğutma dönemi değerlendirilmemiştir [15].

Çakır'ın 2020 yılında tamamladığı yüksek lisans tezi, konut yapılarında pasif tasarım parametrelerinin ısıtma ve soğutma yükü ile ilk yatırım maliyetlerini karşılaştırarak daha az enerji gideri ve ilk yatırım maliyeti olan binaların belirlenmesine odaklanmıştır. Çalışma, pasif tasarım stratejileri ile yıllık enerji maliyetinde %40,2 ve ilk yatırım maliyetinde %7,7 oranında tasarruflar

sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Ancak, ilk yatırım maliyeti ve yıllık enerji maliyetlerinin düşük olmasının, binanın yaşam dönemi maliyetinin düşük olacağının kesin göstergesi olmadığına dikkat çekilmekte ve bina yaşam döngüsü maliyet hesabının yapılmasının önemi vurgulanmaktadır [16].

Mahdya M. M. ve Nikolopoulou M. tarafından yapılan çalışmada, altı katlı bir konut yapısında yapı kabuğunun saydamlık oranları, cam türü ve gölgeleme elemanları gibi çeşitli parametrelerle oluşturulan senaryolar ile maliyet açısından etkinliği arttırmaya yönelik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çalışma, Mısır'daki sekiz iklim bölgesini temsil eden üç farklı şehirde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre enerji etkinlik açısından, saydamlık oranının belirli sınırlar içinde tutulması gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca, cam türlerine bağlı olarak, maliyet açısından uzun dönemde kaplamalı ve reflekte camların daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [17].

Bu tez çalışmasında, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, yapı kabuğu içeri çekilerek mimari üslup oluşturulmuş mevcut bir ofis yapısında; bu farklı üslup tasarımının yanı sıra yapı kabuğunda kesit ve boyut özelliklerinin değiştirilmesinin farklı iklim bölgelerinde enerji performansı ve yapım+işletim maliyetleri açısından verimliliği incelenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Enerji etkin yapı tasarımı, binaların yapımı ve kullanımı süreçlerinde enerjiyi en verimli şekilde kullanmayı hedefler. Yapı tasarımına etki eden birçok parametre içerisinde, yapı kabuğunun tasarımı enerji etkin yapı üretimi açısından büyük bir öneme sahiptir. Enerji etkin yapı kabuğu tasarımı ile yapıların enerji tüketimi önemli ölçüde azaltılabilir ve işletme maliyetleri düşürülebilir.

Bu tez, farklı iklim bölgelerinde mevcut bir ofis yapısı üzerinden yapı kabuğu tasarımının enerji tüketimine ve işletim maliyetlerine etkisini değerlendirerek, enerji etkin yapı kabuğu tasarımını belirlemeyi amaçlamaktadır.

Çalışma aynı zamanda, enerji etkin yapı tasarımı ve uygulaması alanında akademik literatüre önemli bir katkı sağlamayı ve gelecekteki enerji etkin yapı tasarımı ve uygulamalarına rehberlik etmeyi hedeflemektedir.

1.3 Tezin Hipotezi

Enerji etkin yapı tasarımının amacı, minimum enerji tüketimi ile maksimum iç ortam konforunu sağlayabilecek binalar üretmektir. Isıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimi yapılarda enerji tüketiminin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu sebeple yapılarda enerji tasarrufu sağlamak için ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimini en aza indirgemek gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, farklı iklim bölgelerinde bir ofis yapısının yıllık enerji tüketimi hesaplaması yapılıp, yapı kabuğu tasarımının enerji performansına etkisini incelemek amacıyla yapı kabuğu tasarımı senaryoları oluşturulmuştur. Çalışma, bina enerji simülasyonları ve analitik yöntemler kullanılarak, her senaryonun yıllık enerji tüketimi, ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleri, yapı kabuğu yapım maliyeti ve işletim maliyetleri üzerinden bir değerlendirmeyi içermektedir.

Bu tezin hipotezi, yapı kabuğu tasarımının enerji etkin tasarlanması ve uygulanması, yapının ısıtma ve soğutma yükünü azaltarak enerji tüketimini en aza indirgeyebilir ve işletme maliyetlerini düşürebilir düşüncesine dayanmaktadır.

2
ENERJİ ETKİN TASARIM ve YAPI KABUĞU

Günümüzde artan enerji tüketimi, çevresel kaygılar ve sürdürülebilirlik anlayışı, yapı sektöründe enerji etkin tasarımın önemini artırmaktadır. Yapıların inşası ve işletilmesi süreçlerinde enerji verimliliği, çeşitli boyutlarda avantajlar sağlayarak ekonomik, çevresel ve toplumsal faydaları bir araya getirmektedir.

Dünya genelinde ve Türkiye'de yapılar enerji ihtiyacının ve tüketiminin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bina ve hizmet sektörü, Türkiye'nin 2022 yılındaki toplam nihai enerji tüketiminin %32,6'sını oluşturarak en yüksek paya sahiptir. Binaların ve hizmet sektörünün enerji dönüşümü için, yerleşim planlamasından başlayarak bina tasarımına, ısıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin seçimine kadar olan süreçlerde enerji verimliliği odaklı politikaların geliştirilmesi ve uygulanması önemlidir [1].

Bu nedenle, enerji verimliliğini artırmak için yapıların tasarımında alınacak kararlar oldukça kritik bir rol oynamaktadır. Enerji etkin yapı tasarımı, yapıların enerji yüklerini azaltma ve işletim maliyetlerini düşürme çabalarıyla ilişkilidir ve henüz tasarım sürecinde alınacak kararlar ile en etkin şekilde azaltılabilir.

2.1 Enerji Etkin Yapı Tasarım Parametreleri

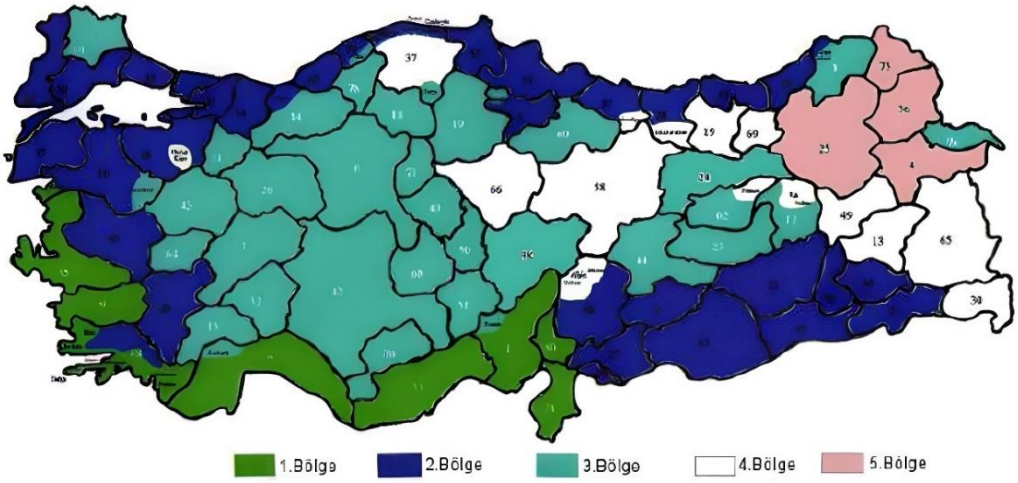
Enerji etkin yapı tasarımına etki eden pek çok parametre bulunmaktadır. Bunlar yapıların enerji tüketimine ve harcamalarına doğrudan ya da dolaylı olarak etki edebilmektedir. Enerji etkin yapı tasarım parametreleri; çevreye ilişkin, kullanıcıya ilişkin ve yapıya ilişkin parametreler olarak sınıflandırılabilmektedir.

2.1.1 Çevreye İlişkin Parametreler

Enerji etkin yapı tasarımına etki eden çevreye ilişkin parametreler iklim, topoğrafya, bitki örtüsü ve yapı çevresindeki yapılaşmadan oluşmaktadır.

Yapıların içinde bulunduğu iklim koşulları, enerji kullanımı, malzeme seçimi, ısıtma-soğutma sistemleri ve yapı üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olup, yapıların enerji performansını etkiler.

Yapılar, coğrafi konumlarına bağlı olarak farklı iklim şartlarında bulunurlar. İklim özellikleri mimarların kontrolü dışında olabilir, ancak bu özellikleri dikkate alarak yapılan tasarımlar, hem kullanıcılar için daha iyi konfor koşulları, hem de enerji tasarrufu sağlanmış yapılar sunabilir [18]. Şekil 2.1 de TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardına göre derece gün bölgelerine göre illerimiz verilmiştir.



Şekil 2.1 TS 825'te derece gün bölgelerine göre illerimiz [19].

İklimle uyumlu tasarımda, yer seçimi ve topografyaya uyum, en önemli faktörler arasında yer alır. Bir yapının arazi içerisindeki konumunu belirlerken çevresindeki diğer yapılar, bitki örtüsü, güneş ve rüzgâr gibi faktörler önemlidir. Tasarım aşamasında, güneş ışınları ve hava akımları gibi doğal verileri değerlendirerek, iklimle uyumlu bir topografi içinde uygun bir konum seçimi yapmak mümkündür. [20].

İklim bölgelerini oluşturan faktörler güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, nem ve rüzgardır. Bu faktörler bir yapının ısıtma ve soğutma yükünü etkileyen ve iç ortam konfor koşullarını şekillendiren çevreye ilişkin parametrelerdir [21].

2.1.2 Kullanıcıya İlişkin Parametreler

İnsan vücudu, bilinçsiz bir şekilde enerji üreten ve tüketen bir sistem olarak işlev görür. Vücudumuz, dış yüzey sıcaklığını 37°C'de koruduğunda fizyolojik olarak sağlıklı hissederiz, bu da ısıl konfora ulaştığımızı gösterir. İnsanların sağlıklı hissetmeleri amacıyla yaşamlarının büyük bir kısmını geçirdikleri yapılar içeresinde uygun ısıl konfor koşullarını sağlamak oldukça önemlidir [21]. İnsan

vücudu ve dış çevre arasında ısı dengesi kurularak vücut sıcaklığının korunması, ısıl konforun sağlanması için gereklidir.

İç ortam ısıl konfor koşullarının sağlanması açısından, kullanıcılara ilişkin parametreler fizyolojik parametreler, niteliğe ve duruma ilişkin parametreler olarak ayrılabilir.

Fizyolojik parametreler; kullanıcıların cinsiyetine, yaşına, ırkına, terleme miktarlarına bağlıdır. Niteliğe ve duruma ilişkin parametreler; aktivite düzeyi, giysi yalıtım düzeyi, kullanıcının mekân içerisindeki konumu ve duruş şekline bağlıdır.

Bu parametreler tüm kullanıcılar için farklı olabilecek özellikler olup, insanların iç ortam ısıl konfor eşiklerinin birbirinden farklı olabileceğini göstermektedir.

2.1.3 Yapıya İlişkin Parametreler

Enerji etkin yapı tasarımının sağlanması için yapıya ilişkin parametreler; yapının konumu, yönlenişi, formu, iç mekân düzenlemesi, güneş kontrolü ve yapı kabuğu tasarımı olarak sıralanabilir.

2.1.3.1 Yapının Konumu ve Yönlenişi

Yapıların bulundukları çevre içerisinde konumu ve yönlenişi, enerji performansına doğrudan etki eden bir parametredir. Yüksek katlı yapıların veya ağaçların arasına konumlandırılan bir yapı çevresindeki yapılardan dolayı güneşten daha az etkilenebilmektedir. Bir binanın arazi içerisindeki konumu ve yönlenişi, güneşin ve rüzgârın yönüne göre düşünülmesi gereken parametrelerdir.

Yapının yönlenişi, hâkim rüzgârı etkili bir şekilde kullanarak soğutma ve havalandırma sistemlerinden elde edilen enerji kazancını belirler. Doğru bir yönleniş ile istenmeyen ısı kayıpları azaltılmakta, iç ortam konforunu artırmakta ve enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Yönleniş açısından önemli olan, güneş kazancının kış aylarında en yüksek, yaz aylarında ise en düşük düzeyde olmasını sağlamaktır. Türkiye'nin iklim kuşağında, doğu-batı ekseninde yerleşim, bu prensibi doğrulamaktadır. Kış aylarında gelen güneş enerjisinin büyük bir kısmı genellikle 09.00-15.00 saatleri arasında gelir. Bu zaman diliminde güneş ışınlarının kolayca şekilde binaya ulaşması gerekir [22].

2.1.3.2 Yapının Biçimi

Yapının biçimi, iklim bölgesi göz önünde bulundurularak karar verilmesi gereken bir parametredir. Soğuk iklim bölgelerinde yapı biçimi ısı kaybının en az ve güneşten yararlanma olanağının en fazla olacağı şekilde belirlenmesi beklenir. Sıcak iklim bölgelerinde güneşten korunmaya ve rüzgârdan yararlanmaya olanak verecek şekilde bir biçim belirlemek yapının enerji tüketimini azaltmak açısından olumlu bir etki yaratacaktır.

2.1.3.3 İç Mekân Düzenlemesi

Yapı içerisindeki mekân düzenlemesi mekânın güneş ve rüzgâr etkileşimi ile ilişkili olduğundan enerji etkin tasarım açısından önemli bir parametredir. Mekân fonksiyonuna göre tüketilen enerji miktarı değişeceğinden, mekân organizasyonu yapının toplam enerji tüketimine etki etmektedir.

İç mekân düzenlemesi, yapının cephe düzenine ve dolayısıyla saydamlık oranına etki eden bir parametredir. Yapı kabuğunun dolu ve saydam alan oranına göre enerji tüketimi değişmektedir.

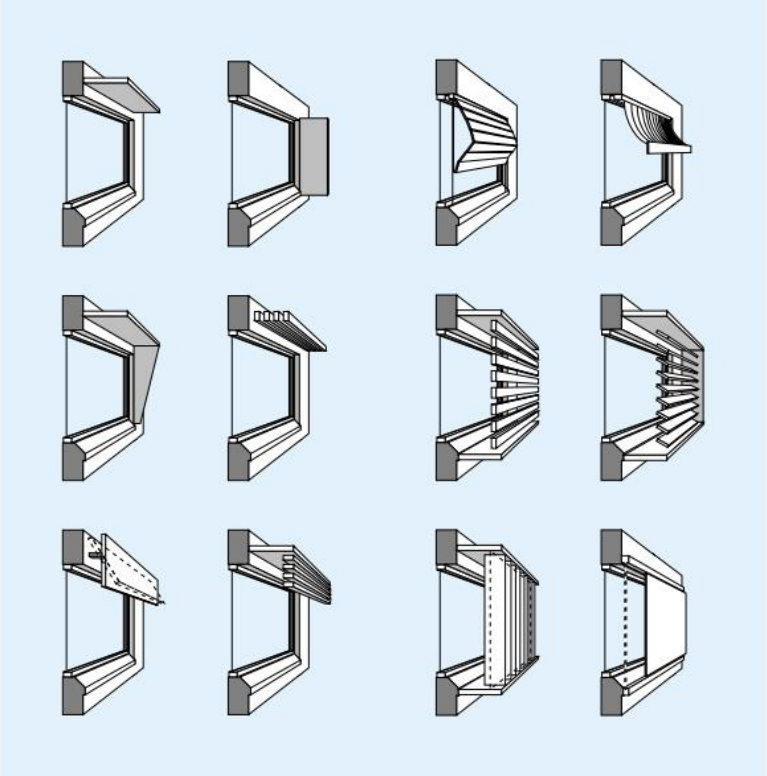
Mekân özelliklerine göre ısıtma, soğutma ve aydınlatma ihtiyacı değişiklik göstermektedir. Yapı tasarımında mekân organizasyonunda öncelik, gün ışığı ve rüzgâr etkileşimine göre yapılmalıdır. Günlük kullanım alanlarının aydınlatma ve iklimlendirme ihtiyacı daha fazla olacağından güney yönünde konumlandırılmalıdır. Depo, ıslak hacimler, sirkülasyon alanları vb. alanlarda aydınlatma ve iklimlendirme ihtiyacı daha az olacağından kuzey yönüne veya iki bölge arasında tampon bölge görevi görmesi amacı ile konumlandırılması gerekir. Böylece ısı kayıplarının azaltılması ve aydınlatma amaçlı gün ışığı ihtiyacı yüksek olan mekanların doğru konumlandırılmasında fayda sağlayacaktır.

2.1.3.4 Güneş Kontrolü

İklim bölgelerine göre yapının güneş etkileşimi, dolayısıyla ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükü farklılık göstermektedir. Güneş ile etkileşimin yüksek olduğu sıcak iklim bölgelerinde güneşten korunmak amacıyla güneş kontrol elemanları, yapının soğutma yükünü azaltmak için etkili bir seçenektir.

Cephede uygulanan güneş kontrol elemanları, iç ortamda aydınlatma ve doğal havalandırmaya etki etmektedir. Dolayısıyla güneş kontrol elemanları iç ortam

konfor koşullarına uygun olarak tasarlanması gereken bir parametredir. İyi tasarlanmış güneş kontrol elemanları ile yapının ısıtma yükü, aydınlatma ve doğal havalandırma açısından konfor koşullarını sağlayacak şekilde azaltılabilmektedir. Şekil 2.2'de cephelerde kullanılan güneş kontrol elemanı örnekleri verilmiştir.

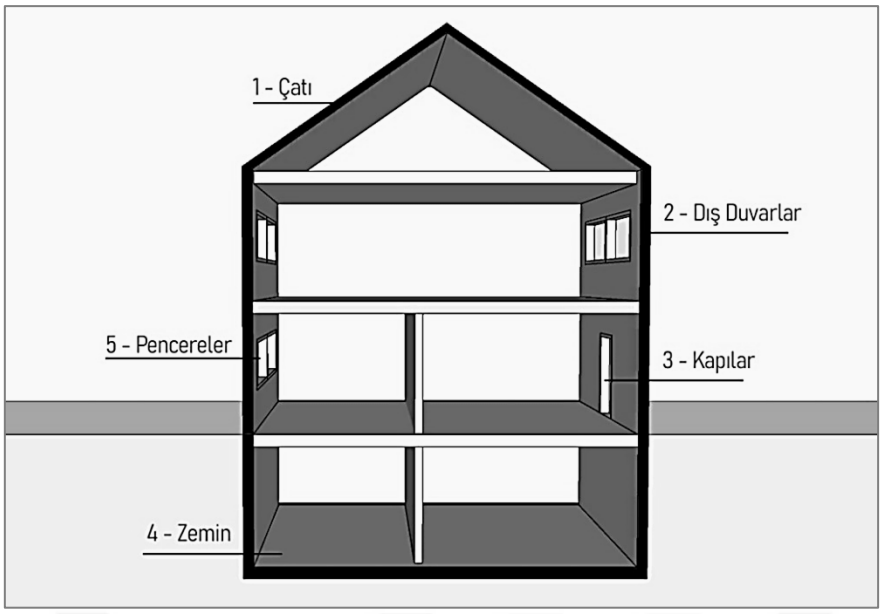


Şekil 2.2 Yapı cephesinde kullanılan güneş kontrol elemanı örnekleri [23]

2.1.3.5 Yapı Kabuğu

Yapı kabuğu, yapıyı dış ortamdan ayıran çatı, dış duvarlar, zemine temas eden döşeme gibi opak alanlardan ve kapı ve pencereler gibi cephe açıklıklarını oluşturan saydam alanlardan oluşmaktadır (Şekil 2.3). Yapı kabuğu, dış ortam ile etkileşim içinde olduğundan dolayı iç ortam konforuna ve yapının enerji performansına etki eden önemli bir tasarım parametresidir.

Yapı kabuğu tasarımında öncelikli amaç, yapıyı olumsuz hava koşulları ve dış etkenlere karşı korumak, iç ortam koşullarını sağlamak ve enerji tüketimini en aza indirgemek olmalıdır.



Şekil 2.3 Yapı kabuğunu oluşturan elemanlar.

Yapı kabuğunda enerji etkinliği artırma yöntemlerinden biri uygun malzeme seçimi ve yalıtım yapılmasıdır. Malzeme seçimine iç ortam konfor koşulları haricinde de etki eden faktörler bulunmaktadır. Estetik kaygılar, dayanıklılık, maliyet, çevresel etkiler, montaj kolaylığı, yangın dayanıklılığı, bakım gereksinimleri olarak sıralanabilir.

Seçilen malzemeler, yapının uzun ömürlü olmasını sağlamalı, enerji tasarrufu ve sürdürülebilirlik prensiplerine uygun olmalıdır. Ayrıca, yapı kabuğu malzemesinin çevresel etkilerini minimumda tutacak şekilde seçilmesi, gelecek nesiller için daha sürdürülebilir bir çevre oluşturmaya katkıda bulunacaktır.

2.2 Yapı Kabuğunun Özellikleri

2.2.1 Yapı Kabuğunun Konumu

Yapı kabuğunun konumu, kabuk elemanlarının yerleşimini ve büyüklüklerini belirleyen önemli bir faktördür. Ayrıca, kabuktan geçen toplam ısı miktarı üzerinde etkilidir. Yapı kabuğunun yapıdaki konumu, güneş ışınları ve hava akımlarının yapı üzerindeki etkisi sebebiyle enerji etkin yapı tasarımı açısından önemli bir tasarım ölçütüdür.

Yapı kabuğunu oluşturan bileşenler, güneş ışınlarını kazanmak ve korumak için uygun bir şekilde yerleştirilmelidir. Isı kaybını minimize etmek için geniş güney

cephesi olan yapılar tercih edilmeli ve kuzey yönünde korunaklı, kompakt cepheler tasarlanmalıdır [24].

"Rüzgâr ve hava akımlarının, yapının soğutma ihtiyacını azaltma amacına yönelik olarak kullanılmasını sağlayacak konum kararları, aynı zamanda ısıtma yükünü artırmayacak şekilde optimize edilmelidir. [25]"

2.2.2 Yapı Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özellikleri

Yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri yapının enerji yüküne doğrudan etki etmektedir. Yapı kabuğunun enerji yüklerine etki eden özellikleri aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir.

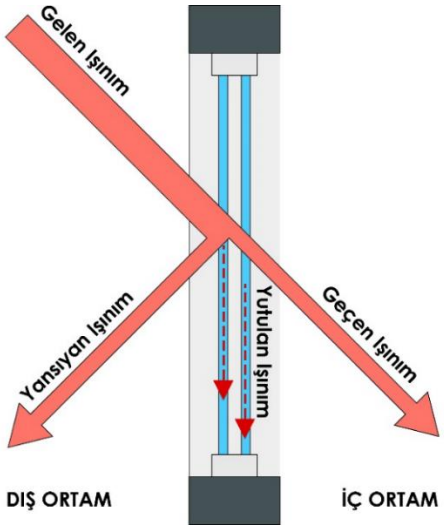
Dolu ve saydam alanların toplam ısı geçirme katsayısı (U): Toplam ısı geçirme katsayısı, yapı kabuğu bileşeninin iç ortama geçirdiği ısı miktarı ile ilişkili bir bileşen olup TS 825 de yapının bulunduğu iklim bölgesine göre belirlenen değerlere uygun olması gerekmektedir. Tablo 2.1'de TS 825'te farklı iklim bölgeleri için ısı geçirme katsayısı değerleri verilmiştir.

Tablo 2.1 TS 825'te farklı iklim bölgeleri için toplam ısı geçirme katsayısı değerleri [19]

İklim Bölgesi	U Duvar (W/m^2K)	U Tavan (W/m^2K)	U Taban (W/m^2K)	U Pencere (W/m^2K)
1. Bölge	0,66	0,43	0,66	1,8
2. Bölge	0,57	0,38	0,57	1,8
3. Bölge	0,48	0,28	0,43	1,8
4. Bölge	0,38	0,23	0,38	1,8
5. Bölge	0,36	0,21	0,36	1,8

Toplam ısı geçirme katsayısının yani U değerinin yüksek olması ısı kaybının daha fazla, düşük olması ısı kaybının daha az olduğu anlamı taşımaktadır. Bu nedenle U değerinin enerji tasarrufu sağlamak için düşük olması gerekmektedir.

Güneş ışınımlarına yönelik yutuculuk, yansıtıcılık ve geçirgenlik katsayıları: Tapı kabuğunda saydam yüzeylerin güneş ışınımına karşı yutuculuğu, yansıtıcılığı ve geçirgenliğini gösteren özelliklerdir. Şekil 2.4'te pencere camının gelen güneş ışınımlarına yönelik yutuculuk, yansıtıcılık ve geçirgenliğini verilmiştir.



Şekil 2.4 Pencere camına gelen güneş ışınımı

Saydamlık oranı: Yapı kabuğu dolu ve saydam alanlardan oluşmaktadır. Saydamlık oranı, yapı kabuğunda saydam alanın, dolu ve saydam alan toplamına oranıdır.

Saydamlık oranı, bina enerji kullanımını ve kullanıcı konforunu ısı transferi (iletim), güneş ısısı kazancı (radyasyon), hava sızıntısı veya havalandırma (infiltrasyon) ve günışığı kullanımı (aydınlatma ihtiyacı dengeleme) yoluyla etkiler [26].

Yapının bulunduğu iklim bölgesine göre güneş ve rüzgâr etkileşimi ihtiyacı birbirinden farklı olmaktadır. Bu nedenle, saydamlık oranları belirlenirken iklim bölgesinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Saydamlık oranı belirlenmesi ve saydam alanların tasarımında dikkate alınması gereken durumlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

- İç ortam konfor koşullarının sağlanması,
- Doğal aydınlatma ve doğal havalandırma gereksiniminin sağlanması,
- Uygun dış ortam ve iç ortam ilişkisi kurulması,
- Gürültü kontrolünün sağlanması,
- Güneş, rüzgâr, ses vb. dış etkenlere karşı uygun tasarımın belirlenmesi,
- Manzara varsa faydalanılması ya da mekânın işlevine göre gerekiyorsa mahremiyet sağlaması,
- Estetik kaygıları barındırması

Dolu alanların zaman geciktirmesi ve sönüm oranı: Dolu alanlarda zaman gecikmesi (faz farkı), ısı enerjisinin dış ortam ile iç ortam arasındaki iletim süresini gösterir. Bu faktörler, yapı kabuğunun dolu alanları ile ilgilidir çünkü dolu alanların ısı depolama özelliği ile ilişkilidir.

Gün ışığı geçirgenlik (LT): Yapı kabuğunda saydam alanların gün ışığını ne kadar geçirdiğini gösteren değerdir. Gün ışığı geçirgenlik değeri doğal aydınlatma açısından da önemlidir. Saydam alanlarda bu değerin düşük olması yetersiz doğal aydınlatma sorununa yol açabilir.

Güneş ısısı kazanç katsayısı (SGHC): Saydam alanlardan iç ortama giren güneş ısısı değeridir. Bu değerin yüksek olması, iç mekânın ısınmasına yol açabilir; olması da iç mekânın soğuk kalmasına sebep olabilir. Enerji tasarrufu ve konfor açısından önemli bir faktördür.

3
ENERJİ ETKİN YAPI KABUĞU TASARIMININ BELİRLENMESİ İÇİN BİR YAKLAŞIM ve UYGULAMASI: OFİS YAPISI ÖRNEĞİ

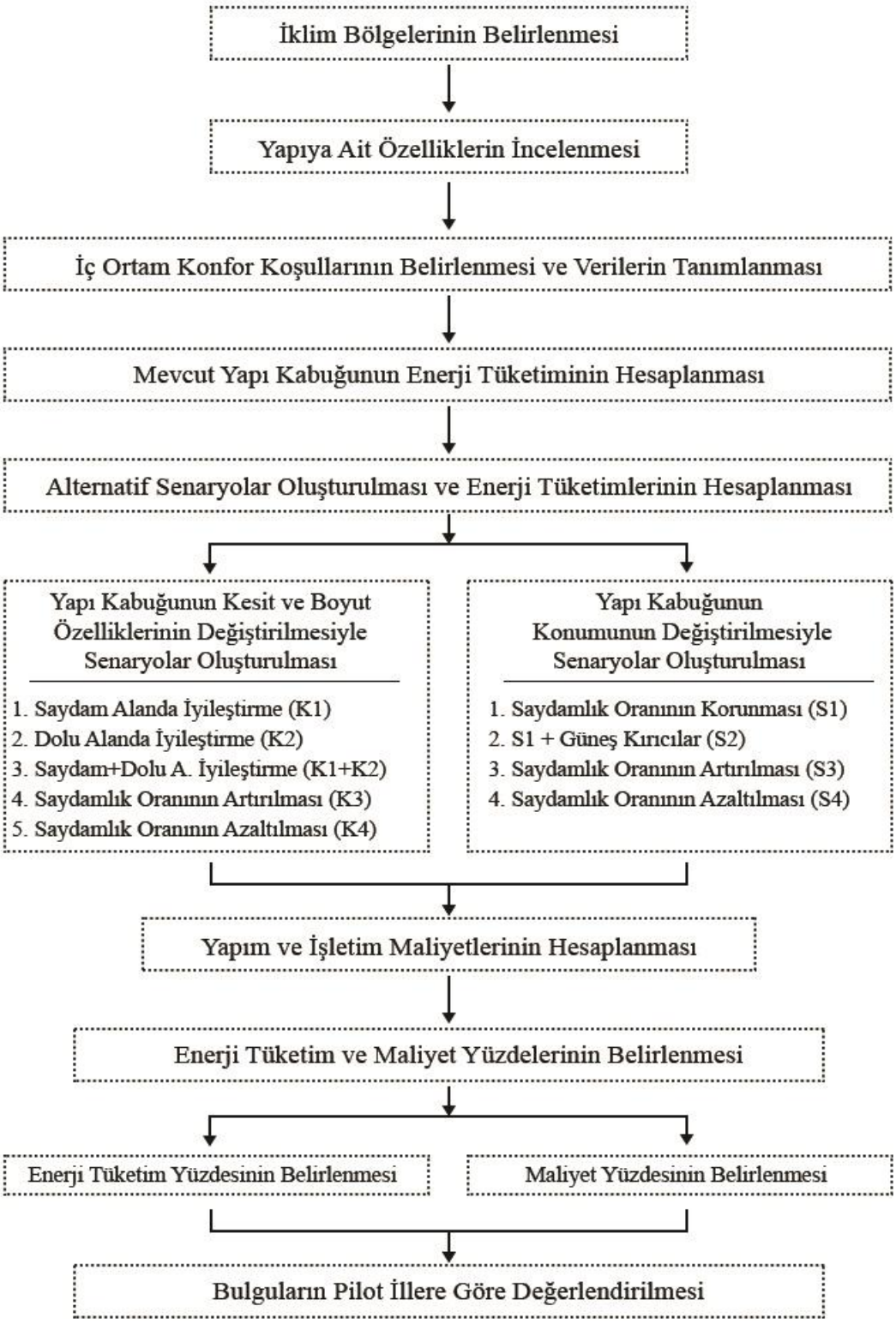
Bu tez çalışmasında yapı kabuğunun tasarımla ilgili kararlarının, kabuğun konum ve kesit özelliklerinin değerlendirildiği bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yaklaşım mevcut bir ofis yapısı örneğinde uygulanmıştır.

Doğan Holding Yönetim Binasının mevcut yapı kabuğu ile bu kabuğa alternatif olarak geliştirilen yapı kabuğu seçeneklerinin, farklı iklim bölgelerinden seçilen pilot illerde yıllık enerji tüketimi, yapı kabuğu yapım maliyetleri ve enerji tüketimi açısından işletim giderleri incelenmiştir.

Oluşturulan çalışmanın adımları aşağıda sıralanmıştır.

- İklim bölgelerinin belirlenmesi
- Yapıya ait tasarım ve yapı kabuğu özelliklerinin incelenmesi
- İç ortam konfor koşulları ile ilgili kabullerinin yapılması ve yapıya ait verilerin tanımlanması
- Mevcut yapı kabuğunun enerji tüketiminin hesaplanması
- Yapı kabuğunun kesit ve boyut özelliklerinin değiştirilmesi ile senaryolar oluşturulması ve enerji tüketimlerinin hesaplanması
- Yapı kabuğunun konumunun değiştirilmesi ile senaryolar oluşturulması ve enerji tüketimlerinin hesaplanması
- Mevcut yapı ve alternatif senaryoların yapım ve işletim maliyetlerinin hesaplanması
- Enerji tüketim yüzdesi ve maliyet yüzdesinin hesaplanması
- Bulguların pilot illere göre değerlendirilmesi

Çalışmada kullanılan yaklaşımın adımları Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan yaklaşımın adımları.

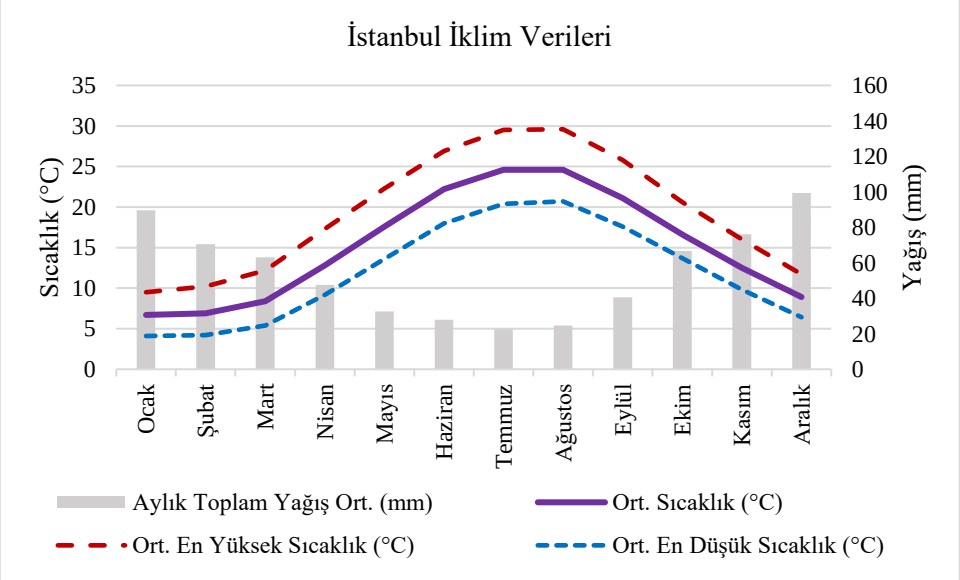
3.1 İklim Bölgelerinin Belirlenmesi

Enerji etkin yapı kabuğu tasarımının belirlenmesi için belirlenen referans yapı İstanbul, Üsküdar'da bulunmaktadır. Oluşturulan yaklaşımın farklı iklim bölgelerine uygunluğunun belirlenmesi için TS 825'te yer alan 3 iklim bölgesi ve bu bölgeleri temsil edecek şehirler belirlenmiştir.

Türkiye'de üç farklı iklim bölgesinden nüfusun en yoğun olduğu şehirler seçilmiştir. Belirlenen şehirler nüfus yoğunluğu sıralamasına göre İstanbul, Ankara ve İzmir'dir. TS 825'te derece gün bölgelerine göre illerin sınıflandırılmasında İstanbul 2. bölgede, Ankara 3. bölgede ve İzmir 1. bölgede yer almaktadır. Mevcut yapı ve yapı kabuğu alternatifleri ile oluşturulan senaryolar bu iklim bölgelerine uygulanmıştır.

- **İstanbul İklim Verileri**

İstanbul, Türkiye'nin Marmara Bölgesi'nde konumlanmış olup, Karadeniz ile Akdeniz iklimi arasında geçiş iklimine sahiptir. İstanbul, Marmara bölgesindeki en yüksek yağış alan şehirlerden biridir. Kışın sıcaklık -11 dereceye düşebilmekte olup, yazın +40 dereceye kadar çıkabilmektedir. İstanbul'a ait 1950-2022 yılları arası iklim verileri Şekil 3.2'te verilmiştir.



Şekil 3.2 İstanbul'a ait iklim verileri (Ölçüm Periyodu 1950 – 2022) [27]

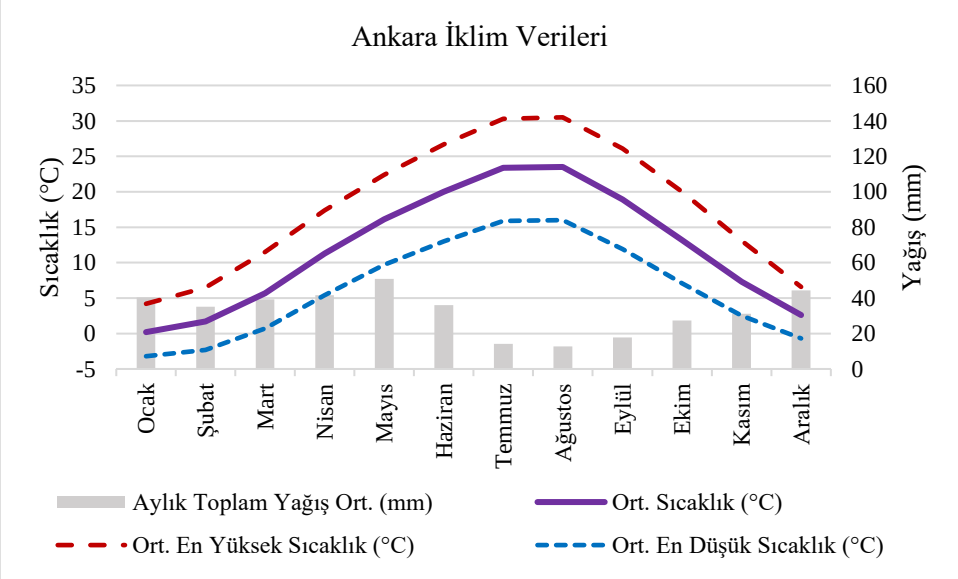
Ortalama nispi nem oranı yaklaşık %75'tir. Nem, yılın her ayı nemli olup en yüksek seviyeler genellikle Aralık ve ocak aylarında %80-85 aralığındadır. Genellikle

yüksek nem koşullarından dolayı, kar yağışının sıklığı azdır. Aralık ile mart ayları arasında kar yağışları görülebilmektedir [28]. İstanbul'un güney bölgelerinde, Akdeniz ikliminin bir alt tipi olan Yarı Nemli Marmara İklimi görülmektedir. Yazlar, Akdeniz İklimi kadar kurak geçmezken, kışlar nispeten daha soğuktur. Bu durum, bazı dönemlerde kar yağışlarını ve don olaylarını beraberinde getirir ki, bu durum Akdeniz ve Ege kıyılarına oranla daha sık yaşanır. İlin kuzey bölgesinde ise denizel etkiler ve hava kütlelerindeki değişimler nedeniyle Karadeniz İklimi görülmektedir. Bu bölge İstanbul'un güneyine göre daha nemlidir ve yıllık yağış miktarı daha fazladır. Yaz aylarında kuraklık daha az belirgindir ve genellikle mevsimin tamamına yayılmaz. Ortalama sıcaklıklar daha düşüktür ve yazın nemin artmasıyla birlikte daha serin geçerken, kış aylarında daha fazla kar yağışı görülebilmektedir [29].

- **Ankara İklim Verileri**

Ankara'nın genelinde karasal bir iklim hakimdir. Güney kesimlerde İç Anadolu'nun tipik özelliklerini yansıtan step iklimi görülürken, kuzey bölgelerde ise Karadeniz'in ılıman ve yağışlı iklim özellikleri hissedilir. Kış ayları, yaz aylarına göre daha fazla yağış alır [30].

Ankara'ya ait 1927 – 2022 yılları arası iklim verileri Şekil 3.3'te verilmiştir.



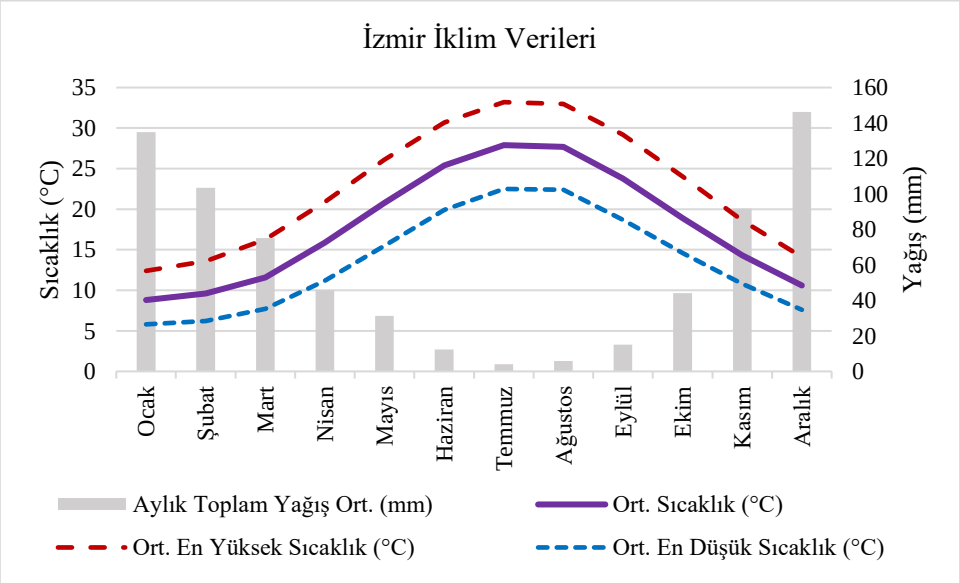
Şekil 3.3 Ankara'ya ait iklim verileri (Ölçüm Periyodu 1927 – 2022) [31].

Kış aylarında sıcaklıklar düşükken, yaz ayları ise sıcak geçer. En yüksek sıcaklıklar temmuz-ağustos aylarında yaşanırken, en düşük sıcaklıklar ise ocak ayında görülür.

Bölgeye düşen yağış miktarları kuzey ve güney kesimler arasında farklılık gösterir. Özellikle kış aylarında sık sık sis olayları yaşanır ve günlük yaşamı etkileyebilir. İl genelinde ortalama sıcaklık 11,7°C'dir ve yıllık ortalama yağış miktarı 389,1 mm'dir. En yüksek sıcaklık değeri 40,8°C iken en düşük sıcaklık -24,9°C olarak kaydedilmiştir. Don olaylarına maruz kalınan gün sayısı 60-117 arasında değişirken, yılda ortalama 30,5 gün kar yağışı gözlemlenir. En yüksek kar kalınlığı 30 cm olarak ölçülmüştür. İl merkezi ve çevresindeki istasyonlarda rüzgâr durumu, arazi yapısına bağlı olarak değişkenlik gösterir [30].

- **İzmir İklim Verileri**

İzmir, Akdeniz iklim kuşağında yer alan bir şehirdir. Yaz aylarında genellikle sıcak ve kurak bir hava hakimken, kış aylarında ılık ve yağışlı bir dönem yaşanır. Dağlar denize doğru dik bir biçimde uzanırken, ovalar İç Batı Anadolu eşiğine kadar ilerler. Bu durum, denizel etkilerin iç kesimlere kadar yayılmasına olanak tanır [32]. İzmir'e ait 1938 – 2022 yılları arası iklim verileri Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 İzmir'e ait iklim verileri (Ölçüm Periyodu 1938 – 2022) [33]

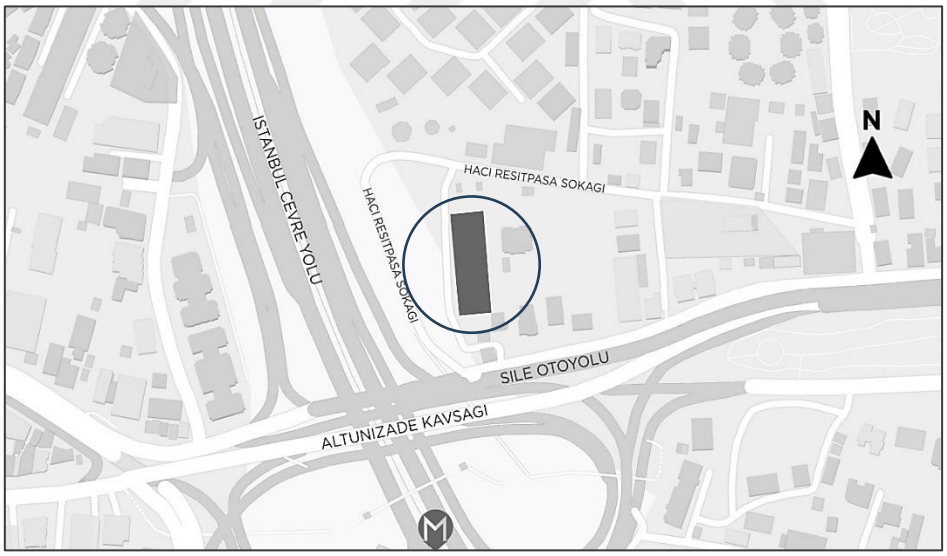
İlin yıllık ortalama sıcaklığı, kıyı kesimlerinde 14-18 ºC arasında değişmekte olup en sıcak aylar Temmuz (27.3 ºC) ve Ağustos (27.6 ºC) iken, en soğuk aylar Ocak (8.6 ºC) ve Şubat (9.6 ºC) aylarıdır. Yaz aylarında, kıyı kesimlerinde sıcaklık, iç kesimlere göre 1-2 ºC daha düşük olabilmektedir. Kış mevsiminde ise ortalama sıcaklık 7 ºC civarındadır ve zaman zaman kuzey ve kuzeybatıdan gelen denizel hava kütlesi nedeniyle düşebilmektedir. Yağışın aylara göre dağılımında önemli

farklar görülmektedir. Yıllık ortalama yağış miktarı 700 mm'dir ve bu yağışın %50'sinden fazlası kış mevsiminde, %40-45'i ilkbahar ve sonbaharda, %2-4'ü ise yaz aylarında gerçekleşmektedir. Kar yağışlı günlerin sayısı alçak kesimlerde oldukça azdır; ancak yüksek kesimlerde bu sayı ve karın yerde kalma süresi artmaktadır. İzmir, dağlarla çevrili ve bir körfez etrafına kurulmuş bir kenttir; bu nedenle havadaki nem oranı yüksektir. Ağustos ayında nem oranı %49'a kadar çıkabilmektedir. Kış aylarında rüzgâr kararsız ve ılık iken, yaz aylarında daha kararlı bir şekilde esmektedir. İzmir'de hâkim rüzgâr yönü güneydoğu ve batıdır [34].

3.2 Yapıya Ait Verilerin İncelenmesi

3.2.1 Yapının Konumu ve Yönelimi

Bu çalışmada değerlendirmek üzere bir ofis binası olan Doğan Holding Yönetim Binası seçilmiştir. Yapı, İstanbul'un Üsküdar ilçesinde Altunizade semtinde bulunmaktadır. Yapının konumu Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5 Yapının konumu

Yapı, Kısıklı Caddesi ile Hacı Reşitpaşa Sokağı arasında yer almakta olup, Altunizade köprüsüne yakın bir konumda bulunmaktadır. Yapının etrafı, bir bahçe duvarı ile çevrilmiş, bu sayede yakın çevresinden ayrılmış bir alan oluşturulmuştur. Bina, çevresinde geniş yeşil alanları ve genellikle yüksek katlı olmayan konutlar, ticari işletmeler ve bir cami gibi yapıları barındırmaktadır.



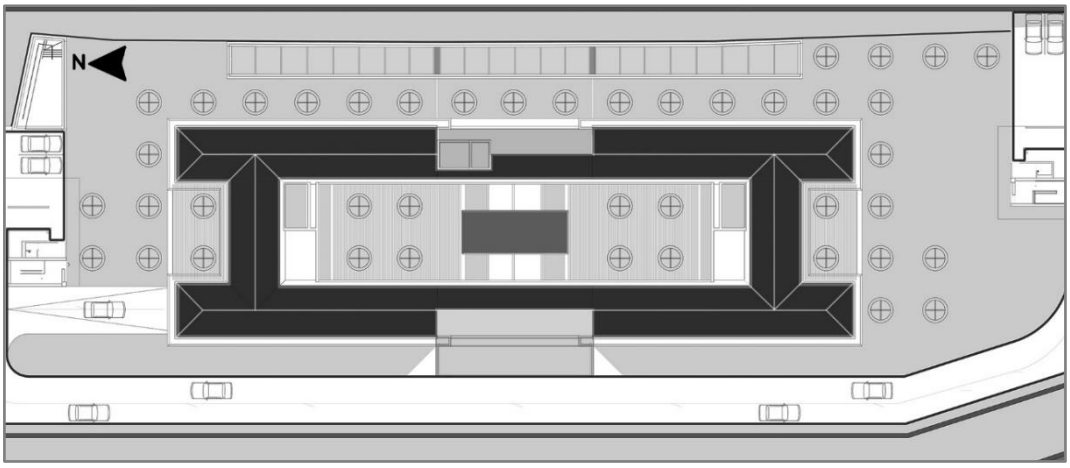
Şekil 3.6 Doğan Holding Yönetim Binası [34]

Çalışma kapsamında seçilen ve bir ofis yapısı olan Doğan Holding yönetim binası, kuzey-güney doğrultusunda uzanan bir kütle formuna sahiptir ve yakın çevresinde yüksek katlı yapılaşma bulunmamaktadır (Şekil 3.6). Yapının girişi, uzun cephelerinden biri olan batı cephesinden sağlanmaktadır. Orta alanda bulunan ve iç mekanlara doğal ışık sağlamakta olan iki adet iç avlu etrafında çevrelenen yapıda bu avlular düşey sirkülasyonun sağlandığı kütle ile ayrılmıştır.

3.2.2 Tasarım Özellikleri

Nevzat Sayın Mimarlık Hizmetleri tarafından tasarlanmış olan yapı, iki katı zemin kotu altında bulunmak üzere toplam 5 kattan oluşan ve kırma çatıya sahip olan bir yapıdır. 6700 m^2 arazi alanına sahip yapının toplam inşaat alanı 13300 m^2dir.

Bir iç avlunun çevresine yerleştirilmiş dışarıdan bakıldığında kapalı bir kütle gibi algılanan bir görünüme sahiptir. Ancak, avluların çevresine yerleştirilen kullanım alanları, birbirine görüş sağlayan ve her noktası gün ışığı ile aydınlatılan mekanlar oluşturulmasını sağlamıştır. Çalışma alanları temelde 3 kata yayılmış olup, toprak altında bulunan yemek salonu, seminer salonu, kütüphane, konferans salonu, spor mekanları ve ortak kullanım alanları da zemin kotunda konumlandırılan ışıklıklar sayesinde doğal ışık alarak iç mekanları aydınlatmaktadır. Şekil 3.7'da yapının vaziyet planı verilmiştir.



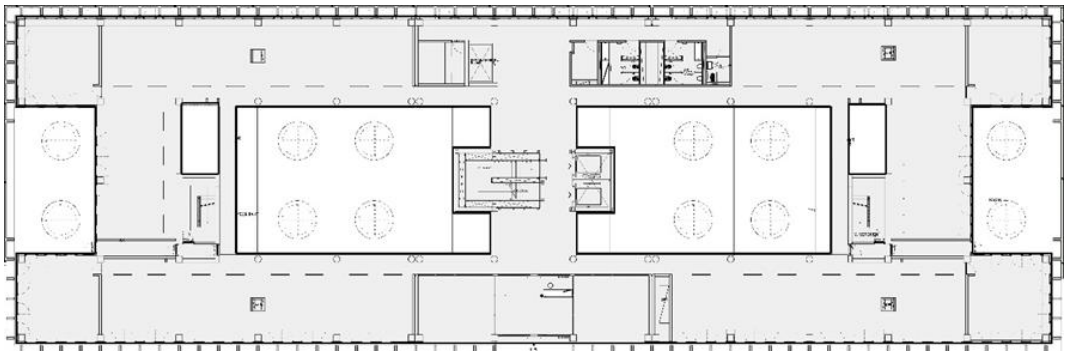
Şekil 3.6 Doğan Holding Yönetim Binası vaziyet planı [34]

- **Kat Planları**

Yapı, iki kat bodrum ve üç normal kat olmak üzere toplam beş katlı bir düzenlemeye sahiptir. Plan şeması, yapının tam ortasında yer alan ana düşey sirkülasyon elemanı ve düşey sirkülasyon elemanının iki yanında bulunan iç avluların etrafında şekillenen bir düzene sahiptir.

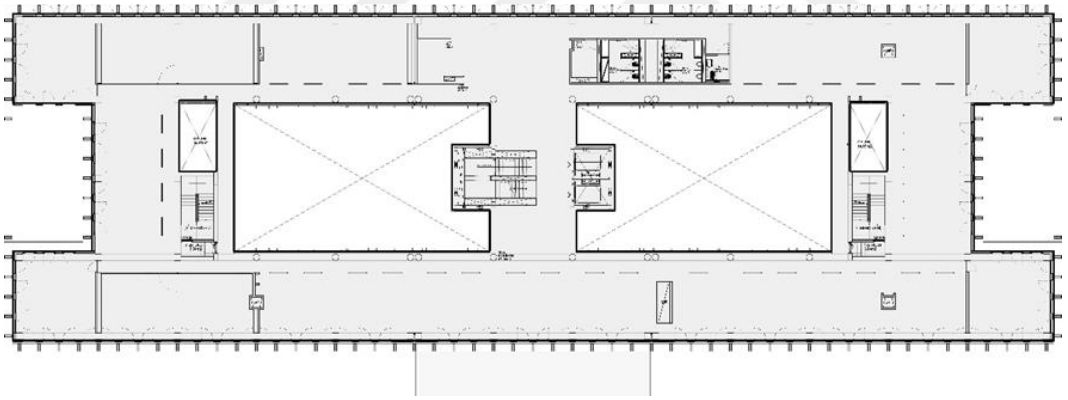
Yapının bodrum kat planları Ek A'da verilmiştir. İkinci bodrum katın büyük bir bölümü teknik hacimler, yemekhane ve kapalı otoparktan oluşmakta olup, bu katta ayrıca ofis alanı, seminer salonları, ıslak hacimler ve yemekhane bölümünde yer alan iç bahçe bulunmaktadır. Teknik hacimlerin bir bölümü, yemekhane, seminer salonlarının bulunduğu alanlar bir üst kata galeri boşlukları oluşturularak bağlanmıştır.

Yapının birinci bodrum katı, ikinci bodrum katta olduğu gibi geniş bir alana yayılmış olup, bu alanın önemli bir bölümü kapalı otoparka ayrılmıştır. Ek olarak, bu kat, galeri boşlukları aracılığıyla alt kata bağlanan hacimler, restoran, yeme-içme alanları, ofis alanları, teknik hacimler ve ıslak hacimleri içermektedir. Birinci bodrum katın tavanında konumlandırılmış olan ışıklıklar, iç mekanlara doğal aydınlatma sağlamaktadır. Ayrıca, bu katta oluşturulan galeri boşlukları, alt kattaki yemekhane ve sosyal alanların da aydınlatılmasını sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bu düzenleme, yapı içindeki bölgeler arasında hem görsel hem de fonksiyonel bir etkileşim sağlamaktadır, aynı zamanda doğal ışığın optimal bir şekilde kullanılmasını desteklemektedir.



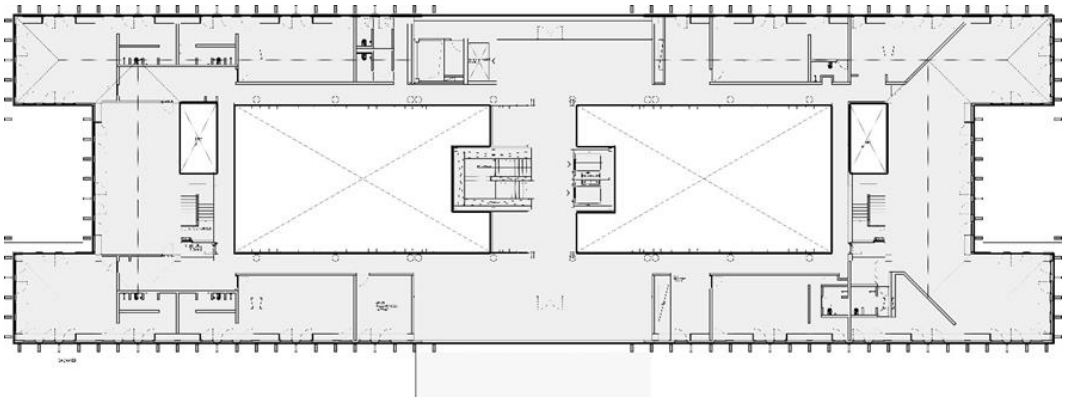
Şekil 3.8 Doğan Holding Yönetim Binası zemin kat planı [34]

Yapının zemin kat planı (Şekil 3.8) ve üst kat planları iç avluların etrafında şekillenen açık bir şemaya sahiptir. İç mekân bölümlenmesi büyük ölçüde açık ofis alanı ile yapının dört köşesinde bulunan toplantı salonlarından oluşmaktadır. Batı cephesinin tam ortasından giriş sağlanmakta olup ana düşey sirkülasyon elemanı plan şemasının merkezinde yer almaktadır. Ayrıca iki adet yangın merdiveni, iki adet iç bahçe ve ıslak hacimler bulunmaktadır. Zemin katta yer alan ışıklıklar ile bodrum katlara doğal aydınlanma sağlanmıştır.



Şekil 3.9 Doğan Holding Yönetim Binası 1.kat planı [34]

Birinci katta iç mekân bölümlenmesi açık ofis alanı ile yönetici odalarından oluşmaktadır. Zemin kattaki bölümlenmeye benzerlik göstermekte olup iç avlular sayesinde yapının içe dönük alanlarının doğal aydınlatma ile aydınlatılması sağlanmıştır (Şekil 3.9).

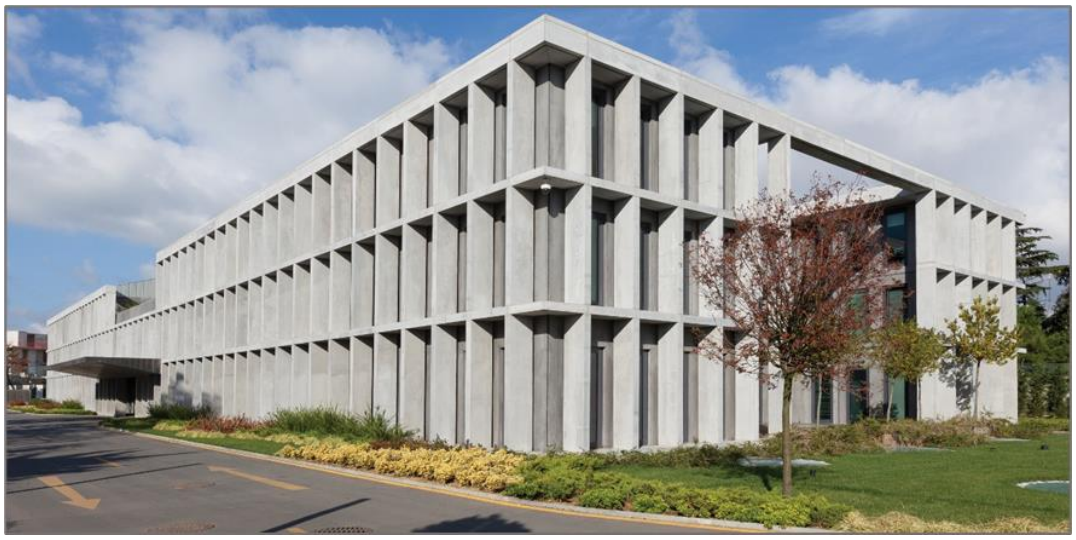


Şekil 3.10 Doğan Holding Yönetim Binası 2.kat planı [34]

Yapının ikinci kat planlanması ilk iki kattan farklı olarak daha fazla bölümlenmeden oluşmaktadır. Bu katta yönetici odaları ve toplantı salonları bulunmakta olup doğu ve batı cephelerine dönük açık teraslarla desteklenmiştir (Şekil 3.10).

- **Cephe Düzeni**

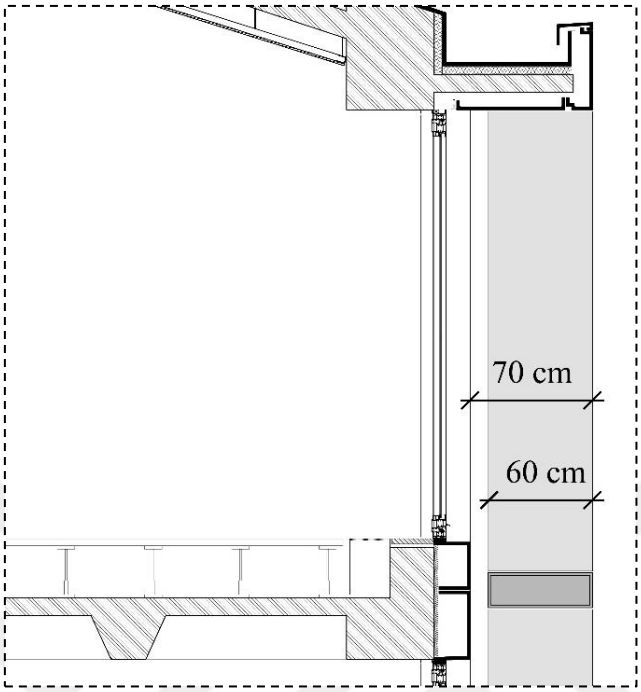
Yapı, dışarıdan bakıldığında uzun ve kapalı bir kütle olarak algılanmakta olup dört cephesi de dikey ve yatay olarak konumlandırılan prekast cephe elemanlarıyla çevrili ve yapı kabuğunun içeri çekildiği bir mimari üsluba sahiptir (Şekil 3.11). Yapı kırma çatıya sahip olup, merkezinde bulunan düşey sirkülasyon elemanlarının üzeri düz çatı ile örtülmüştür.



Şekil 3.11 Doğan Holding Yönetim Binası [34]

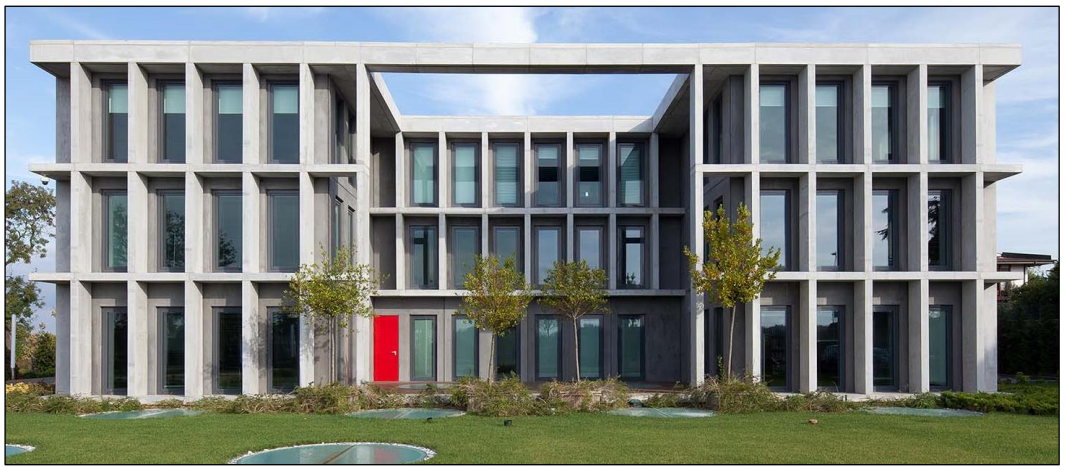
Yapının dış duvarları, 60 cm eninde prekast cephe elemanlarının kabuktan 10 cm uzaklığa, düşey ve yatay olarak yerleştirilmesi ile toplamda 70 cm içeriye

çekilmiştir. Bu şekilde yapı kabuğunun içeri çekildiği bir mimari üslup oluşturulmuştur. Şekil 3.12' de yapıya ait kesit detayı verilmiştir.



Şekil 3.12 Mevcut yapının kesit detayı [34]

Yapının güney ve kuzey cepheleri aynı tasarıma sahip olup, orta kısım yapı formunda yapılan girintilerle yan kısımlardan farklı konumlandırılmıştır. Şekil 3.13'te yapının güney cephesi verilmiştir.



Şekil 3.13 Doğan Holding Yönetim Binası güney cephesi [35]

Yapının batı cephesi, binaya giriş cephesi olup, giriş üzeri saçakla kapatılmıştır. İlk iki katta pencere düzeni belirli aralıklarla oluşturulmuş olup üçüncü katta bu pencerelerin sayısı azaltılarak farklı bir düzen oluşturulmuştur. Üçüncü katta ayrıca

zemin kattaki giriş saçağı hizasında bir teras bulunmaktadır. Şekil 3.14' de yapının batı cephesi verilmiştir. Yapının doğu cephesi olan arka cephe, batı cephesiyle benzer olarak tasarlanmış olup farklı olarak ilk katta orta kısımda da pencere düzeni devam etmiştir.



Şekil 3.14 Doğan Holding Yönetim Binası batı cephesi [34]

Yapıya ait cephe çizimleri Ek A'da yer almaktadır. Yapının toplam saydamlık oranı %44,50 olup yönlere göre cephelerin saydamlık oranları Tablo 3.1'de verilmiştir. Yapının kuzey ve güney cepheleri tasarım olarak aynı şekilde tasarlanmıştır. Bu yönlerde saydamlık oranları %50,08'dir.

Tablo 3.1 Yönlere göre cephelerin saydamlık oranları

Yön	Kuzey Cephesi	Güney Cephesi	Doğu Cephesi	Batı Cephesi
Saydamlık Oranı (%)	50,08	50,08	40,14	44,46

3.2.3 Yapı Kabuğu Özellikleri

Doğan Holding Yönetim Binasına ait mevcut yapı kabuğu özellikleri saydam alanlar, duvarlar, döşemeler ve çatılar olarak ayrı ayrı incelemiştir. Mevcut yapı kabuğunun saydam alan özellikleri Tablo 3.2'de, duvar özellikleri Tablo 3.3'te, zemin özellikleri Tablo 3.4'te, çatı özellikleri de Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.2 Mevcut yapı kabuğunun saydam alan özellikleri

Yapı Elemanı	Saydam alan bileşenleri	LT (Gün ışığı geçirgenlik)	SHGC (Güneş ısısı kazanç katsayısı)	U değeri (Toplam ısı geçirme katsayısı)
Pencere	6 mm düz cam	0,781	0,703	2,685
	12 mm hava boşluğu			
	6 mm düz cam			
Işıklık	Lamine cam (4mm+ PVB+4mm)	0,773	0,651	2,522
	12 mm hava boşluğu			
	Lamine cam (4mm+ PVB+4mm)			

Tablo 3.3 Mevcut yapı kabuğunun duvar özellikleri

Yapı Elemanı		Dolu Alan Bileşenleri	Kalınlık	Yoğunluk	Isı iletkenlik değeri	Toplam ısı geçirme katsayısı
			d (m)	p(kg/m³)	λ(W/mK)	U(W/m²K)
DUVAR	**Dış Duvar (21 cm Prekast Duvar)**	Dökme beton	0,015	2000	1,13	0,879
		Cürüf dolgu	0,165	881,00	1,0	
		Taş Yünü	0,03	40	0,038	
	Toprak Temaslı Duvar	Betonarme Perde Duvar	0,50	2400	2,5	0,543

Tablo 3.4 Mevcut yapı kabuğunun zemin özellikleri

Yapı Elemanı		Opak Alan Bileşenleri	Kalınlık	Yoğunluk	Isı iletkenlik değeri	Toplam ısı geçirme katsayısı
			d (m)	p(kg/m³)	λ(W/mK)	U(W/m²K)
ZEMİN	**Zemine Temas Eden Döşeme (1)**	Epoksi	0,05	1200	0,2	0,687
		Şap	0,05	1200	0,41	
		Cüruf Dolgu	0,44	881	1	
		Radye Temel	0,60	2400	2,5	
		Su yalıtımı	0,002	1100	1	
		Grobeton	0,10	1800	1,35	
		Sıkıştırılmış Toprak	0,15	1460	1,28	

Tablo 3.5 Mevcut yapı kabuğunun çatı özellikleri (devamı)

ZEMİN	**Zemine Temas Eden Döşeme (2)**	Yükseltilmiş Ahşap Döşeme	0,04	650	0,14	0,878
		Hava Boşluğu	0,5			
		Radye Temel	0,60	2400	2,5	
		Su yalıtımı	0,002	1100	1	
		Grobeton	0,10	1800	1,35	
		Sıkıştırılmış Toprak	0,15	1460	1,28	

Tablo 3.5 Mevcut yapı kabuğunun çatı özellikleri

Yapı Elemanı		**Dolu Alan Bileşenleri**	**Kalınlık**	**Yoğunluk**	**Isı iletkenlik hesap değeri**	**Toplam ısı geçirme katsayısı**
			d (m)	**p(kg/m³)**	**λ(W/mK)**	**U(W/m²K)**
ÇATI	**Teras Çatı**	Çakıl	0,05	1840	0,36	0,328
		Koruma Betonu	0,10	1800	1,35	
		Taş Yünü	0,10	40	0,038	
		Su Yalıtımı	0,004	1100	1	
		Betonarme Döşeme	0,15	2400	2,5	
	Kırma Çatı	Çatı Örtüsü	0,006	1250	0,29	0,497
		Kaplama tahtası	0,02	700	0,19	
		Havalandırma boşluğu	0,04			
		Taş Yünü	0,05	150	0,035	
		Su yalıtımı	0,004	1100	1	
		Tavan kaplaması	0,02	700	0,19	
	Bodrum Kat Çatı	Donatılı Şap	0,15	2300	2,3	0,395
		Çakıl	0,22	1840	0,36	
		Koruma Betonu	0,05	1800	1,35	
		Isı Yalıtımı	0,05	35	0,034	
		Su Yalıtımı	0,003	1100	1	
		Eğim Betonu	0,8	1800	1,35	

3.3 İç Ortam Konfor Koşullarının Belirlenmesi ve Veri Girişi

Ofis yapısının enerji performansının hesaplanması amacıyla DesignBuilder programı kullanılmıştır. Kullanılan programda yapının modellenmesi ve hesaplama yapılması amacıyla simülasyonun yapılabilmesi için yapıya ait belirli veriler tanımlanmış olup iç iklim koşulları açısından bazı kabuller yapılmıştır. Yapıya ait tanımlanan veriler ve yapılan kabuller aşağıda açıklanmıştır.

- Mevcut yapı ve tüm alternatifler için ayrı ayrı İstanbul, Ankara ve İzmir'e ait iklim verileri program üzerinden atanmıştır.
- Yapının işlevi ofis yapısı olarak tanımlanmış olup tüm mahaller programda zonlara ayrılmış ve her mahale uygun işlev atanmıştır. (Açık ofis, sirkülasyon alanları, ıslak hacimler, toplantı salonları, otopark, depo vb.)
- Yapının ısıtma sistemi için kullanılan enerji kaynağı doğalgaz olarak seçilmiş olup sıcak sulu konvektörler kullanılmıştır. Soğutma sistemi için ise elektrik enerjisi kullanılmıştır. Isıtma ve soğutma sistemleri yapıda iklimlendirme sistemlerinin aktif olmadığı otopark, depo vb. gibi alanlarda devre dışı bırakılmıştır.
- İç ortam konfor koşulları, ASHRAE standartlarına göre belirlenmiştir. Isıtma dönemi iç hava sıcaklığı 22°C, geri ısıtma değeri 12°C, soğutma dönemi iç hava sıcaklığı 24°C, geri soğutma değeri ise 28°C olarak tanımlanmıştır. Doğal havalandırma ve mekanik havalandırma aktif edilmiştir.
- Metrekareye düşen kullanıcı yoğunluğu yapının kullanıcı sayısı ve alanına göre hesaplanmış olup 0,11 kişi/m^2 olarak belirlenmiştir.
- Aktivite düzeyi 0.9 met, giysi yalıtım değeri kış ayları için 1 clo, yaz ayları için 0,5 clo olarak tanımlanmıştır.
- Ofis ekipmanları ve bilgisayar kullanımı mahallerin işlevine göre aktive edilmiştir.
- Yapıda aydınlatma amacı ile LED kullanıldığı kabul edilmiş olup, aydınlatma düzeyi 400 lux olarak belirlenmiştir. Aydınlatma düzeyi

ıslak hacimler için 200 lux, sirkülasyon alanları, otopark ve depolama alanları için 100 lux olarak kabul edilmiştir.

- Hafta sonları çalışılmadığı varsayılmış olup resmî tatil günleri programa detaylı olarak girilmiştir. Ek B'de simülasyona dahil edilen resmî tatil günleri verilmiştir.

3.4 Mevcut Yapının Enerji Tüketiminin Hesaplanması

Enerji tüketiminin hesaplanması amacı ile DesignBuilder yazılımında, pilot iller olan İstanbul, Ankara ve İzmir illerinin konum bilgileri tanımlanmış olup seçilen illere ait iklim verileri aktarılmıştır.

Yapının detaylı modellenmesi gerçekleştirilmiş olup çevresinde bulunan güneşlenme durumunu etkileyebilecek yapılar modele aktarılmıştır. Modelde tüm mahaller ayrı ayrı tanımlanmıştır ve işlevleri atanmıştır. İklimlendirilme yapılmayan mekanlar için ısıtma ve soğutma sistemleri devre dışı bırakılmıştır. Şekil 3.15'te mevcut yapının DesignBuilder modellemesine ait bir görsel verilmiştir.



Şekil 3.15 Mevcut Yapının DesignBuilder'da modellenmesi

İç iklim koşulları için yapılan kabullere dair veriler tanımlanmış ve dış duvarlar, döşemeler, çatı, pencereler ve iç duvarlar gibi tüm yapı elemanları uygulama projesinde belirtildiği gibi aktarılmıştır. Şekil 3.16'da zemin katta iç mekân bölümlendirilmesi gösterilmiştir. Yapının diğer katlara ait DesignBuilder programında iç mekân bölümlendirilmesi Ek B'de verilmiştir.



Şekil 3.16 Mevcut yapının zemin kat iç mekân bölümlenmesi

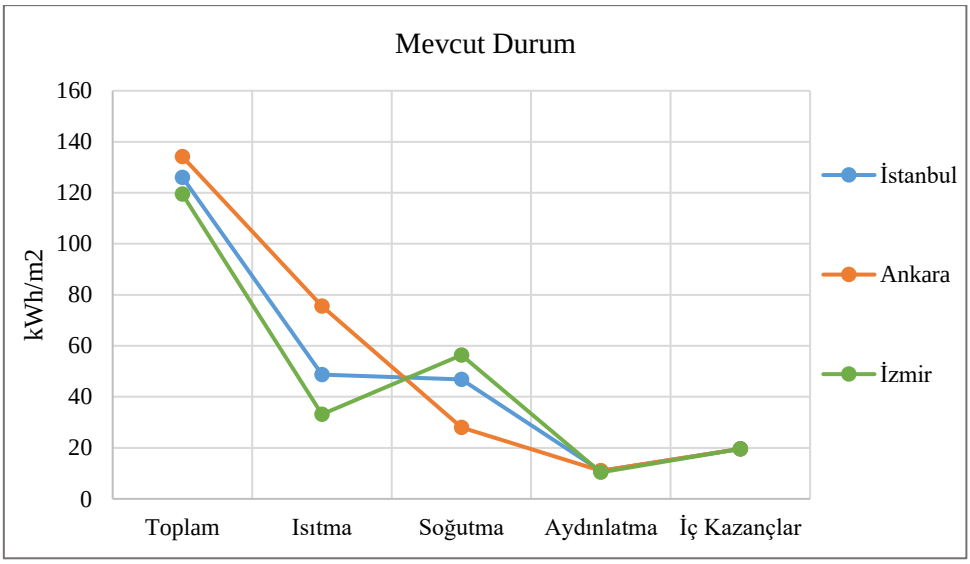
Yapılan modelleme ve simülasyon ile pilot iller için ayrı ayrı yıllık toplam enerji tüketimi ve birim alana düşen toplam enerji tüketimi hesaplanmıştır. Hesaplama ile ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleri ve iç kazançlar hakkında veriler sağlamıştır. Tablo 3.6'da mevcut yapıda yıllık toplam enerji tüketimi ve birim alana düşen toplam enerji tüketiminin sınıflandırılması verilmiştir.

Tablo 3.6 Mevcut yapının enerji tüketim analizi

MEVCUT	**Yıllık Toplam Enerji Tüketimi (kWh/yıl)**			**Birim Alanda Enerji Tüketimi (kWh/m^2 yıl)**		
	İstanbul	**Ankara**	**İzmir**	**İstanbul**	**Ankara**	**İzmir**
Isıtma	432674,94	671655,96	294807,52	48,70	75,59	33,18
Soğutma	416374,48	248843,94	500300,16	46,86	28,01	56,31
Aydınlatma	97358,04	97885,71	92386,25	10,96	11,02	10,40
İç Kazançlar	173802,86	173802,86	173802,86	19,56	19,56	19,56
Toplam	1120210,32	1192188,47	1061296,79	126,08	134,18	119,45

Mevcut yapı için en yüksek yıllık toplam enerji tüketimi Ankara ilinde olup 1192188,47 kWh/yıl'dır. Ardından İstanbul ilinde 1120210,32 kWh/yıl ve en az olan İzmir ilinde 1061296,79 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi, İstanbul için 126,08 , Ankara için 134,18 ve İzmir için 119,45 kWh/m^{2}yıl'dır.



Şekil 3.17 Mevcut yapıda birim alana düşen toplam enerji tüketimi

Mevcut yapıda en fazla enerji tüketimine sebep olan kullanımların tüm pilot iller için ısıtma ve soğutma amaçlı olduğu görülmüştür (Şekil 3.17). Pilot illerde aydınlatma yüklerinin birbirine oldukça yakın olduğu ve iç kazançlardan kaynaklanan enerji tüketiminin aynı olduğu görülmektedir.

- İstanbul ilinde birim alana düşen ısıtma yükü 48,70 kWh/m^{2}yıl olup soğutma yükü 46,86 kWh/m^{2}yıl'dir. Isıtma ve soğutma yükleri birbirine yakındır.
- Ankara ilinde birim alana düşen ısıtma yükü 75,59 kWh/m^{2}yıl soğutma yükü 28,01 kWh/m^{2}yıl'dir. Ankara ilinde ısıtma yükü, soğutma yükünün 2.7 katıdır.
- İzmir ilinde birim alana düşen ısıtma yükü 33,18 kWh/m^{2}yıl soğutma yükü de 56,31 kWh/m^{2}yıl'dir. Soğutma yükü, ısıtma yükünün 1.7 katıdır.

Seçilen pilot illerde enerji yüklerinin dağılımı farklılık göstermektedir. Hesaplamalar, toplam enerji tüketiminin azaltılması amacı ile İstanbul ili için ısıtma ve soğutma, Ankara ili için ısıtma, İzmir ili için de soğutma yüklerinin azaltılmasının amaçlanması gerektiğini göstermektedir. Bu amaç doğrultusunda farklı senaryolar ile yapı kabuğu alternatifleri geliştirilip, en uygun yaklaşımın belirlenmesi hedeflenmiştir.

3.5 Yapı Kabuğu Senaryoları Oluşturulması ve Enerji Tüketimlerinin Hesaplanması

Mevcut yapıda enerji tüketiminin başlıca sebepleri olan ısıtma ve soğutma yüklerinin yapı kabuğu tasarımı üzerinden değişimini incelemek ve en verimli tasarım seçeneğini belirlemek amacı ile mevcut tasarım üzerinden iki temel yaklaşım ile 10 yeni senaryo oluşturulmuştur. Senaryolar iki başlığa ayrılmıştır;

1. Yapı kabuğu kesit ve boyut özelliklerinin değiştirilmesi
2. Yapı kabuğunun konumunun değiştirilmesi

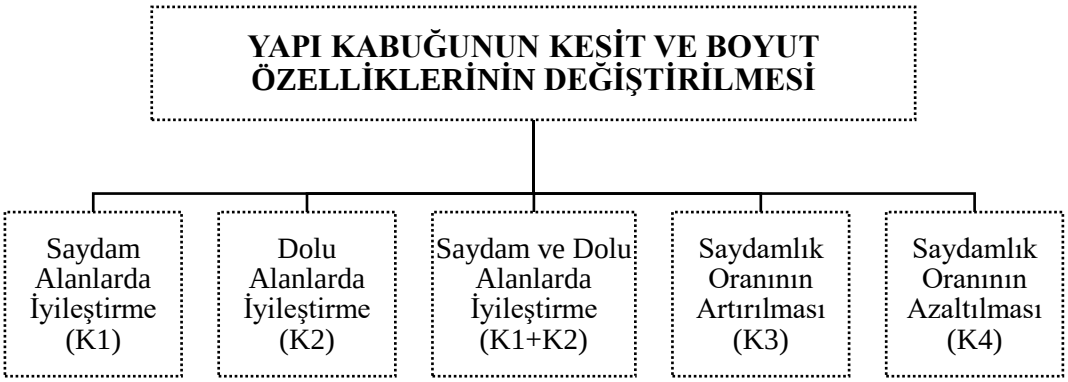
Her senaryonun enerji tüketimi ve maliyetleri pilot iller üzerinden analiz edilmiş, oluşturulan seçenekler arasından her bir iklim bölgesi için en uygun seçeneğin belirlenmesi amaçlanmıştır.

3.5.1 Yapı Kabuğunun Kesit ve Boyut Özelliklerinin Değiştirilmesi

Mevcut yapının, yapı kabuğu etrafı prekast cephe elemanlarından oluşan bir grid ile çevrilmiş bir mimari üsluba sahip olup, yapı kabuğu içe çekilmiş bir konumda bulunmaktadır.

Bu bölümdeki senaryolarda yapı tasarımının mevcut yapı ile aynı olduğu ve yapının mimari üslubunun korunduğu yapı kabuğunda, saydam veya dolu alanların kesitlerinde iyileştirmeler ve saydam alan oranlarında değişiklikler yapılarak bu değişikliklerin yapı kabuğunun enerji performansına etkisi incelenmiştir. Senaryolar;

- Saydam alanlarda iyileştirme (K1)
- Dolu alanlarda iyileştirme (K2)
- Saydam ve dolu alanlarda iyileştirme (K1+ K2)
- Saydamlık oranının artırılması (K3)
- Saydamlık oranının azaltılması (K4) olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Yapı kabuğunun kesit ve boyut özelliklerinin değiştirilmesi ile oluşturulan senaryolar

3.5.1.1 Saydam Alanlarda İyileştirme (K1)

Mevcut yapı tasarımı ile yapı kabuğunun kesit ve boyut özelliklerinin değiştirilmesi için oluşturulan ilk senaryo saydam alanların kesit özelliklerinde iyileştirmeye gidilmesidir.

Yapı kabuğunda bulunan pencerelerde farklı cam türleri ve camlar arası boşluk özellikleri kullanılarak yapının enerji performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Isı yalıtımlı alüminyum doğrama kullanılmış, cam türü ve camlar arası boşluk için alternatifler değerlendirilmiştir. Seçenekler düz cam, Low-E cam, reflekte cam seçenekleri ile oluşturulmuş, aradaki boşluk için hava boşluğu ve argon gazı seçenekleri değerlendirilmiştir. Tablo 3.7'de K1 senaryosunun belirlenmesi için değerlendirilen pencere seçenekleri ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.7 K1 senaryosu için farklı pencere seçenekleri ve özellikleri

Saydam alan bileşenleri		**Gün ışığı geçirgenlik**	**Güneş ısısı kazanç katsayısı**	**Toplam ısı geçirme katsayısı**	**Birim Fiyat**
		LT	**SHGC**	**U(W/m²K)**	**(TL/m²)**
K1₁	6 mm düz cam	0,781	0,703	2,517	756 (25,2$)
	12 mm argon gazı				
	6 mm düz cam				
K1₂	6 mm Low-E cam	0,606	0,289	1,618	810 (27$)
	12 mm hava boşluğu				
	6 mm düz cam				

Tablo 3.7 K1 senaryosu için farklı pencere seçenekleri ve özellikleri (devamı)

$K1_3$	**6 mm Low-E cam** **12 mm argon gazı** **6 mm düz cam**	**0,745**	**0,568**	**1,481**	**816** (27,2$)
$K1_4$	6 mm reflekte cam 12 mm hava boşluğu 6 mm düz cam	0,308	0,426	2,688	1250 (41,66$)
$K1_5$	6 mm reflekte cam 12 mm argon gazı 6 mm düz cam	0,308	0,426	2,498	1256 (41,86$)

TS 825'te tüm bölgelerde, pencereler için sağlanması gereken U değeri 1,8 W/m^2K'dir [19]. Saydam alan kesiti için değerlendirilen seçenekler arasında bu değerin sağlanması için uygun seçeneklerin yalnızca $K1_2$ ve $K1_3$ seçenekleri olduğu belirlenmiştir. İki seçenek arasında birim fiyat ve toplam ısı geçirme katsayısı açısından en uygun seçeneğin $K1_3$ olduğuna karar verilmiştir. Bu nedenle K1 senaryosu $K1_3$ seçeneğinde verilen pencere özelliklerine göre oluşturulmuştur.

Oluşturulan yeni pencere kesiti için 6 mm Low-E cam + 6 mm düz cam, camlar arasında argon gazı kullanılan seçenek değerlendirilmeye alınıp K1 senaryosu ile oluşturulan yapı kabuğunun saydam alan bileşenleri DesignBuilder programında tanımlanarak, enerji tüketimi hesaplaması yapılmıştır (Tablo 3.8).

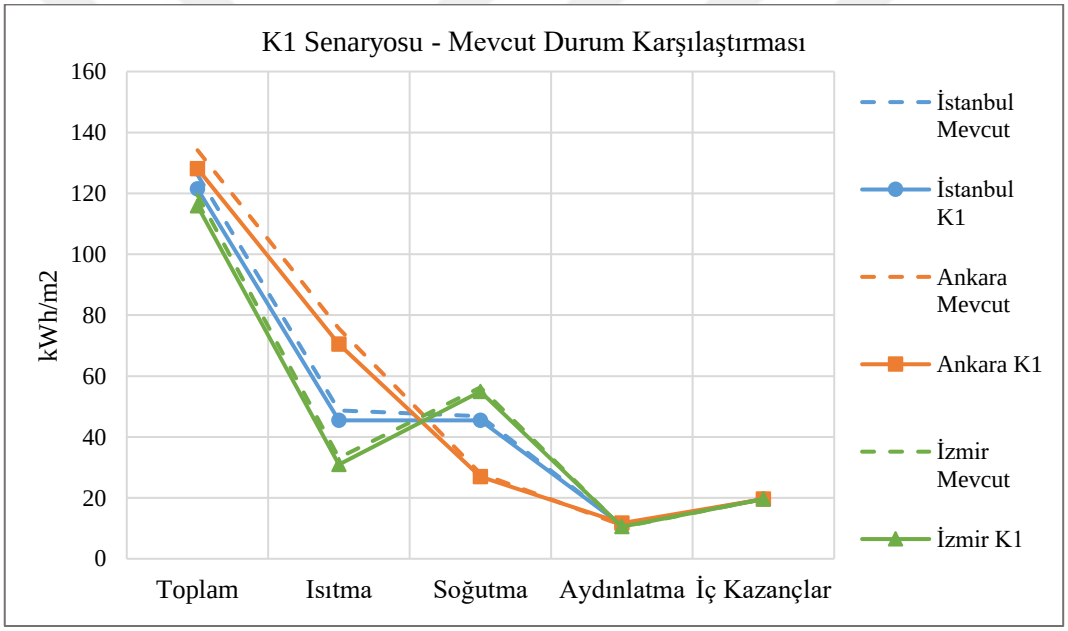
Tablo 3.8 K1 senaryosu ile oluşturulan yapının enerji tüketim analizi

K1	**Yıllık Toplam Enerji Tüketimi (kWh/yıl)**			**Birim Alanda Enerji Tüketimi ($kWh/m^2yıl$)**		
	İstanbul	**Ankara**	**İzmir**	**İstanbul**	**Ankara**	**İzmir**
Isıtma	403519,74	625681,61	274485,98	45,41	70,42	30,89
Soğutma	403964,95	239500,84	487460,41	45,46	26,96	54,86
Aydınlatma	98021,01	99258,22	93479,80	11,03	11,7	10,52
İç Kazançlar	173802,86	173802,86	173802,86	19,56	19,56	19,56
Toplam	1079308,56	1138243,53	1029229,05	121,47	128,11	115,84

K1 senaryosu, tüm pilot iller için yıllık toplam enerji tüketimi açısından mevcut durumdan daha iyi sonuç vermiştir.

- İstanbul ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1079308,56 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 40901,76 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 29155,2 ve soğutma yükü 12409,53 kWh/yıl azalmıştır.
- Ankara ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1138243,53 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 53944,94 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 45974,35 kWh/yıl, soğutma yükü 9343,1 kWh/yıl azalmıştır.
- İzmir ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1029229,05 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 32067,74 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 20321,54 kWh/yıl, soğutma yükü 12839,75 kWh/yıl azalmıştır.

Şekil 3.19'da K1 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3.19 K1 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması

- İstanbul ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 121,47 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 4,61 kWh/m^{2}yıl azalmıştır.
- Ankara ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 128,11 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 6,07 kWh/m^{2}yıl azalmıştır.
- İzmir ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 115,84 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 3,61 kWh/m^{2}yıl azalmıştır.

3.5.1.2 Dolu Alanlarda İyileştirme (K2)

Yapı kabuğu kesit özelliklerinde değişiklik yapılması amacıyla oluşturulan K2 senaryosu, dolu alanlarda iyileştirme yapılmasıdır.

Yapı kabuğunun duvar alanlarında farklı malzeme ve kalınlıklarla oluşturulan duvar kesitleri ile yapının enerji performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Saydam alan özellikleri ve saydamlık oranları, mevcut yapıdaki ile aynı olup 12 mm hava boşluğu ve 6 mm'lik düz camlardan oluşan çift cam kullanılmıştır.

Seçenekler 19 ve 13,5 cm kalınlıklarındaki tuğla ve gaz beton duvar elemanları ile oluşturulmuş, yalıtım için taş yünü ve XPS yalıtım ürünlerinin 3 cm ve 5 cm kalınlıkları ile farklı kesitler üretilmiştir. Kaplamalı olan seçenekler için ayrıca tuğla ve alüminyum kaplama seçenekleri değerlendirilmiştir. Belirlenen malzemeler ile 16 farklı seçenek oluşturulmuştur. Tüm seçenekler ve malzemeler için birim fiyat araştırılması yapılmıştır. Tablo 3.9'da K2 senaryosunun belirlenmesi için oluşturulan dolu alan seçenekleri ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.9 K2 için oluşturulan dolu alan seçenekleri ve özellikleri

No	Duvar Kesiti	Kalınlık	Yoğunluk	Isı iletkenlik değeri	Toplam Isı Geç. Katsayısı	Birim Fiyat	
		d (m)	p (kg/m³)	λ (W/mK)	U (W/m²K)	(TL/m²)	
K2₁	Dış Sıva	0,02	1760	0,72	0,747	460,44	2134,9 (71,2$)
	Taş Yünü	0,03	40	0,038		689,47	
	Tuğla	0,19	1700	0,84		576,29	
	İç sıva	0,02	600	0,16		408,70	
K2₂	Dış Sıva	0,02	1760	0,72	0,536	460,44	2158,91 (71,9$)
	Taş Yünü	0,05	35	0,038		713,48	
	Tuğla	0,19	1700	0,84		576,29	
	İç sıva	0,02	600	0,16		408,70	
K2₃	Dış Sıva	0,02	1760	0,72	0,699	460,44	2077,49 (69,24$)
	XPS	0,03	35	0,034		632,06	
	Tuğla	0,19	1700	0,84		576,29	
	İç sıva	0,02	600	0,16		408,70	
K2₄	Dış Sıva	0,02	1760	0,72	0,495	460,44	2137,49 (71,24$)
	XPS	0,05	35	0,034		692,06	
	Tuğla	0,19	1700	0,84		576,29	
	İç sıva	0,02	600	0,16		408,70	
K2₅	Tuğla Kap.	0,015	1700	0,84	0,353	644,00	2403,96 (80,13$)
	Taş yünü	0,03	40	0,038		689,47	
	Gaz beton	0,19	2800	0,11		661,79	
	İç sıva	0,02	600	0,16		408,70	

Tablo 3.9 K2 için oluşturulan dolu alan seçenekleri ve özellikleri (devamı)

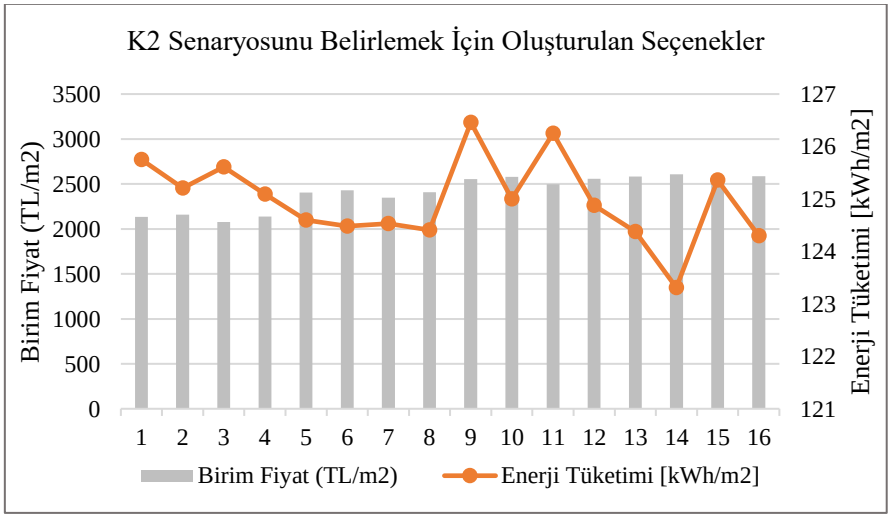
K2$_6$	Tuğla Kap.	0,015	1700	0,84	0,298	644,00	2427,97 (80,93$)
	Taş yünü	0,05	40	0,038		713,48	
	Gaz beton	0,19	2800	0,11		661,79	
	İç sıva	0,02	600	0,16		408,70	
K2$_7$	Tuğla Kap.	0,015	1700	0,84	0,342	644,00	2346,55 (78,21$)
	XPS	0,03	40	0,034		632,06	
	Gaz beton	0,19	2800	0,11		661,79	
	İç sıva	0,02	600	0,16		408,70	
K2$_8$	Tuğla Kap.	0,015	1700	0,84	0,285	644,00	2406,55 (80,21$)
	XPS	0,05	40	0,034		692,06	
	Gaz beton	0,19	2800	0,11		661,79	
	İç sıva	0,02	600	0,16		408,70	
K2$_9$	Alüminyum kaplama	0,05	7680	45	0,707	955,00	2554,92 (85,16$)
	Hava boş.	0,015					
	Taş Yünü	0,03	40	0,038		689,47	
	Tuğla	0,135	1700	0,84		501,75	
	İç Sıva	0,02	600	0,16		408,70	
K2$_{10}$	Alüminyum kaplama	0,05	7680	45	0,515	955,00	2578,93 (85,96$)
	Hava boşluğu	0,015					
	Taş Yünü	0,05	40	0,038		713,48	
	Tuğla	0,135	1700	0,84		501,75	
	İç Sıva	0,02	600	0,16		408,70	
K2$_{11}$	Alüminyum kaplama	0,05	7680	45	0,663	955,00	2497,51 (83,25$)
	Hava boş.	0,015					
	XPS	0,03	40	0,034		632,06	
	Tuğla	0,135	1700	0,84		501,75	
	İç Sıva	0,02	600	0,16		408,70	
K2$_{12}$	Alüminyum kap.	0,05	7680	45	0,477	955,00	2557,51 (85,25$)
	Hava boş.	0,015					
	XPS	0,05	40	0,034		692,06	
	Tuğla	0,135	1700	0,84		501,75	
	İç Sıva	0,02	600	0,16		408,70	
K2$_{13}$	Alüminyum kap.	0,05	7680	45	0,403	955,00	2584,43 (86,14$)
	Hava boş.	0,015					
	Taş Yünü	0,03	40	0,038		689,47	
	Gaz beton	0,135	2800	0,11		531,26	
	İç Sıva	0,02	600	0,16		408,70	
K2$_{14}$	**Alüminyum kap.**	**0,05**	**7680**	**45**	**0,332**	**955,00**	**2608,44 (86,94$)**
	Hava boş.	**0,015**					
	Taş Yünü	**0,05**	**40**	**0,038**		**713,48**	
	Gaz beton	**0,135**	**2800**	**0,11**		**531,26**	
	İç Sıva	**0,02**	**600**	**0,16**		**408,70**	

Tablo 3.9 K2 için oluşturulan dolu alan seçenekleri ve özellikleri (devamı)

K2$_{15}$	Alüminyum kaplama	0,05	7680	45	0,388	955,00	2527,02 (84,23$)
	Hava boş.	0,015					
	XPS	0,03	40	0,034		632,06	
	Gaz beton	0,135	2800	0,11		531,26	
	İç Sıva	0,02	600	0,16		408,70	
K2$_{16}$	Alüminyum kaplama	0,05	7680	45	0,316	955,00	2587,02 (86,23$)
	Hava boş.	0,015					
	XPS	0,05	40	0,034		692,06	
	Gaz beton	0,135	2800	0,11		531,26	
	İç Sıva	0,02	600	0,16		408,70	

TS 825'te, duvarlar için sağlanması gereken U değeri 1. Bölge için 0,66 W/m^{2}K, 2. Bölge için 0,57 W/m^{2}K ve 3. Bölge için 0,48 W/m^{2}K'dir [19]. Oluşturulan 16 seçenekten 4'ü hiçbir iklim bölgesi için, 7'si sadece Ankara ili için uygun U değerini sağlamamaktadır.

Tüm seçenekler için yapı kabuğunun dolu alan bileşenleri DesignBuilder programında tanımlanarak, mevcut yapının bulunduğu il olan İstanbul referans alınarak ayrı ayrı enerji tüketimi hesaplaması yapılmıştır. Malzeme birim fiyatları üzerinden her seçeneğin toplam birim fiyatları hesaplanmıştır. Enerji tüketimi hesaplarının sonuçları ve toplam birim fiyatlar Ek C'de yer almaktadır. Şekil 3.20'de K2 senaryosu ile oluşturulan seçeneklerin birim alana düşen toplam enerji tüketimi ve birim alana düşen enerji tüketimi verilmiştir.



Şekil 3.20 Dolu alan seçeneklerinin enerji tüketimi ve maliyet kıyaslaması

Dolu alanlarda iyileştirme amaçlı K2 senaryosu ile oluşturulan seçeneklerin birim alanda enerji tüketimini ve malzeme birim fiyatları kıyaslaması incelendiğinde birim fiyatlardaki değişimin, enerji tüketimi değişimine kıyasla daha az olduğu görülmektedir.

Uygun U değerini sağlayan seçenekler arasından en verimli seçeneğin belirlenmesi için bu seçeneklerin, yapım ve işletim maliyetleri hesaplanmıştır. K2 senaryosu için oluşturulan seçeneklerin, yapı kabuğu yapım maliyetleri, yıllık enerji giderleri ve işletme giderleri Ek C'de verilmiştir.

Yapım + işletim maliyeti en düşük seçenek $K2_{14}$ seçeneğidir. Bu yüzden K2 senaryosu $K2_{14}$ seçeneğine göre oluşturulmuş ve diğer iki iklim bölgesi için de hesaplamalar yapılmıştır.

Dolu alan kesiti 5 cm taş yünü ısı yalıtımlı, 13,5 cm gaz beton duvar elemanı ve alüminyum kaplamadan oluşmaktadır. Belirlenen yapı kabuğunun dolu alan bileşenleri ile enerji tüketimi hesaplaması yapılmıştır. Tablo 3.10'da K2 senaryosunun yıllık toplam enerji tüketimi ve birim alana düşen enerji tüketimi verilmiştir.

Tablo 3.10 K2 senaryosu ile oluşturulan yapının enerji tüketim analizi

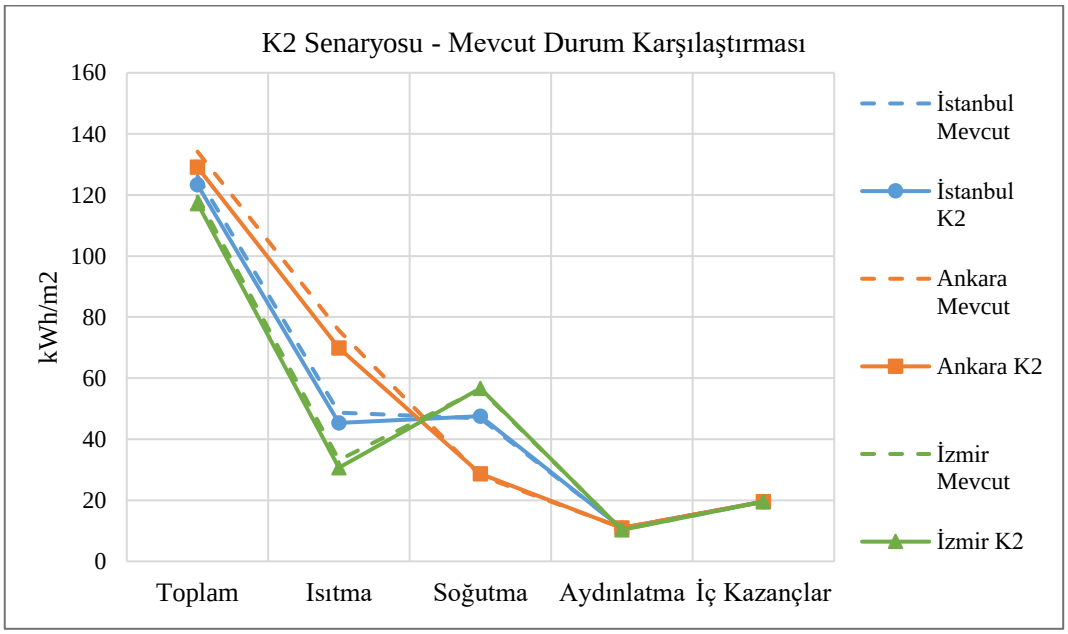
K2	Yıllık Toplam Enerji Tüketimi (kWh/yıl)			Birim Alanda Enerji Tüketimi (kWh/m^{2}yıl)		
	İstanbul	Ankara	İzmir	İstanbul	Ankara	İzmir
Isıtma	406449,89	626518,92	275003,88	45,30	69,83	30,65
Soğutma	426670,65	257585,06	508224,05	47,56	28,71	56,65
Aydınlatma	97391,06	98013,55	92527,95	10,85	10,92	10,31
İç Kazançlar	175852,68	175852,68	175852,68	19,60	19,60	19,60
Toplam	1106364,28	1157970,21	1051608,57	123,31	129,06	117,21

K2 senaryosu, tüm pilot iller için yıllık toplam enerji tüketimi açısından mevcut durumdan daha iyi sonuç vermiştir.

- İstanbul ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1106364,28 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 13846,04 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 26225,05 kWh/yıl azalmış, soğutma yükü 10296,17 kWh/yıl artmıştır.

- Ankara ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1157970,21 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 34218,26 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 45137,04 kWh/yıl azalmış, soğutma yükü 8741,12 kWh/yıl artmıştır.
- İzmir ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1051608,57 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 9688,22 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 19803,64 kWh/yıl azalmış, soğutma yükü 7923,89 kWh/yıl artmıştır.

Şekil 3.21'de K2 birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3.21 K2 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması

- İstanbul ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 123,31 kWh/m^2 yıl'dır ve mevcut duruma göre 2,77 kWh/m^2yıl azalmıştır.
- Ankara ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 129,06 kWh/m^2yıl'dır ve mevcut duruma göre 5,12 kWh/m^2yıl azalmıştır.
- İzmir ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 117,21 kWh/m^2yıl'dir ve mevcut duruma göre 2,24 kWh/m^2yıl azalmıştır.

3.5.1.3 Saydam + Dolu Alanlarda İyileştirme (K1+K2)

Saydam ve dolu alanların kesitlerinin bir arada iyileştirilmesi amacı ile K1 senaryosunda belirlenen saydam alan ve K2 senaryosunda belirlenen dolu alan kesitinin birlikte kullanılması ile K1+K2 senaryosu oluşturulmuştur. Pencere kesiti

6 mm Low-E cam + 6 mm düz camdan ve camlar arasında argon gazı kullanılmasından oluşmaktadır. Dolu alan kesiti de 5 cm taş yünü ısı yalıtımlı, 13,5 cm gaz beton duvar elemanı ve alüminyum kaplamadan oluşmaktadır.

K1+K2 senaryosu ile oluşturulan yapı kabuğunun dolu ve saydam alan bileşenleri DesignBuilder programında tanımlanarak, enerji tüketimi hesaplaması yapılmıştır. Tablo 3.11 de K1+K2 senaryosunun yıllık toplam enerji tüketimi ve birim alana düşen enerji tüketimi verilmiştir.

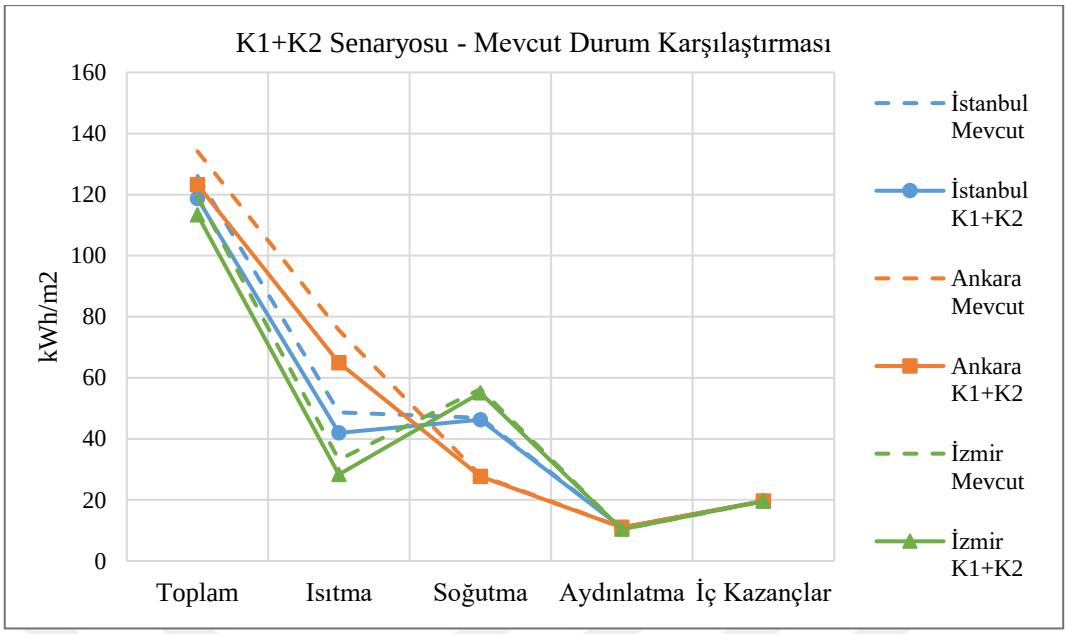
Tablo 3.11 K1+K2 senaryosu ile oluşturulan yapının enerji tüketim analizi

K1+K2	Yıllık Toplam Enerji Tüketimi (kWh/yıl)			Birim Alanda Enerji Tüketimi (kWh/m^{2}yıl)		
	İstanbul	Ankara	İzmir	İstanbul	Ankara	İzmir
Isıtma	376660,97	582494,12	254085,28	41,98	64,92	28,32
Soğutma	414682,25	248592,46	493930,67	46,22	27,71	55,05
Aydınlatma	98030,24	98607,93	93057,20	10,93	10,99	10,37
İç Kazançlar	175852,68	175852,68	175852,68	19,60	19,60	19,60
Toplam	1065226,15	1105547,20	1016925,84	118,73	123,22	113,34

K1+K2 senaryosu, tüm pilot iller için yıllık toplam enerji tüketimi açısından mevcut durumdan daha iyi sonuç vermiştir.

- İstanbul ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1065226,15 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 54984,17 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 56013,97 kWh/yıl, soğutma yükü 1692,23 kWh/yıl azalmıştır.
- Ankara ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1105547,20 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 86641,27 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 89161,84 kWh/yıl, soğutma yükü 251,48 kWh/yıl azalmıştır.
- İzmir ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1016925,84 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 44370,95 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 40722,24 kWh/yıl, soğutma yükü 6369,49 kWh/yıl azalmıştır.

Şekil 3.22'de K1+K2 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması verilmiştir.



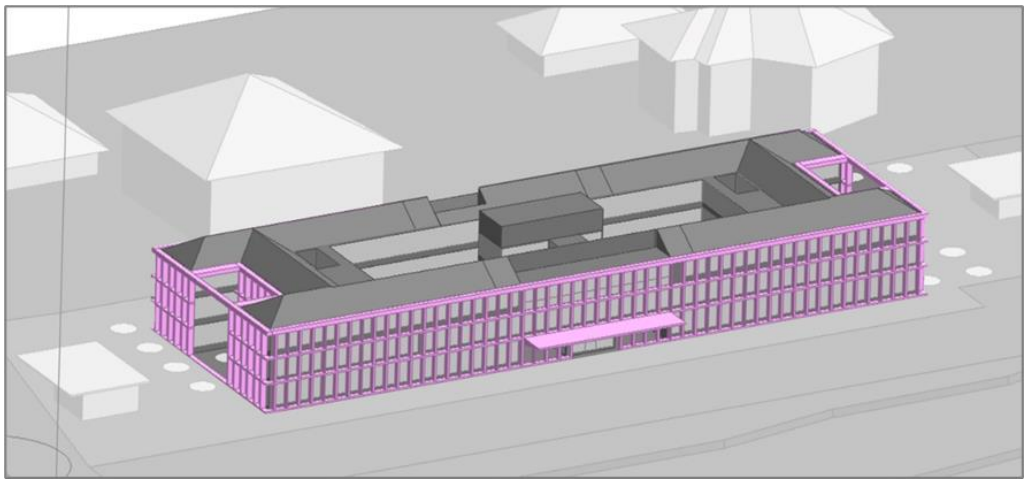
Şekil 3.22 K1+K2 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması

- İstanbul ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 118,73 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 7,35 kWh/m^{2}yıl azalmıştır.
- Ankara ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 123,22 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 10,96 kWh/m^2 yıl azalmıştır.
- İzmir ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 113,34 kWh/m^2 yıl'dır ve mevcut duruma göre 6,11 kWh/m^{2}yıl azalmıştır.

3.5.1.4 Saydamlık Oranının Artırılması (K3)

K3 senaryosu, pencerelerin boyutlarının farklı tasarlanması ile saydamlık oranının artırılması amacıyla oluşturulmuştur. Bu senaryoda yapı kabuğu konumu ve kesitleri, mevcut yapıdaki ile aynıdır. Dolu alanlarda 21 cm kalınlığında, 3 cm taş yünü ısı yalıtımlı prekast beton duvar, saydam alanlarda da 12 mm hava boşluğu ve 6 mm'lik düz camlardan oluşan çift cam kullanılmıştır.

Oluşturulan senaryo ile yapı kabuğunda cephedeki saydam alanlar iç avludaki sisteme göre düzenlenmiştir. Pencereler, iç avluya bakan pencerelerde olduğu gibi 251 cm yüksekliğinde ve cephe boyunca devam etmektedir. Şekil 3.23'te K3 senaryosu ile oluşturulan yapının DesignBuilder'da modellenmesi verilmiştir.



Şekil 3.23 K3 senaryosu ile oluşturulan yapının modellenmesi

Oluşturulan senaryoda yapı kabuğunun saydamlık oranı mümkün olabilecek en fazla şekilde artırılmış olup döşeme ve çatı kısımları hariç tamamen cam cepheden oluşan bir yapı kabuğu tasarlanmıştır. Tablo 3.12'de S3 senaryosunun yönlere göre yapı kabuğu saydamlık oranları verilmiştir.

Tablo 3.12 K3 senaryosu ile oluşturulan yapının saydamlık oranları

Yön	Kuzey Cephesi	Güney Cephesi	Doğu Cephesi	Batı Cephesi
Saydamlık Oranı (%)	68,55	68,55	70,76	68,97

Yapı kabuğunun toplam saydamlık oranı %68,97'ye çıkarılmıştır. Tablo 3.13'te K3 senaryosunun yıllık toplam enerji tüketimi ve birim alana düşen enerji tüketimi verilmiştir.

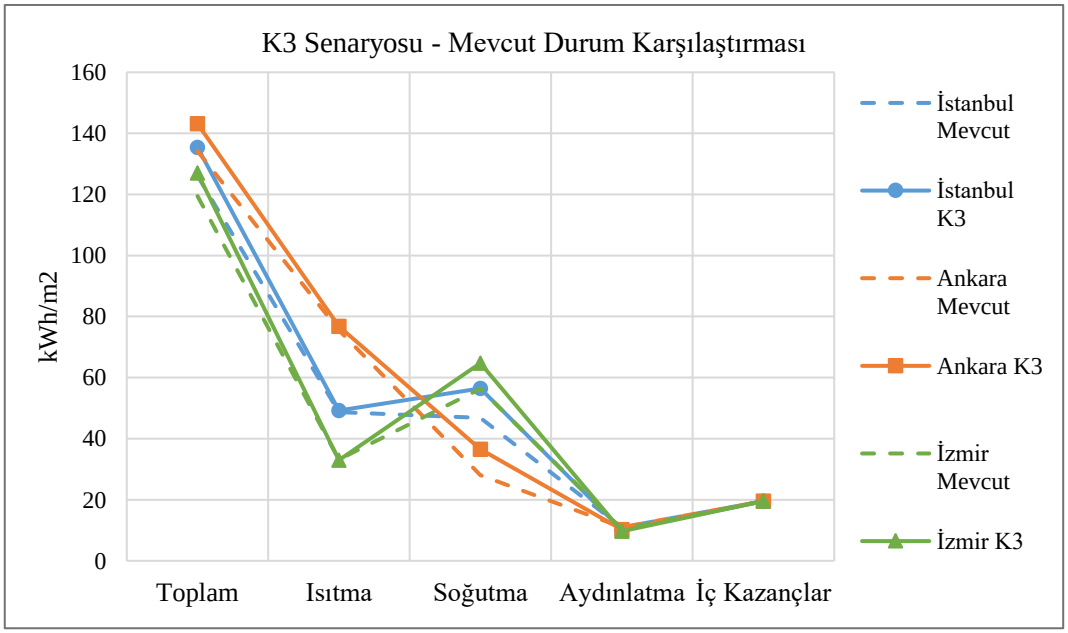
Tablo 3.13 K3 senaryosu ile oluşturulan yapının enerji tüketim analizi

K3	**Yıllık Toplam Enerji Tüketimi (kWh/yıl)**			**Birim Alanda Enerji Tüketimi (kWh/m^{2}yıl)**		
	İstanbul	**Ankara**	**İzmir**	**İstanbul**	**Ankara**	**İzmir**
Isıtma	437593,74	682194,62	293265,90	49,25	76,78	33,01
Soğutma	501949,69	324946,40	575155,31	56,49	36,57	64,73
Aydınlatma	89665,68	90864,47	85983,31	10,09	10,23	9,68
İç Kazançlar	173802,86	173802,86	173802,86	19,56	19,56	19,56
Toplam	1203011,98	1271808,35	1128207,39	135,40	143,14	126,98

K3 senaryosu, tüm pilot iller için yıllık toplam enerji tüketimi açısından mevcut durumdan daha kötü sonuç vermiştir.

- İstanbul ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1203011,98 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 82801,66 kWh/yıl artmıştır. Isıtma yükü 4918,8 kWh/yıl, soğutma yükü 85575,21 kWh/yıl artmıştır. Saydamlık oranları değiştirildiği için aydınlatma yüklerinde de dikkate alınması gereken değişim görülmektedir. Aydınlatma yükü 7692,36 kWh/yıl azalmıştır.
- Ankara ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1271808,35 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 79619,88 kWh/yıl artmıştır. Isıtma yükü 10538,66 kWh/yıl, soğutma yükü 76102,46 kWh/yıl artmıştır. Aydınlatma yükü 7021,24 kWh/yıl azalmıştır.
- İzmir ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1128207,39 kWh olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 66910,6 kWh/yıl artmıştır. Isıtma yükü 1541,62 kWh/yıl azalmış, soğutma yükü 74855,15 kWh/yıl artmıştır. Aydınlatma yükü 6402,94 kWh/yıl azalmıştır.

Şekil 3.24'te K3 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3.24 K3 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması

- İstanbul ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 135,40 kWh/m^2yıl'dır ve mevcut duruma göre 9,32 kWh/m^2yıl artmıştır.
- Ankara ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 143,14 kWh/m^2yıl'dır ve mevcut duruma göre 8,96 kWh/m^2yıl artmıştır.
- İzmir ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 126,98 kWh/m^2yıl'dır ve mevcut duruma göre 7,53 kWh/m^2yıl artmıştır.

3.5.1.5 Saydamlık Oranının Azaltılması (K4)

K4 senaryosu, mevcut yapı tasarımında pencerelerin boyutlarının farklı tasarlanması ile saydamlık oranının azaltılması amacıyla oluşturulmuştur. Bu senaryoda yapı kabuğu konumu ve kesitleri, mevcut yapıdaki ile aynıdır. Dolu alanlarda 21 cm kalınlığında, 3 cm taş yünü ısı yalıtımlı prekast beton duvar, saydam alanlarda da 12 mm hava boşluğu ve 6 mm'lik düz camlardan oluşan çift cam kullanılmıştır.

Pencere boyutları 95x190 cm olarak belirlenmiştir. Tamamen cam cepheden oluşan iç avluya dönük pencereler, cephede olduğu gibi 95x190 cm boyutunda ve aynı düzende oluşturulmuştur. 2.kattaki pencere düzenine uygun olarak alt katlardaki pencere sayısı azaltılmıştır. Böylece mevcut proje tasarımından uzaklaşılmadan saydamlık oranının azaltılması ile oluşturulan tasarımda yapının enerji tüketimi hesaplanmıştır. Şekil 3.25'te K4 ile oluşturulan yapının DesignBuilder'da modellenmesi verilmiştir.



Şekil 3.25 K4 senaryosu ile oluşturulan yapının modellenmesi

Tablo 3.14'te K4 senaryosunun yönlere göre yapı kabuğu saydamlık oranları verilmiştir.

Tablo 3.14 K4 senaryosu ile oluşturulan yapının saydamlık oranları

Yön	Kuzey Cephesi	Güney Cephesi	Doğu Cephesi	Batı Cephesi
Saydamlık Oranı (%)	33,07	33,07	26,25	26,72

Yapı kabuğunun toplam saydamlık oranı %28,36'ya düşürülmüştür. Tablo 3.15'te S4 senaryosunun yıllık toplam enerji tüketimi ve birim alana düşen enerji tüketimi verilmiştir.

Tablo 3.15 K4 senaryosu ile oluşturulan yapının enerji tüketim analizi

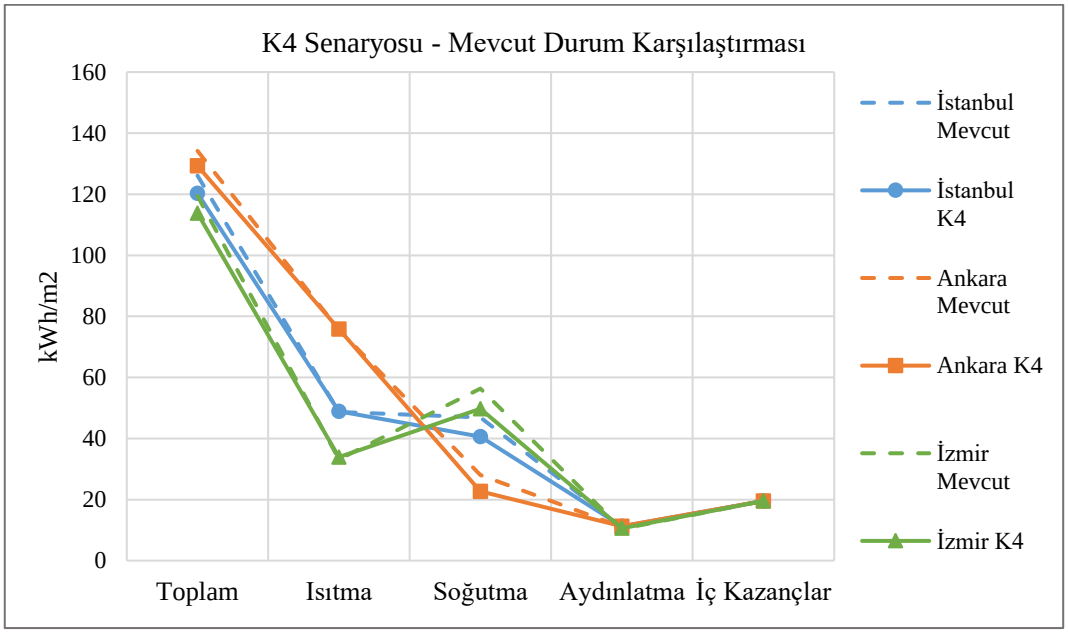
K4	**Yıllık Toplam Enerji Tüketimi (kWh/yıl)**			**Birim Alanda Enerji Tüketimi (kWh/m^2 yıl)**		
	İstanbul	**Ankara**	**İzmir**	**İstanbul**	**Ankara**	**İzmir**
Isıtma	434145,85	673586,76	301093,10	48,86	75,81	33,89
Soğutma	361047,10	201100,73	441803,87	40,63	22,63	49,72
Aydınlatma	99857,22	100097,33	94111,56	11,24	11,27	10,59
İç Kazançlar	173802,86	173802,86	173802,86	19,56	19,56	19,56
Toplam	1068853,03	1148587,69	1010811,39	120,30	129,27	113,76

K4 senaryosu, tüm pilot iller için yıllık toplam enerji tüketimi açısından mevcut durumdan daha iyi sonuç vermiştir.

- İstanbul ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1068853,03 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 51357,29 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 1470,91 kWh/yıl artmış, soğutma yükü 55327,38 kWh/yıl azalmıştır. Saydamlık oranları değiştirildiği için aydınlatma yüklerinde de dikkate alınması gereken değişim görülmektedir. Aydınlatma yükü 2499,18 kWh/yıl artmıştır.
- Ankara ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1148587,69 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 43600,78 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 1930,8 kWh/yıl artmış, soğutma yükü 47743,21 kWh/yıl azalmıştır. Aydınlatma yükü 2211,62 kWh/yıl artmıştır.

- İzmir ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1010811,39 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 50485,4 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 6285,58 kWh, artmış soğutma yükü 58496,29 kWh/yıl azalmıştır. Aydınlatma yükü 1725,31 kWh/yıl artmıştır.

Şekil 3.26'da K4 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması verilmiştir.

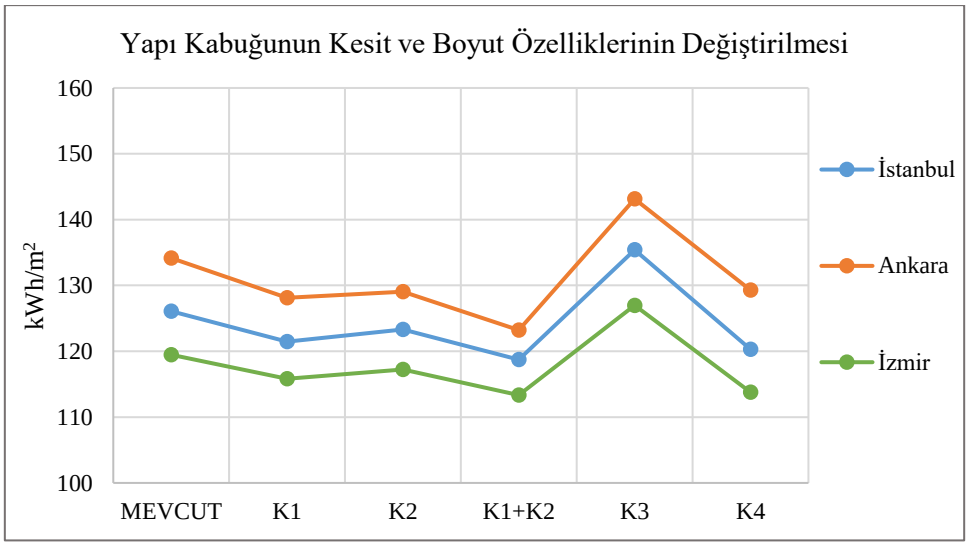


Şekil 3.26 K4 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması

- İstanbul ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 120,30 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 5,78 kWh/m^{2}yıl azalmıştır.
- Ankara ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 129,27 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 4,91 kWh/m^{2}yıl azalmıştır.
- İzmir ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 113,76 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 5,69 kWh/m^{2}yıl azalmıştır.

3.5.1.6 Senaryo Seçeneklerinin Değerlendirilmesi

Şekil 3.27'de mevcut yapı ve yapı kabuğunun kesit ve boyut özelliklerinin değiştirilmesi ile oluşturulan tüm senaryolarda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin kıyaslanması verilmiştir.



Şekil 3.27 Yapı kabuğunun kesit ve boyut özelliklerinin değiştirilmesi ile oluşturulan senaryolarda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin kıyaslanması

Oluşturulan 5 yeni senaryonun 4'ü enerji tüketimi açısından mevcut yapıdan daha iyi sonuç vermiştir. Tüm pilot iller için toplam enerji tüketiminin en az ve en fazla olduğu senaryolar aynıdır.

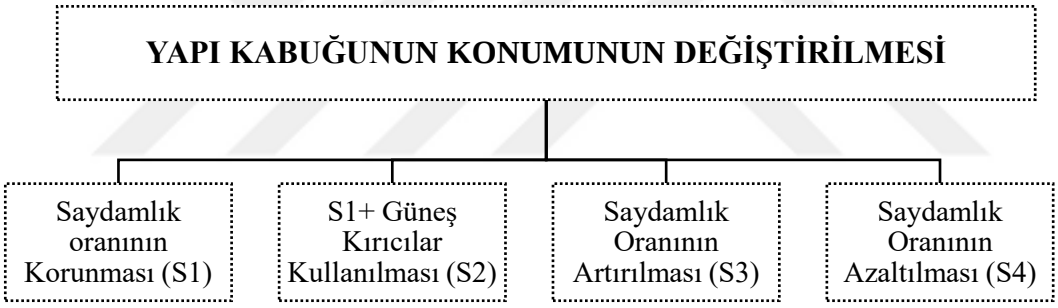
- Saydam ve dolu alanlarda birlikte iyileştirme yapılması (K1+K2), üç bölge için de enerji tüketiminin en az olduğu senaryodur. Dolayısıyla yapının mimari üslubunun korunarak oluşturulduğu senaryolar arasında saydam + dolu alan kesit özelliklerinin değiştirilmesi bu bölümde en etkili senaryo olmuştur.
- İzmir ilinde saydamlık oranının azaltıldığı K4 senaryosu da K1+K2 senaryosuna çok yakındır.
- K3 senaryosu üç bölge için de enerji tüketiminin en fazla olduğu senaryodur. Saydamlık oranının artırılması bu bölümde en olumsuz senaryo olmuştur.
- K1 ve K4 senaryoları karşılaştırıldığında Ankara'da saydam alanın iyileştirilmesi yani U değerinin küçültülmesi, saydamlık oranının azaltılmasından daha olumlu sonuç vermiştir. Diğer illerde ise saydam alanının küçültülmesi daha etkili olmuştur.
- K1 ve K2 karşılaştırıldığında saydam alanlarda iyileştirme her üç ilde de dolu alanda iyileştirmeden daha olumlu sonuç vermiştir.

3.5.2 Yapı Kabuğunun Konumunun Değiştirilmesi

İncelenen ofis yapısının tasarımında mevcut düzende yapı kabuğu etrafı prekast cephe elemanlarından oluşan bir grid ile çevrilmiş durumda olup, yapı kabuğu içe çekilmiş bir konumda bulunmaktadır.

Yapı kabuğunun konumunun değiştirilmesi yaklaşımında, kabukta içeri çekmenin olmadığı, cam yüzeylerin en dış konuma konumlandırıldığı düzen ile farklı tasarlanması düşüncesine dayanan senaryolar oluşturulmuştur. Senaryoların sınıflandırılması yapı kabuğunda saydamlık oranı değişimine göre sınıflandırılmıştır. Senaryolar;

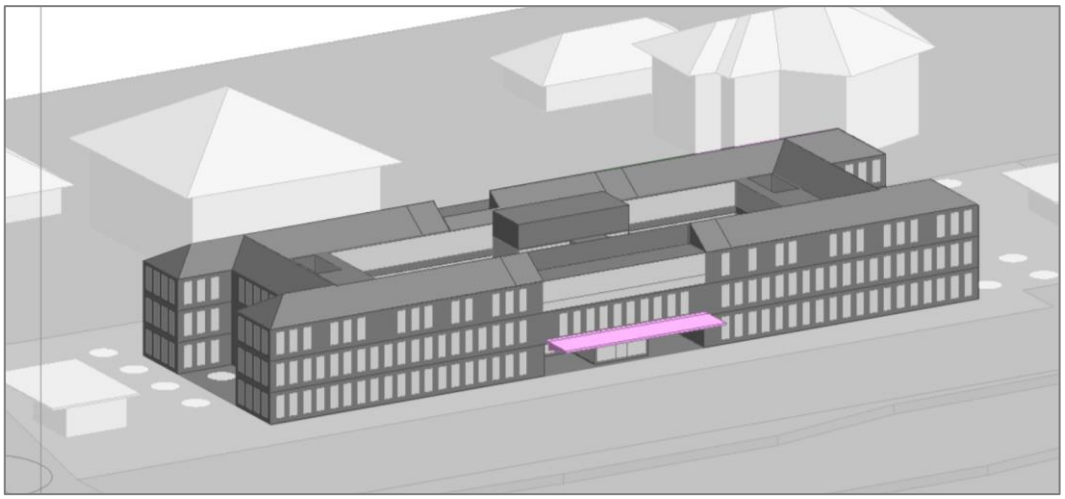
- Saydamlık oranının korunması (S1)
- S1+ güneş kırıcılar kullanılması (S2)
- Saydamlık oranının artırılması (S3)
- Saydamlık oranının azaltılması (S4) olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28 Yapı kabuğunun konumunun değiştirilmesi ile oluşturulan senaryolar

3.5.2.1 Saydamlık Oranının Korunması (S1)

Yapı kabuğunun konumunun değiştirilmesiyle oluşturulan senaryoların birincisi, mevcut yapının yapı kabuğunu içe çekme özelliği olmadığı ve saydamlık oranının korunduğu senaryodur. Şekil 3.29'da S1 senaryosu ile oluşturulan yapının DesignBuilder'da modellenmesi verilmiştir.



Şekil 3.29 S1 senaryosu ile oluşturulan yapının modellenmesi

Bu senaryo, mevcut yapıdaki prekast cephe elemanları kullanılarak yapı kabuğunun içeri çekilmiş konumuyla, cam yüzeyin en dış konumda konumlandırıldığı durumun yapının enerji performansına etkisini gösterecek senaryodur. Dolayısıyla cephelerdeki saydamlık oranları ve yapı kabuğu kesitleri, mevcut yapıdaki ile aynıdır. Dolu alanlarda 21 cm kalınlığında, 3 cm taş yünü ısı yalıtımlı prekast beton duvar, saydam alanlarda da 12 mm hava boşluğu ve 6 mm'lik düz camlardan oluşan çift cam kullanılmıştır. Tablo 3.16'da S1 senaryosunun yıllık toplam enerji tüketimi ve birim alana düşen enerji tüketimi verilmiştir.

Tablo 3.16 S1 senaryosu ile oluşturulan yapının enerji tüketim analizi

S1	**Yıllık Toplam Enerji Tüketimi (kWh/yıl)**			**Birim Alanda Enerji Tüketimi (kWh/m^{2}yıl)**		
	İstanbul	**Ankara**	**İzmir**	**İstanbul**	**Ankara**	**İzmir**
Isıtma	419051,53	651459,28	278607,60	47,16	73,32	31,36
Soğutma	451871,71	279723,73	542404,67	50,86	31,48	61,05
Aydınlatma	93949,48	94655,83	89239,68	10,57	10,65	10,04
İç Kazançlar	173802,86	173802,86	173802,86	19,56	19,56	19,56
Toplam	1138675,58	1199641,71	1084054,81	128,15	135,02	122,01

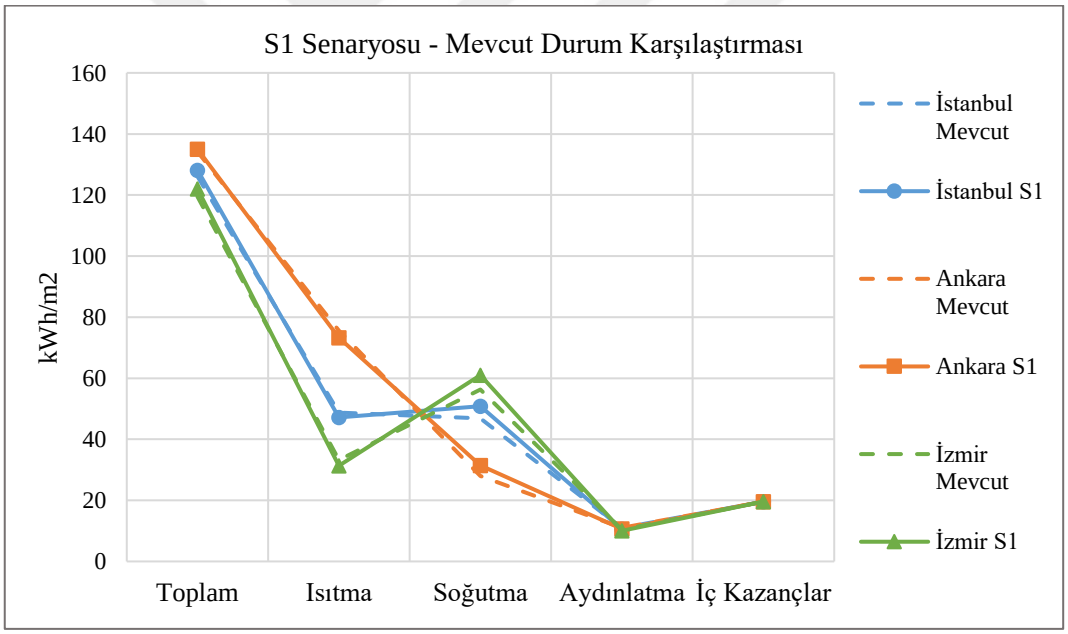
S1 senaryosu, tüm pilot iller için yıllık toplam enerji tüketimi açısından mevcut durumdan daha kötü sonuç vermiştir.

- İstanbul ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1138675,58 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 18465,3 kWh/yıl artmıştır. Isıtma yükü

13623,41 kWh/yıl azalmış, soğutma yükü 35497,2 kWh/yıl artmıştır. Yapı kabuğunun konumu değiştiği için aydınlatma yükünde de değişiklik yaşanmıştır. Aydınlatma yükü 3408,56 kWh/yıl azalmıştır.

- Ankara ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1199641,71 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 7453,24 kWh/yıl artmıştır. Isıtma yükü 20196,68 kWh/yıl azalmış, soğutma yükü 30879,8 kWh/yıl artmıştır. Aydınlatma yükü 3229,88 kWh/yıl azalmıştır.
- İzmir ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1084054,81 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 22758,02 kWh/yıl artmıştır. Isıtma yükü 16199,92 kWh/yıl azalmış, soğutma yükü 42104,5 kWh/yıl artmıştır. Aydınlatma yükü 3146,57 kWh/yıl azalmıştır.

Şekil 3.30'da S1 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3.30 S1 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması

- İstanbul ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 128,15 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 2,07 kWh/m^{2}yıl artmıştır.
- Ankara ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 135,02 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 0,84 kWh/m^{2}yıl artmıştır.
- İzmir ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 122,01 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 2,56 kWh/m^{2}yıl artmıştır.

Bu senaryo, mevcut yapıdaki mimari üslubun enerji tüketimine etkisini göstermektedir. Üç bölge için de mevcut yapıda içeri çekilmiş olan yapı kabuğu, bu senaryo ile kıyaslandığında daha az enerji tüketmektedir, ancak Ankara ilinde toplam enerji tüketimi açısından çok az bir değişim görülmektedir. Dolayısıyla, mevcut yapının mimari üslubunun ve içeri çekilmiş yapı kabuğunun, özellikle ılıman nemli ve sıcak nemli iklim bölgeleri için enerji etkin tasarım stratejileri açısından olumlu bir yaklaşım olduğu görülmüştür.

3.5.2.2 S1 + Güneş Kırıcılar (S2)

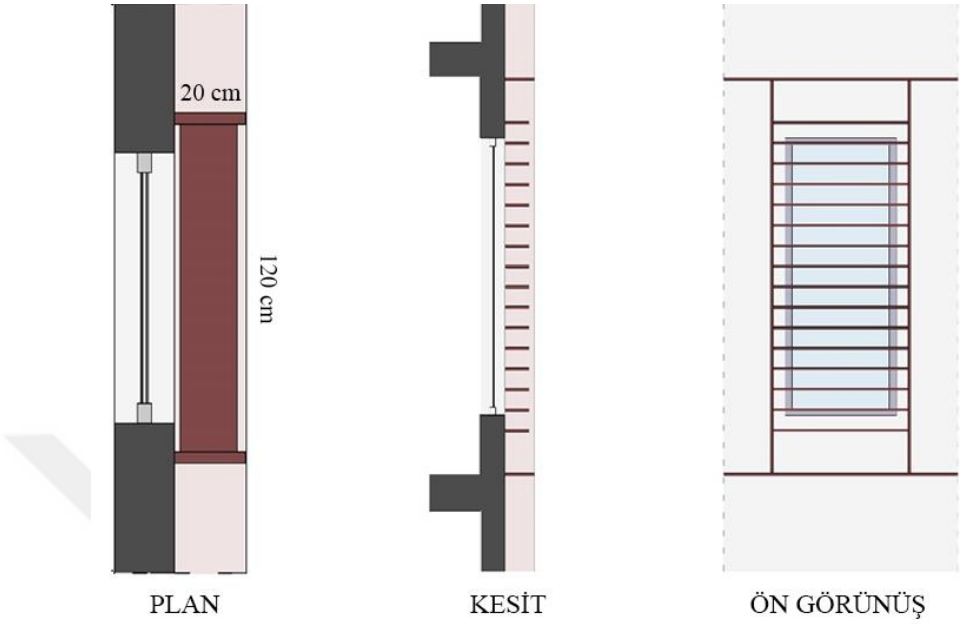
Bu senaryo, S1'e ek olarak cephelerde güneş kırıcı kullanımının etkisini gösterecek bir senaryo olarak düşünülmüştür. Bu senaryoda cephelerdeki saydamlık oranları ve yapı kabuğu kesitleri, mevcut yapıdaki ile aynıdır. Dolu alanlarda 21 cm kalınlığında, 3 cm taş yünü ısı yalıtımlı prekast beton duvar, saydam alanlarda da 12 mm hava boşluğu ve 6 mm'lik düz camlardan oluşan çift cam kullanılmıştır

Güneş kırıcıların kullanıldığı senaryo için 6 alternatif belirlenmiştir. Her bir alternatif için enerji tüketimi hesabı yapılmış ve bu alternatifler arasından en uygun olanın belirlenip S2 senaryosu için değerlendirilmesi düşünülmüştür.

- Güney cephede yatay güneş kırıcıların kullanılması ($S2_1$)
- Güney cephede ve iç avlunun güneye bakan pencerelerinde yatay güneş kırıcıların kullanılması ($S2_2$)
- Doğu ve batı cephelerinde düşey güneş kırıcıların kullanılması ($S2_3$)
- Doğu, batı cephelerinde ve iç avlunun doğu, batıya bakan pencerelerinde düşey güneş kırıcıların kullanılması ($S2_4$)
- Güney cephede yatay, doğu ve batı cephelerinde düşey güneş kırıcı kullanılması ($S2_5$)
- Güney cephede ve iç avlunun güneye bakan pencerelerinde yatay güneş kırıcı doğu, batı cephelerinde ve iç avlunun doğu, batıya bakan pencerelerinde düşey güneş kırıcı kullanılması ($S2_6$)

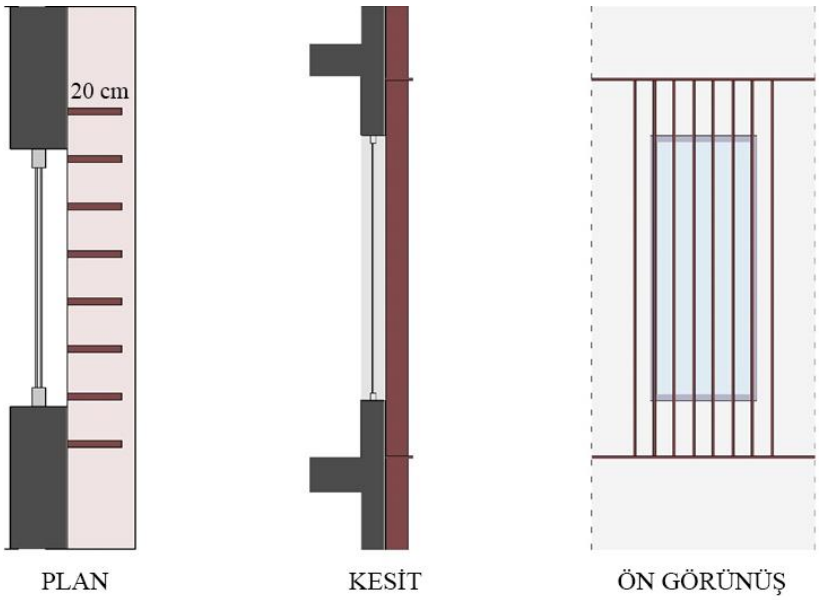
Tüm seçeneklerde güneş kırıcı panelleri pencerelerden 10 cm uzaklığa konumlandırılmıştır. 20 cm derinliğindeki panellerin birbirleri arası mesafe 15 cm'dir. Sabit güneş kırıcılar kullanılmıştır.

Yatay konumlandırılan güneş kırıcı paneller için pencere başına 16 adet yatay panel kullanılmıştır. $S2_1$, $S2_2$, $S2_5$, $S2_6$ seçeneklerinde güney yönünde konumlandırılan yatay güneş kırıcı tasarımına ait çizimler Şekil 3.31'de yer almaktadır.



Şekil 3.31 Yatay güneş kırıcı tasarımına ait plan, kesit ve ön görünüş

Düşey konumlandırılan güneş kırıcı paneller pencere başına 8 adet düşey panel kullanılmıştır. $S2_3$, $S2_4$, $S2_5$, $S2_6$ seçeneklerinde doğu ve batı yönlerinde konumlandırılan yatay güneş kırıcı tasarımına ait çizimler Şekil 3.32'de yer almaktadır.



Şekil 3.32 Düşey güneş kırıcı tasarımına ait plan, kesit ve ön görünüş

S2 senaryosu için oluşturulan seçenekler ile DesignBuilder programında enerji tüketimi hesaplaması yapılmıştır. Tablo 3.17'de S2 senaryosu için oluşturulan seçeneklerin birim alana düşen enerji tüketimi verilmiştir. En verimli seçeneklerin belirlenip S2 senaryosu için seçilmesi düşünülmüştür.

Tablo 3.17 S2 senaryosu için oluşturulan seçeneklerin birim alana düşen enerji tüketiminin sınıflandırılması

S2		**Birim Alanda Enerji Tüketimi (kWh/m²yıl)**					
		$S2_1$	**$S2_2$**	$S2_3$	**$S2_4$**	$S2_5$	$S2_6$
İstanbul	Isıtma	47,75	48,74	48,21	49,40	48,77	50,63
	Soğutma	50,07	47,67	47,64	40,82	46,92	39,27
	Aydınlatma	10,64	10,66	11,24	12,15	11,34	13,25
	İç Kazançlar	19,56	19,56	19,56	19,56	19,56	19,56
	Toplam	**128,02**	**126,63**	**126,64**	**121,94**	**126,59**	**122,70**
Ankara	Isıtma	74,16	75,53	75,06	77,50	75,86	75,85
	Soğutma	30,84	28,62	28,63	22,61	28,08	28,07
	Aydınlatma	10,72	10,74	11,28	12,11	11,38	11,38
	İç Kazançlar	19,56	19,56	19,56	19,56	19,56	19,56
	Toplam	**135,29**	**134,45**	**134,53**	**131,78**	**134,89**	**134,86**
İzmir	Isıtma	32,13	33,25	32,80	34,16	33,59	33,58
	Soğutma	60,12	57,09	57,19	50,23	56,33	56,33
	Aydınlatma	10,11	10,13	10,68	11,48	10,77	10,77
	İç Kazançlar	19,56	19,56	19,56	19,56	19,56	19,56
	Toplam	**121,92**	**120,03**	**120,23**	**115,44**	**120,25**	**120,24**

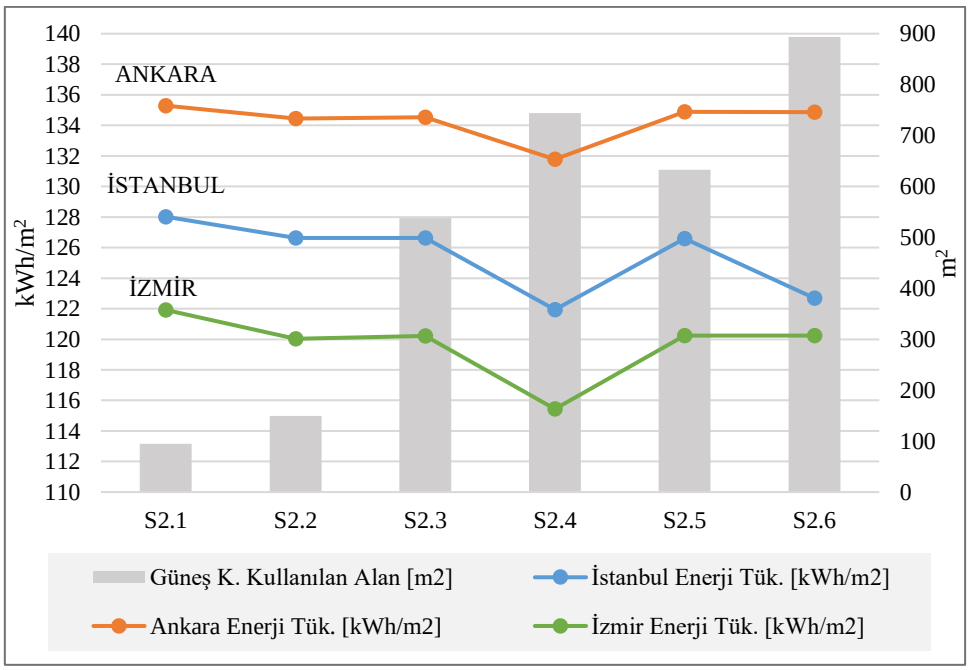
Değerlendirilen üç şehir için de birim alandaki enerji tüketiminin en az olduğu seçenek doğu, batı cephelerinde ve iç avlunun doğu, batıya bakan pencerelerinde düşey güneş kırıcıların kullanılması ($S2_4$) olmuştur. Tüm şehirler için de enerji tüketiminin en yüksek olduğu seçenek güney cephede yatay güneş kırıcıların kullanılması ($S2_1$) olmuştur. Bunun sebebi güney cepheleri daha çok güneş kırıcı kullanımına ihtiyaç duymalarına rağmen, değerlendiren yapının güney yönüne bakan cephesinin doğu ve batı cephelerine kıyasla oldukça küçük bir alana sahip

olmasından dolayıdır. Bu nedenle güney yönünde kullanılan güneş kırıcıların yapının enerji tüketimini düşürülmesinde oldukça küçük bir etkisi olmuştur.

Doğu ve batı yönlerine bakan cephelerde de yüzey alanının ve pencere alanının daha fazla olmasından dolayı güneş kırıcıların etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür.

Güney yönünde yatay, doğu ve batı yönlerinde ise düşey güneş kırıcıların kullanıldığı seçeneklerin ($S2_5$ ve $S2_6$) beklendiği gibi en verimli seçenekler olmamasının sebebi de soğutma yükünün azalmasına yardımcı olmalarına rağmen, ısıtma ve aydınlatma yükünün artmasına sebep olmuştur. Böylece toplam sonuçta $S2_4$ kadar etkili olmamışlardır.

Enerji tüketiminin tek kriter olarak alınmadığı, ayrıca maliyetin düşünülmesi sebebi ile kullanılan güneş kırıcı sayısına bakılarak hangi seçeneğin daha verimli olduğunun belirlenmesi düşünülmüştür. Bu nedenle bir kıyaslama yaparak S2 senaryosunun belirlenmesi için oluşturulan seçeneklerde, kaç m^2 güneş kırıcı kullanıldığına göre bir değerlendirme yapılmıştır. Şekil 3.33'te S2 senaryosu ile oluşturulan seçeneklerin kullanılan güneş kırıcı m^2'leri ve birim alandaki enerji tüketimlerinin kıyaslaması verilmiştir.



Şekil 3.33 S2 senaryosu ile oluşturulan seçeneklerde güneş kırıcı kullanılan pencere alanları ve birim alandaki enerji tüketimleri

Değerlendirilen üç şehir için de $S2_1$ de en az sayıda güneş kırıcı kullanılmasına rağmen enerji tüketiminin neredeyse hiç azalmadığı, $S2_2$, $S2_3$ ve $S2_5$ arasında daha az sayıda güneş kırıcı ile aynı performansı gösteren $S2_2$'nin daha verimli olduğu, $S2_4$ ve $S2_6$ arasında İstanbul için daha az sayıda güneş kırıcı ile aynı performansı gösteren, Ankara ve İzmir'de de enerji tüketiminin daha az olduğu $S2_4$ daha verimlidir.

Bu nedenle oluşturulan seçenekler arasından üç iklim bölgesi için de referans yapı açısından en verimli olanların $S2_2$ ve $S2_4$ olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu iki seçenek arasında bir değerlendirme yapabilmek için iki seçeneğinde senaryolara dahil edilip bir sonraki aşamada maliyet üzerinden incelenmesi gerekmektedir.

S2 senaryosu için $S2_2$ ve $S2_4$ seçenekleri olarak iki ayrı senaryo belirlenmiştir.

- **$S2_2$ Senaryosu**

Şekil 3.34'te $S2_2$ ile oluşturulan yapının DesignBuilder modellenmesi verilmiştir.



Şekil 3.34 $S2_2$ senaryosu ile oluşturulan yapının modellenmesi

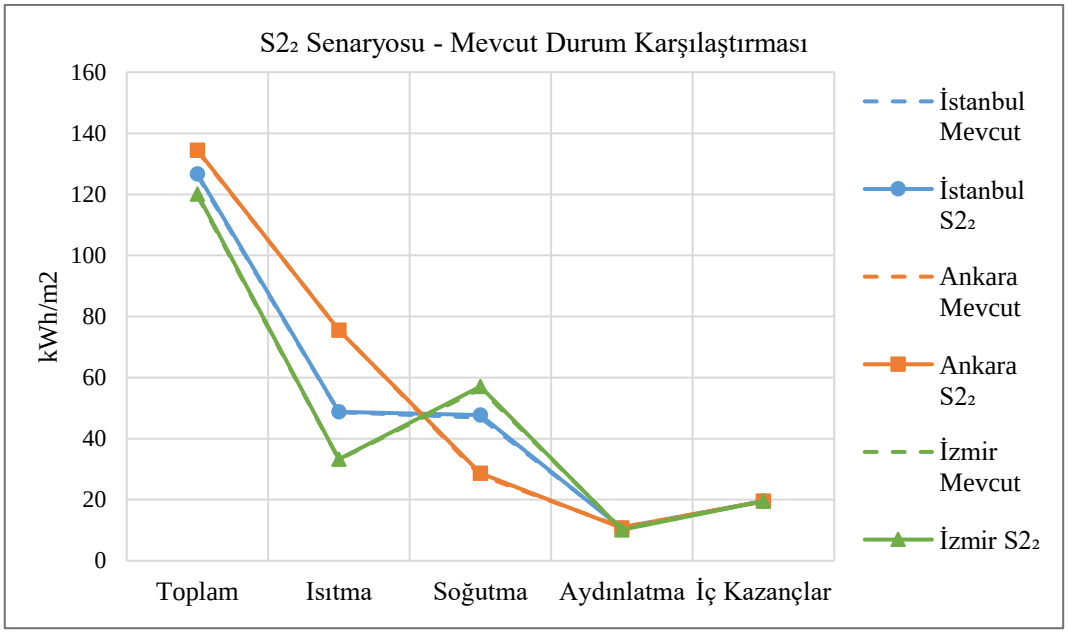
$S2_2$ senaryosu tüm pilot iller için yıllık toplam enerji tüketimi açısından mevcut durumdan daha kötü sonuç vermiştir.

- İstanbul ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1125135,9 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 4925,58 kWh/yıl artmıştır. Isıtma yükü 403,25 kWh/yıl, soğutma yükü 7146,93 kWh/yıl artmıştır. Aydınlatma yükü 2624,59 kWh/yıl azalmıştır.
- Ankara ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1194654,7 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 2466,26 kWh/yıl artmıştır. Isıtma yükü

572,64 kWh/yıl azalmış, soğutma yükü 5484,33 kWh/yıl artmıştır. Aydınlatma yükü 2445,43 kWh/yıl azalmıştır.

- İzmir ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1066460,8 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 5163,97 kWh/yıl artmıştır. Isıtma yükü 581,56 kWh/yıl, soğutma yükü 6983,53 kWh/yıl artmıştır. Aydınlatma yükü 2401,12 kWh/yıl azalmıştır.

Şekil 3.35'te $S2_2$ senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması verilmiştir.

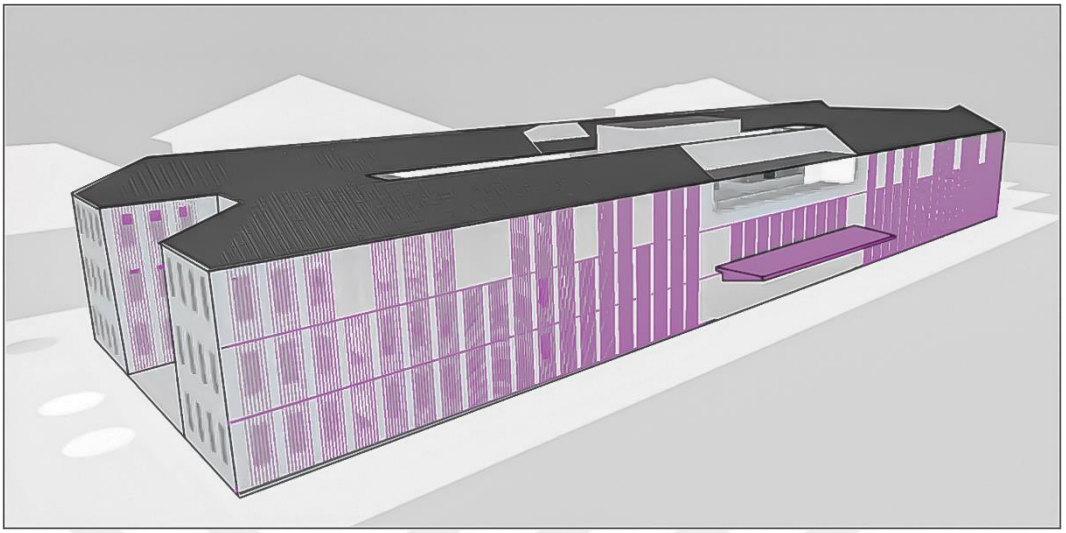


Şekil 3.35 $S2_2$ senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması

- İstanbul ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 126,63 kWh/m^2yıl'dır ve mevcut duruma göre 0,55 kWh/m^2yıl artmıştır.
- Ankara ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 134,45 kWh/m^2yıl'dır ve mevcut duruma göre 0,27 kWh/m^2yıl artmıştır.
- İzmir ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 120,03 kWh/m^2yıl'dır ve mevcut duruma göre 0,58 kWh/m^2yıl artmıştır.

- **$S2_4$ Senaryosu**

Şekil 3.36'da $S2_4$ ile oluşturulan yapının DesignBuilder modellemesi verilmiştir.

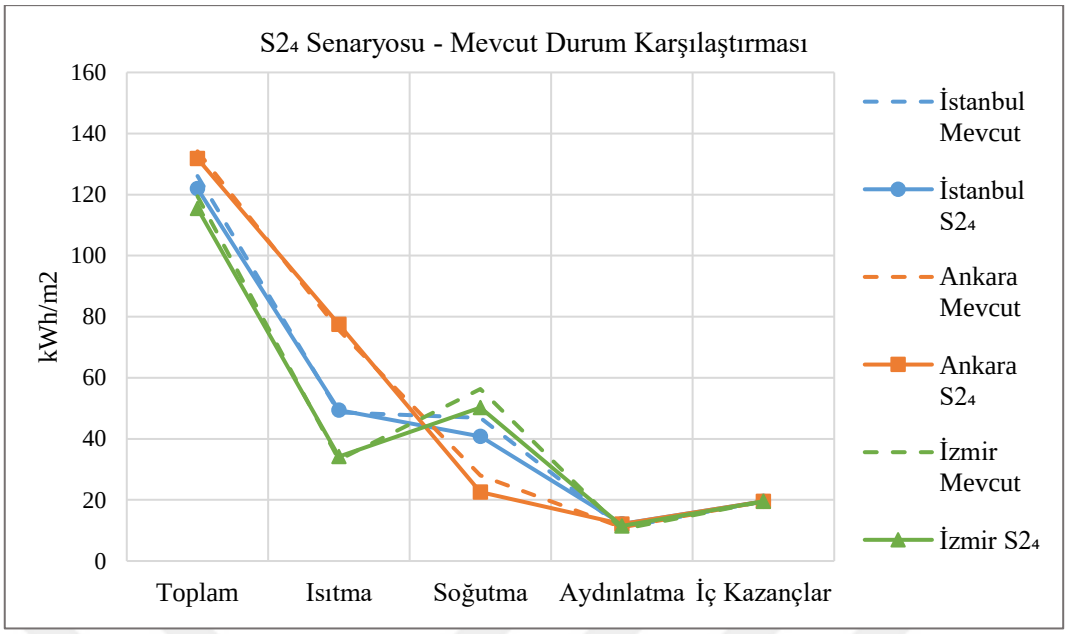


Şekil 3.36 $S2_4$ senaryosu ile oluşturulan yapının modellenmesi

$S2_4$ senaryosu, tüm pilot iller için yıllık toplam enerji tüketimi açısından mevcut durumdan daha iyi sonuç vermiştir.

- İstanbul ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1083430,3 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 36780,02 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 6268,97 kWh/yıl artmış, soğutma yükü 53644,3 kWh/yıl azalmıştır. Aydınlatma yükü 10595,3 kWh/yıl artmıştır.
- Ankara ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1170867,9 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 21320,56 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 16925,9 kWh/yıl artmış, soğutma yükü 47964,3 kWh/yıl azalmıştır. Aydınlatma yükü 9717,88 kWh/yıl artmıştır.
- İzmir ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1025703,9 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 35592,91 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 8744,55 kWh/yıl artmış, soğutma yükü 53982,16 kWh/yıl azalmıştır. Aydınlatma yükü 9644,7 kWh/yıl artmıştır.

Şekil 3.37'de $S2_4$ senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması verilmiştir.



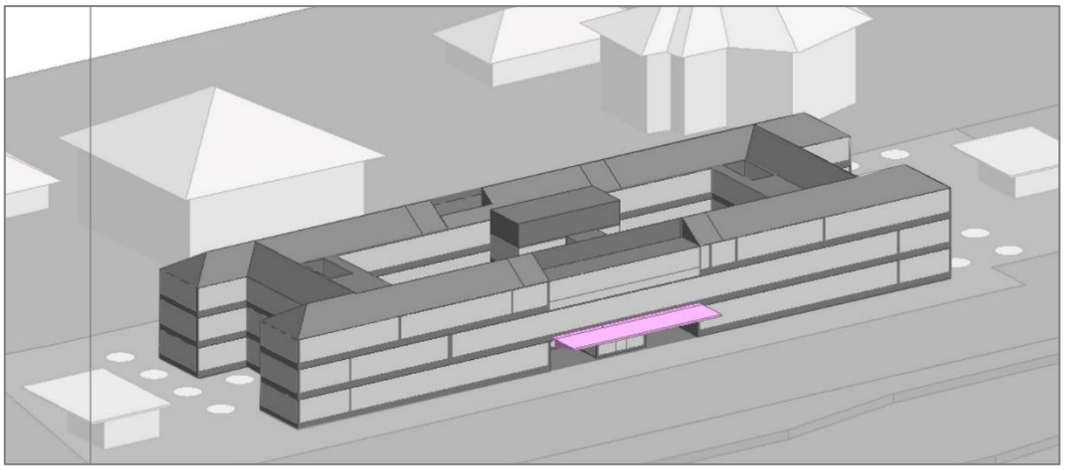
Şekil 3.371 S2₄ senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması

- İstanbul ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 121,94 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 4,14 kWh/m^{2}yıl azalmıştır.
- Ankara ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 131,78 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 2,4 kWh/m^{2}yıl azalmıştır.
- İzmir ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 115,44 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 4,01 kWh/m^{2}yıl azalmıştır.

3.5.2.3 Saydamlık Oranının Artırılması (S3)

S3 senaryosu, prekast cephe elemanının yapı tasarımında olmadığı durumla birlikte pencerelerin konum ve boyutlarının farklı tasarlanması ile saydamlık oranının artırılması amacıyla oluşturulmuştur. Bu senaryoda yapı kabuğu kesitleri, mevcut yapıdaki ile aynıdır. Dolu alanlarda 21 cm kalınlığında, 3 cm taş yünü ısı yalıtımlı prekast beton duvar, saydam alanlarda da 12 mm hava boşluğu ve 6 mm'lik düz camlardan oluşan çift cam kullanılmıştır.

Oluşturulan senaryo ile yapı kabuğunda cephedeki saydam alanlar iç avludaki sisteme göre düzenlenmiştir. Pencereler, iç avluya bakan pencerelerde olduğu gibi 251 cm yüksekliğinde ve cephe boyunca devam etmektedir. Şekil 3.37'de S3 senaryosu ile oluşturulan yapının DesignBuilder modellemesi verilmiştir.



Şekil 3.38 S3 senaryosu ile oluşturulan yapının modellenmesi

Oluşturulan senaryoda yapı kabuğunun saydamlık oranı mümkün olabilecek en fazla şekilde artırılmış olup döşeme ve çatı kısımları hariç tamamen cam cepheden oluşan bir yapı kabuğu tasarlanmıştır. Tablo 3.18'de S3 senaryosunun yönlere göre yapı kabuğu saydamlık oranları verilmiştir.

Tablo 3.18 S3 senaryosu ile oluşturulan yapının saydamlık oranları

Yön	Kuzey Cephesi	Güney Cephesi	Doğu Cephesi	Batı Cephesi
Saydamlık Oranı (%)	68,55	68,55	70,76	68,97

Yapı kabuğunun toplam saydamlık oranı %68,97'ye çıkarılmıştır. Tablo 3.19'de S3 senaryosunun yıllık toplam enerji tüketimi ve birim alana düşen enerji tüketimi verilmiştir.

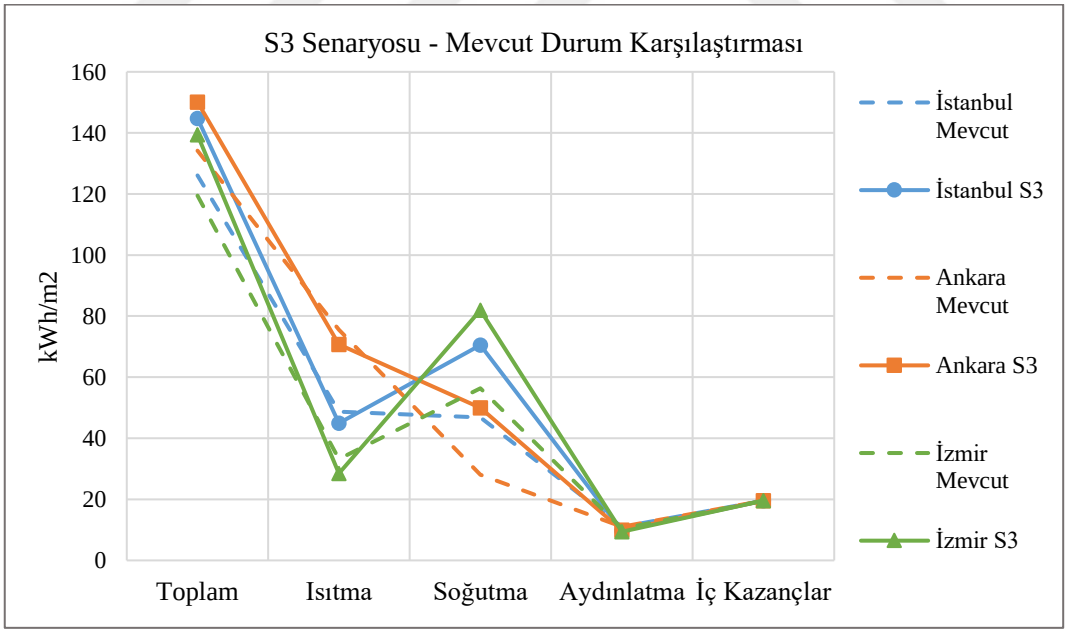
Tablo 3.19 S3 senaryosu ile oluşturulan yapının enerji tüketim analizi

S3	**Yıllık Toplam Enerji Tüketimi (kWh/yıl)**			**Birim Alanda Enerji Tüketimi (kWh/m^2 yıl)**		
	İstanbul	**Ankara**	**İzmir**	**İstanbul**	**Ankara**	**İzmir**
Isıtma	399305,84	628228,54	252970,34	44,94	70,71	28,47
Soğutma	626573,11	443577,17	728032,95	70,52	49,92	81,94
Aydınlatma	86486,87	87960,52	83390,40	9,73	9,90	9,39
İç Kazançlar	173802,86	173802,86	173802,86	19,56	19,56	19,56
Toplam	1286168,69	1333569,09	1238196,56	144,75	150,09	139,36

S3 senaryosu, tüm pilot iller için yıllık toplam enerji tüketimi açısından mevcut durumdan daha kötü sonuç vermiştir.

- İstanbul ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1286168,69 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 165958,37 kWh/yıl artmıştır. Isıtma yükü 33369,1 kWh/yıl azalmış, soğutma yükü 210198,63 kWh/yıl artmıştır. Aydınlatma yükü 10871,17 kWh/yıl azalmıştır.
- Ankara ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1333569,09 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 141380,62 kWh/yıl artmıştır. Isıtma yükü 43427,42 kWh/yıl azalmış, soğutma yükü 194733,23 kWh/yıl artmıştır. Aydınlatma yükü 9925,19 kWh/yıl azalmıştır.
- İzmir ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1238196,56 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 176899,77 kWh/yıl artmıştır. Isıtma yükü 41837,18 kWh/yıl azalmış, soğutma yükü 227732,79 kWh/yıl artmıştır. Aydınlatma yükü 8995,85 kWh/yıl azalmıştır.

Şekil 3.39'da S3 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3.39 S3 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması

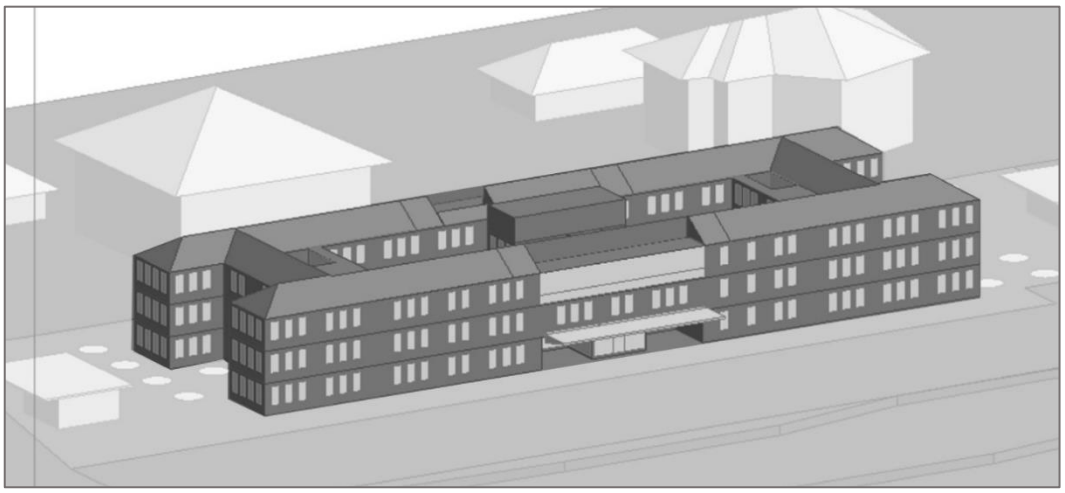
- İstanbul ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 144,75 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 18,67 kWh/m^{2}yıl artmıştır.

- Ankara ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 150,09 kWh/m^2yıl'dır ve mevcut duruma göre 15,91 kWh/m^2yıl artmıştır.
- İzmir ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 139,36 kWh/m^2yıl'dır ve mevcut duruma göre 19,91 kWh/m^2yıl artmıştır.

3.5.2.4 Saydamlık Oranının Azaltılması (S4)

S4 senaryosu, prekast cephe elemanının yapı tasarımında olmadığı durumla birlikte pencerelerin boyutlarının farklı tasarlanması ile saydamlık oranının azaltılması amacıyla oluşturulmuştur. Bu senaryoda yapı kabuğu kesitleri, mevcut yapıdaki ile aynıdır. Dolu alanlarda 21 cm kalınlığında, 3 cm taş yünü ısı yalıtımlı prekast beton duvar, saydam alanlarda da 12 mm hava boşluğu ve 6 mm'lik düz camlardan oluşan çift cam kullanılmıştır.

Pencere boyutları 95x190 cm olarak belirlenmiştir. Tamamen cam cepheden oluşan iç avluya dönük pencereler, cephede olduğu gibi 95x190 cm boyutunda ve aynı düzende oluşturulmuştur. 2.kattaki pencere düzenine uygun olarak alt katlardaki pencere sayısı azaltılmıştır. Böylece mevcut projeden uzaklaşılmadan saydamlık oranının azaltılması ile oluşturulan tasarımda yapının enerji tüketimi hesaplanmıştır. Şekil 3.40'ta S4 ile oluşturulan yapının DesignBuilder modellemesi verilmiştir.



Şekil 3.40 S4 senaryosu ile oluşturulan yapının modellenmesi

Tablo 3.20'de S4 senaryosunun yönlere göre yapı kabuğu saydamlık oranları verilmiştir.

Tablo 3.20 S4 senaryosu ile oluşturulan yapının saydamlık oranları

Yön	Kuzey Cephesi	Güney Cephesi	Doğu Cephesi	Batı Cephesi
Saydamlık Oranı (%)	33,07	33,07	26,25	26,72

Yapı kabuğunun toplam saydamlık oranı %28,36'ya düşürülmüştür. Tablo 3.21'de S4 senaryosunun yıllık toplam enerji tüketimi ve birim alana düşen enerji tüketimi verilmiştir.

Tablo 3.21 S4 toplam ve birim alana düşen enerji tüketiminin sınıflandırılması

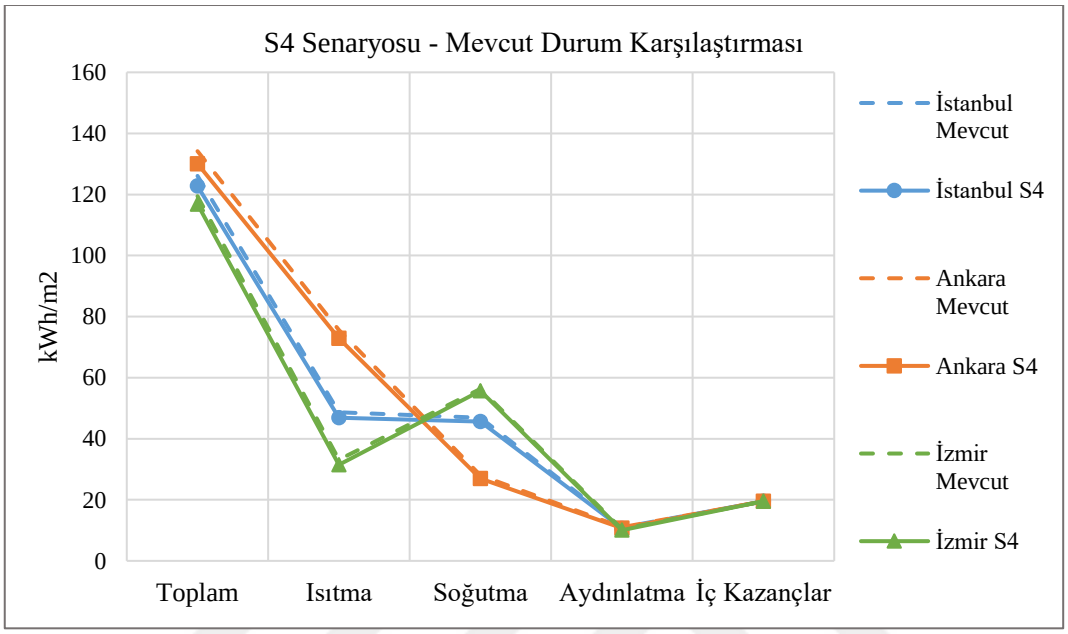
S4	**Yıllık Toplam Enerji Tüketimi (kWh/yıl)**			**Birim Alanda Enerji Tüketimi (kWh/m^2)**		
	İstanbul	**Ankara**	**İzmir**	**İstanbul**	**Ankara**	**İzmir**
Isıtma	416601,43	647183,50	280054,14	46,89	72,84	31,52
Soğutma	405445,73	239390,42	494577,72	45,63	26,94	55,66
Aydınlatma	94689,22	95311,72	89331,18	10,66	10,73	10,05
İç Kazançlar	173802,86	173802,86	173802,86	19,56	19,56	19,56
Toplam	1090539,24	1155688,51	1037765,91	122,74	130,07	116,80

S4 senaryosu, tüm pilot iller için yıllık toplam enerji tüketimi açısından mevcut durumdan daha iyi sonuç vermiştir.

- İstanbul ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1090539,24 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 29671,08 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 16073,51 kWh/yıl, soğutma yükü 10928,75 kWh/yıl, aydınlatma yükü 2668,82 kWh/yıl azalmıştır.
- Ankara ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1155688,51 kWh/yıl olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 36499,96 kWh/yıl azalmıştır. Isıtma yükü 24472,46 kWh/yıl, soğutma yükü 9453,52 kWh/yıl, aydınlatma yükü 2573,99 kWh/yıl azalmıştır.
- İzmir ili için yıllık toplam enerji tüketimi 1037765,91 kWh olarak hesaplanmış, mevcut duruma göre 23530,88 kWh azalmıştır. Isıtma yükü

14753,38 kWh, soğutma yükü 5722,44 kWh, aydınlatma yükü 3055,07 kWh azalmıştır.

Şekil 3.41'de S4 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması verilmiştir.

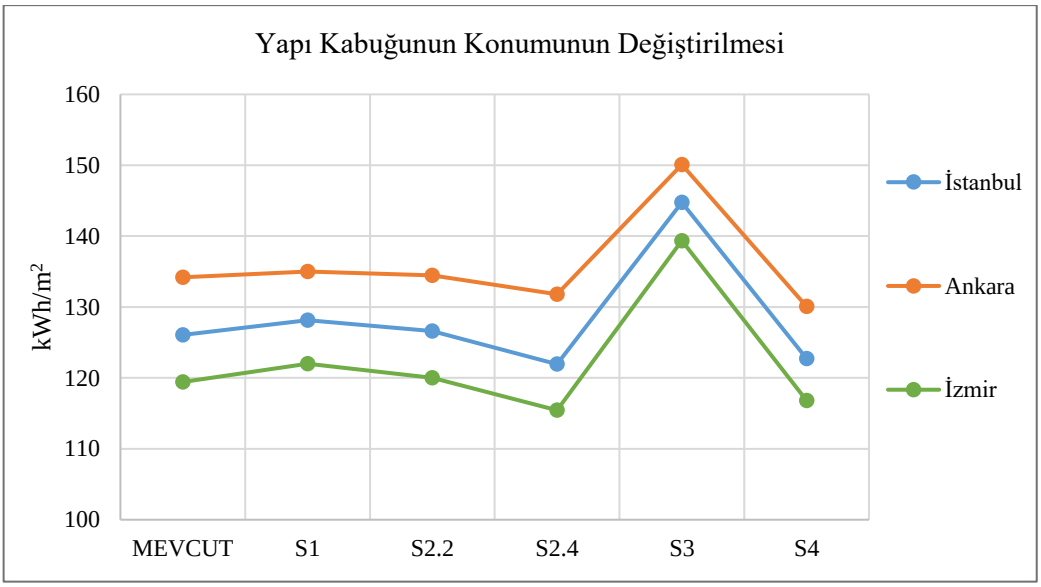


Şekil 3.41 S4 senaryosunda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin mevcut durum ile karşılaştırılması

- İstanbul ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 122,74 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 3,34 kWh/m^{2}yıl azalmıştır.
- Ankara ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 130,07 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 4,11 kWh/m^{2}yıl azalmıştır.
- İzmir ili için birim alana düşen yıllık toplam enerji tüketimi 116,80 kWh/m^{2}yıl'dır ve mevcut duruma göre 2,65 kWh/m^{2}yıl azalmıştır.

3.5.2.5 Senaryo Seçeneklerinin Değerlendirilmesi

Şekil 3.42'de mevcut yapı ve yapı kabuğunun konumunun değiştirilmesi ile oluşturulan tüm senaryolarda birim alana düşen toplam enerji tüketiminin kıyaslanması verilmiştir.



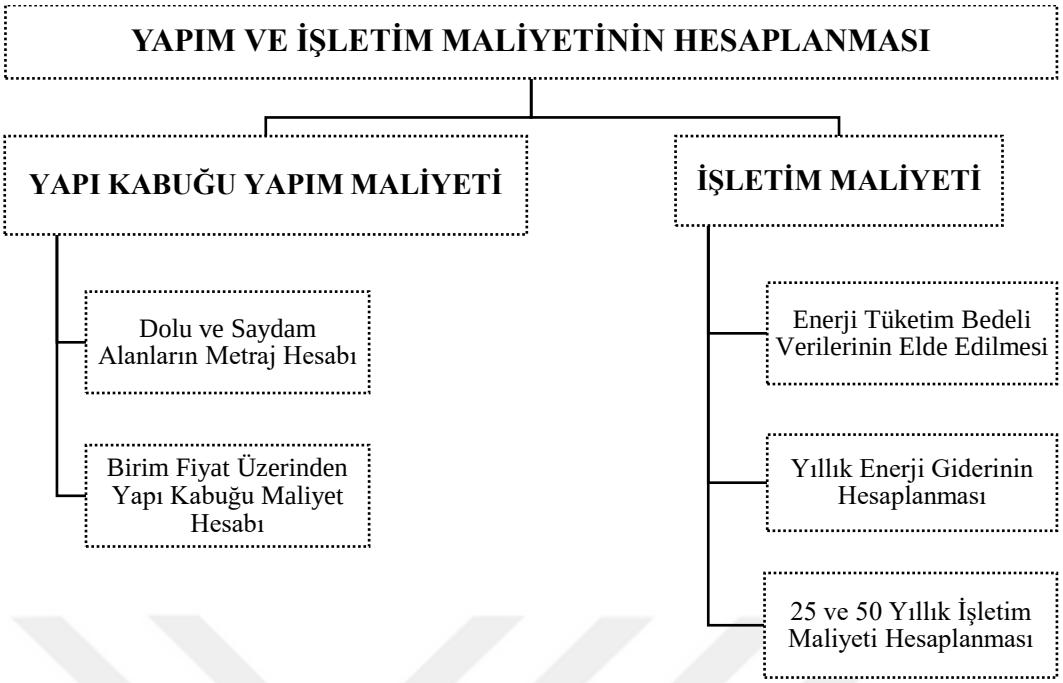
Şekil 3.42 Yapı kabuğunun konumunun değiştirilmesi ile oluşturulan senaryoların kıyaslanması

Oluşturulan 5 yeni senaryonun 2'si enerji tüketimi açısından mevcut yapıdan daha iyi sonuç vermiştir.

- $S2_4$ senaryosu İstanbul ve İzmir illeri için, S4 senaryosu Ankara ili için enerji tüketiminin en az olduğu senaryo olmuştur. Bu iki senaryo üç bölge için de enerji tüketiminin en az olduğu iki senaryodur.
- S3 senaryosu değerlendirilen üç bölge için de enerji tüketiminin en fazla olduğu senaryodur. Bu senaryo ile oluşturulan yapıda saydamlık oranının artırılması yapının toplam enerji tüketimine olumsuz etki etmiştir.

3.6 Mevcut Yapı Kabuğu ve Senaryo Seçeneklerinin Yapım ve İşletim Maliyetlerinin Hesaplanması

Maliyet değerlendirmesi, yapım maliyeti ve işletim maliyeti olarak hesaplanıp ikisinin toplamından elde edilen sonuca göre yapılmıştır. Yapım ve işletim maliyetinin hesaplanmasında oluşturulan yaklaşımın adımları Şekil 3.43'te gösterilmiştir.



Şekil 3.43 Yapım ve işletim maliyetinin hesaplanmasında oluşturulan yaklaşımın adımları

Yapım maliyeti hesabı için yapı kabuğunun dolu ve saydam alanları üzerinde çalışılmış olup, öncelikle bu alanlarda metraj hesabı yapılmış ve ardından yapılan araştırmalar ile elde edilen birim fiyatlar üzerinden maliyet hesabı yapılmıştır. Güneş kırıcıların kullanıldığı seçenekler için ayrıca güneş kırıcı maliyetleri eklenmiştir.

Malzeme birim fiyatları, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 2024 İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları listesinden faydalanılarak ve listede yer almayan malzemeler için piyasa araştırması yapılarak alınan fiyat tekliflerinden elde edilmiştir [36] [37] [38].

Piyasa araştırması ile elde edilen fiyatlarda dolar kuru üzerinden fiyat alınmıştır. 2024 Ocak ayı itibari ile 1$ = 30 TL olarak belirlenmiş hesaplamalar bu kur üzerinden yapılmıştır.

İşletme maliyeti için ise elektrik ve doğal gaz tüketim bedelleri araştırılmış ve önceki aşamalarda elde edilen yapının yıllık toplam enerji tüketimi hesabından yararlanılarak enerji harcaması hesaplanmıştır.

Yapının yıllık enerji harcamalarının hesabı için yıllık toplam enerji tüketimi üzerinden hesaplama yapılmıştır. Aydınlatma ve soğutma amaçlı elektrik harcaması, ısıtma amaçlı ise doğal gaz harcaması hesaplanmış olup iç kazançlardan

dolayı oluşan enerji tüketimi tüm senaryolarda aynı olduğu iç kazançların enerji harcaması için maliyet hesabına dahil edilmemiştir.

Aydınlatma ve soğutma amaçlı elektrik kullanım bedeli için EPDK'nın belirlediği birim fiyat 4,62 TL/kWh, ısıtma amaçlı doğal gaz kullanım bedeli için İGDAŞ'ın belirlediği birim fiyat 0,89 TL/kWh'dir. Enerji maliyetleri için veriler 2023 yılının aralık ayında elde edilmiştir [39] [40].

Mevcut yapı kabuğunun yapım maliyetlerinin incelenmesi için yapılan metraj hesabı ve birim maliyetler örnek olarak Tablo 3.22'de verilmiştir. Fiyatlara malzeme, montaj ve nakliye dahildir. Senaryo seçeneklerinin yapı kabuğu yapım maliyetleri Ek C'de verilmiştir.

Tablo 3.22 Mevcut yapı kabuğunun yapım maliyeti

Yapı Kabuğu Bileşeni		**Miktar**	**Birim Fiyat**	**Maliyet**		**Toplam (TL)**
Prekast Duvar ve Cephe Elemanı	21 cm ısı yalıtımlı	1603 m^2	$175	$280.525	$619.935	18.598.050
	20 x 60 cm	1187 m^2	$165	$195.855		
Pencere (95x237 cm)	6+6 mm düz cam 12 mm hava boşluğu Alüminyum doğrama	319 adet	$450,00	$143.550		

Yapı kabuğunun yapım ve işletim maliyetleri açısından değerlendirilmesinin yapılmasının yapının kullanım süresine göre ayrı ayrı yapılması gerektiği düşünülmüştür. İlk yatırım maliyeti yapı kabuğu yapım maliyetini, işletim maliyeti de enerji kullanım giderlerini kapsamaktadır. Bina ömrü yaklaşık 50 yıl olarak kabul edilmektedir [41]. İşletim maliyeti için 25 ve 50 yıllık kullanımlara göre enerji kullanım giderleri hesaplanmış olup, yapı kabuğu yapım maliyeti eklenerek toplam maliyet belirlenmiştir.

Tablo 3.23 İstanbul ili mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin yapım ve işletim maliyetleri

İstanbul- Yapım ve İşletim Maliyetleri					
Durum		**Yapım Maliyeti (TL)**	**Yıllık Enerji Bedeli (TL)**	**Yapım Maliyeti + 25 Yıllık İşletim Maliyeti (TL)**	**Yapım Maliyeti + 50 Yıllık İşletim Maliyeti (TL)**
Mevcut Durum		18.598.050	2.760.734,80	87.616.420	156.634.790
Yapı Kabuğunun Kesit ve Boyut Özelliklerinin Değiştirilmesi	K1	19.076.400	2.680.313,76	86.084.244	153.092.088
	K2	11.039.100	2.784.881,90	80.661.148	150.283.195
	K1+K2	11.517.600	2.705.726,57	79.160.764	146.803.929
	K3	18.441.900	3.124.783,52	96.561.488	174.681.076
	K4	22.619.850	2.518.116,11	85.572.753	148.525.656
Yapı Kabuğunun Konumunun Değiştirilmesi	S1	12.722.250	2.745.011,76	81.347.544	149.972.838
	$S2_2$	15.212.250	2.781.979,26	84.761.732	154.311.213
	$S2_4$	**28.172.250**	2.567.581,19	92.361.780	156.551.310
	S3	12.566.250	**3.651.185,26**	**103.845.882**	**195.125.513**
	S4	16.744.200	2.683.513,34	83.832.034	150.919.867

Tablo 3.24 Ankara ili mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin yapım ve işletim maliyetleri

Ankara- Yapım ve İşletim Maliyetleri					
Durum		**Yapım Maliyeti (TL)**	**Yıllık Enerji Bedeli (TL)**	**Yapım Maliyeti + 25 Yıllık İşletim Maliyeti (TL)**	**Yapım Maliyeti + 50 Yıllık İşletim Maliyeti (TL)**
Mevcut Durum		18.598.050	2.204.177,04	73.702.476	128.806.902
Yapı Kabuğunun Kesit ve Boyut Özelliklerinin Değiştirilmesi	K1	19.076.400	2.126.089,05	72.228.626	125.380.853
	K2	11.039.100	2.204.599,22	66.154.081	121.269.061
	K1+K2	11.517.600	2.126.287,22	64.674.781	117.831.961
	K3	18.441.900	2.532.629,74	81.757.644	145.073.387
	K4	22.619.850	1.995.664,14	72.511.454	122.403.057

Tablo 3.24 Ankara ili mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin yapım ve işletim maliyetleri (devamı)

Yapı Kabuğunun Konumunun Değiştirilmesi	S1	12.722.250	2.313.717,51	70.565.188	128.408.126
	$S2_2$	15.212.250	2.217.695,25	70.654.631	126.097.013
	$S2_4$	**28.172.250**	2.042.769,06	79.241.477	130.310.703
	S3	12.566.250	**3.018.550,68**	**88.030.017**	**163.493.784**
	S4	16.744.200	2.126.663,59	69.910.790	123.077.380

Tablo 3.25 İzmir ili mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin yapım ve işletim maliyetleri

İzmir- Yapım ve İşletim Maliyetleri					
Durum		**Yapım Maliyeti (TL)**	**Yıllık Enerji Bedeli (TL)**	**Yapım Maliyeti + 25 Yıllık İşletim Maliyeti (TL)**	**Yapım Maliyeti + 50 Yıllık İşletim Maliyeti (TL)**
Mevcut Durum		18.598.050	3.001.513,26	93.635.882	168.673.713
Yapı Kabuğunun Kesit ve Boyut Özelliklerinin Değiştirilmesi	K1	19.076.400	2.929.026,13	92.302.053	165.527.707
	K2	11.039.100	3.020.974,11	86.563.453	162.087.806
	K1+K2	11.517.600	2.938.632,86	84.983.422	158.449.243
	K3	18.441.900	3.316.213,87	101.347.247	184.252.594
	K4	22.619.850	2.745.011,76	91.245.144	159.870.438
Yapı Kabuğunun Konumunun Değiştirilmesi	S1	12.722.250	3.166.858,61	91.893.715	171.065.181
	$S2_2$	15.212.250	3.023.195,21	90.792.130	166.372.011
	$S2_4$	**28.172.250**	2.804.632,83	98.288.071	168.403.892
	S3	12.566.250	**3.973.984,96**	**111.915.874**	**211.265.498**
	S4	16.744.200	2.947.734,33	90.437.558	164.130.917

Yapı kabuğu yapım maliyetinin en yüksek olduğu seçenek $S2_4$ senaryosu, en düşük olduğu seçenek ise K2 senaryosudur. Üç iklim bölgesi için de 25 ve 50 yıllık işletim maliyeti açısından en maliyetli senaryonun S3 seçeneği, en düşük maliyetli seçeneğin ise K1+K2 seçeneği olduğu görülmektedir.

3.7 Enerji Tüketim Yüzdesi ve Maliyet Yüzdesinin Hesaplanması

3.7.1 Enerji Tüketim Yüzdesi

Mevcut yapı ile oluşturulan senaryoların enerji performanslarının değerlendirilmesi amacı ile kıyaslama yapılarak bir değerlendirme yapılması gerektiği düşünülmüştür. Kıyaslama yapılabilmesi için farklı senaryoların yıllık toplam enerji tüketimleri üzerinden oluşturulan bir enerji tüketim yüzdesi formülü oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryoların enerji performansları, enerji tüketim yüzdesi değerlerine göre sıralanacaktır. Sıralama, değerlendirilen şehir için en yüksek enerji tüketimine sahip olan senaryonun yıllık enerji tüketimine göre diğer senaryoların enerji tüketim yüzdesinin belirlenmesi ile yapılacaktır. En yüksek enerji tüketiminin olduğu seçeneğin enerji tüketim yüzdesi 100 olarak kabul edilmiştir.

$$E = 100\frac{E_x}{\mathrm{E}_{max}} \tag{3.1}$$

E= Enerji tüketim yüzdesi

E_x= X senaryosunun yıllık toplam enerji tüketimi

E_{max}= En yüksek enerji tüketimi olan senaryonun yıllık toplam enerji tüketimi

Tablo 3.26'da mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin enerji tüketimleri ve enerji tüketim yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 3.26 Mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin enerji tüketim yüzdesi

Durum		**Birim Alanda Enerji Tüketimi (kWh/m²yıl)**			**Enerji Tüketim Yüzdesi (%)**		
		İstanbul	Ankara	İzmir	İstanbul	Ankara	İzmir
Mevcut Durum		126,08	134,18	119,45	87,10	89,40	85,71
Yapı Kabuğunun Kesit ve Boyut Özelliklerinin Değiştirilmesi	K1	121,47	128,11	115,84	83,92	85,36	83,12
	K2	123,31	129,06	117,21	85,19	85,99	84,11
	K1+K2	118,73	123,22	113,34	82,02	82,10	81,33
	K3	135,4	143,14	126,98	93,54	95,37	91,12
	K4	120,3	129,27	113,76	83,11	86,13	81,63

Tablo 3.26 Mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin enerji tüketim yüzdesi (devamı)

Yapı Kabuğunun Konumunun Değiştirilmesi	S1	128,15	135,02	122,01	88,53	89,96	87,55
	$S2_2$	126,63	134,45	120,03	87,48	89,58	86,13
	$S2_4$	121,94	131,78	115,44	84,24	87,80	82,84
	S3	144,75	150,09	139,36	**100**	**100**	**100**
	S4	122,74	130,07	116,8	84,79	86,66	83,81

Değerlendirilen üç şehir için de enerji tüketiminin en yüksek olduğu seçenek S3 senaryosudur. Bu yüzden her şehir için, S3 senaryosunun o şehirdeki enerji tüketim yüzdesi %100 olarak belirlenmiş olup diğer senaryoların yıllık enerji tüketim yüzdeleri bu referansa göre hesaplanmıştır.

3.7.2 Maliyet Yüzdesi

Yapım ve işletim maliyetlerinin değerlendirilmesi amacı ile yine kıyaslama yapılarak bir değerlendirme yapılması gerektiği düşünülmüştür. Kıyaslama yapılabilmesi için enerji tüketim yüzdesine benzer bir maliyet yüzdesi formülü oluşturulmuştur. Senaryoların toplam maliyetleri, maliyet yüzdesi değerlerine göre sıralanacaktır. Sıralama, değerlendirilen pilot iller için maliyeti en yüksek senaryonun toplam maliyetine göre diğer senaryoların maliyet yüzdesinin belirlenmesi ile yapılacaktır. Maliyeti en yüksek seçeneğin maliyet yüzdesi 100 olarak kabul edilmiştir.

$$M = 100\frac{M_x}{\mathrm{M}_{max}} \tag{3.2}$$

M= Maliyet yüzdesi

M_x= X senaryosunun yapım ve işletim maliyeti toplamı

M_{max}= Maliyeti en yüksek olan senaryonun yapım ve işletim maliyeti toplamı

Tablo 3.27'de mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin maliyet yüzdeleri verilmiştir.

Mevcut yapı ve tüm senaryo seçenekleri ile tasarlanan yapıların yapım maliyetleri hesaplanmış ve bu senaryoların tüm pilot iller için 25 ve 50 yıllık kullanımlarla yapım + işletim maliyetlerinin toplamı hesaplanmıştır. Yapım ve işletim

maliyetlerinin en yüksek olduğu seçeneğin maliyet yüzdesi %100 olarak belirlenmiş olup, diğer seçenekler bu referans üzerinden hesaplanmıştır.

Tablo 3.27 Yapım ve işletim maliyetleri yüzdesi

Durum		**Yapım Maliyeti (%)**	**Yapım + 25 Yıllık İşletim Maliyeti (%)**			**Yapım + 50 Yıllık İşletim Maliyeti (%)**		
			İstanbul	Ankara	İzmir	İstanbul	Ankara	İzmir
Mevcut Durum		66,02	84,37	83,72	83,67	80,27	78,78	79,84
Yapı Kabuğunun Kesit ve Boyut Özelliklerinin Değiştirilmesi	K1	67,71	82,90	82,05	82,47	78,46	76,69	78,35
	K2	**39,18**	77,67	75,15	77,35	77,02	74,17	76,72
	K1+K2	40,88	**76,23**	**73,47**	**75,94**	**75,24**	**72,07**	**75,00**
	K3	65,46	92,99	92,87	90,56	89,52	88,73	87,21
	K4	80,29	82,40	82,37	81,53	76,12	74,87	75,67
Yapı Kabuğunun Konumunun Değiştirilmesi	S1	45,16	78,33	80,16	82,11	76,86	78,54	80,97
	$S2_2$	54,00	81,62	80,26	81,13	79,08	77,13	78,75
	$S2_4$	**100**	88,94	90,02	87,82	80,23	79,70	79,71
	S3	44,61	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
	S4	59,44	80,73	79,42	80,81	77,35	75,28	77,69

3.8 Bulguların Pilot İllere Göre Değerlendirilmesi

Yapı kabuğu tasarımının enerji tüketimi ve maliyet açısından incelendiği bu çalışmada, farklı iklim bölgelerini temsil etmek açısından İstanbul, Ankara ve İzmir illeri pilot iller olarak seçilmiştir. Mevcut durum analiz edilmiş ve toplamda 10 yeni senaryo oluşturulmuştur. Tüm senaryoların yıllık enerji tüketimleri hesaplanarak yapı kabuğu yapım ve işletim maliyetleri hesaplanmıştır. Değerlendirme, yapı kabuğu tasarımlarından oluşan senaryoların kıyaslanmasına göre yapılmıştır.

Senaryo seçenekleri iki başlık üzerinden oluşturulmuştur. Birinci başlık, mevcut yapı tasarımı ile kabuğun özelliklerinin değiştirilmesi olup bu başlık altında oluşturulan senaryolar; saydam alanda iyileştirme, dolu alanda iyileştirme, saydam ve dolu alanlarda iyileştirme, saydamlık oranının artırılması ve saydamlık oranının azaltılmasıdır. İkinci başlık olan yapı kabuğu konumunun değiştirilmesi başlığı altında ise saydamlık oranının korunması, güneş kırıcılar kullanılması, saydamlık

oranının artırılması ve saydamlık oranının azaltılması senaryoları üzerine çalışılmıştır.

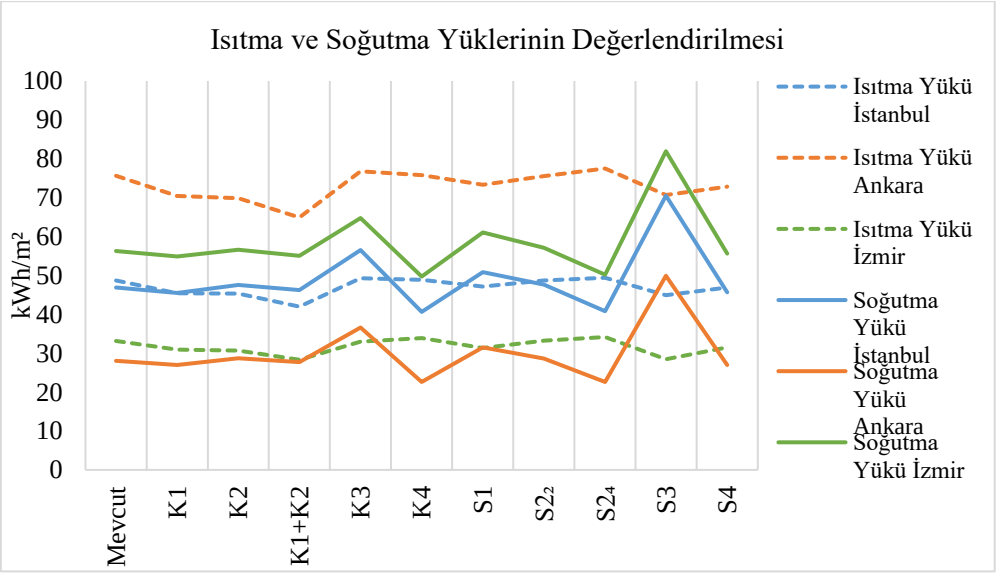
Çalışılan senaryolar ile oluşturulan yapıların değerlendirilmesi seçilen pilot illere göre, aşağıdaki üç başlık üzerinden yapılmıştır.

- Isıtma ve soğutma yükleri açısından değerlendirme,
- Toplam enerji tüketimi açısından değerlendirme,
- Yapım ve işletim maliyetleri açısından değerlendirme.

3.8.1 Isıtma ve Soğutma Yükleri Açısından Değerlendirme

Bu bölümde birim alana düşen ısıtma ve soğutma yüklerinin dağılımları değerlendirilmiştir. Birim alana düşen toplam enerji tüketiminin değerlendirmesi, bir sonraki başlıkta enerji tüketim yüzdesi üzerinden yapılmıştır.

İç kazançların enerji yükleri tüm senaryolarda ve tüm bölgelerde aynı değerde olduğu için değerlendirmeye alınmamıştır. Aydınlatma yükleri de birbirlerine oldukça yakın çıkmış olup tüm bölgelerde en yüksek aydınlatma yükü $S2_4$ (doğu, batı cephelerinde ve iç avlunun doğu, batıya bakan pencerelerinde düşey güneş kırıcıların kullanılması) senaryosunda, en düşük aydınlatma yükü de S3 (yapı kabuğunun konumunun değiştirilip saydamlık oranının artırılması) senaryosundadır. Dolayısıyla enerji yüklerinin dağılımları değerlendirmesi, ısıtma ve soğutma yükleri açısından yapılmıştır.



Şekil 3.44 Isıtma ve soğutma yüklerinin karşılaştırması

Ilıman nemli iklim bölgesinin pilot ili olan İstanbul için, S3 senaryosu hariç tüm seçeneklerde ısıtma ve soğutma yükleri birbirlerine yakındır.

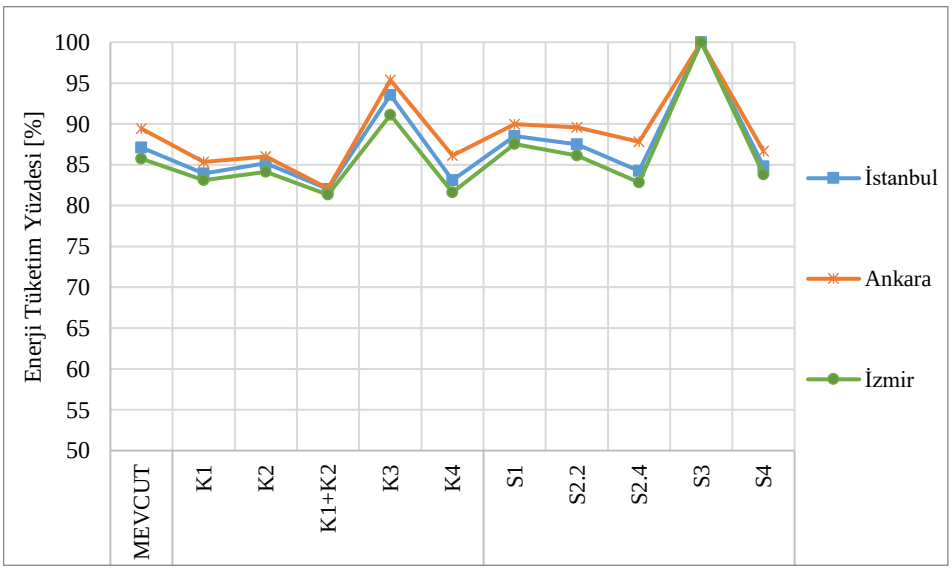
Ilıman kuru iklim bölgesinin pilot ili olan Ankara için, ısıtma yükleri soğutma yüklerinden belirgin bir şekilde daha yüksektir.

Sıcak nemli bölgesinin pilot ili olan İzmir için ise soğutma yükleri ısıtma yüklerinden belirgin bir şekilde daha yüksektir.

- Değerlendirilen üç iklim bölgesi için de ısıtma yükleri en yüksek senaryo $S2_4$, en düşük K1+K2 (saydam + dolu alanlarda iyileştirme) senaryosudur.
- Değerlendirilen üç iklim bölgesi için de soğutma yükü açık bir fark ile en yüksek olan senaryo S3 olmuştur. Yapının güneş ile etkileşimi çok fazla arttığı için soğutma yükü de artmıştır. Üç iklim bölgesi için de soğutma yükü en düşük olan senaryolar K4 (mimari üslubun korunarak saydamlık oranının azaltılması) ve $S2_4$ senaryolarıdır.

3.8.2 Toplam Enerji Tüketimi Açısından Değerlendirme

Değerlendirme hesaplanan enerji tüketim yüzdeleri üzerinden yapılmış olup, enerji tüketiminin en yüksek olduğu senaryonun enerji tüketim yüzdesi %100 olarak belirlenmiştir. Mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin İstanbul, Ankara ve İzmir illerindeki enerji tüketim yüzdeleri Şekil 3.45'te verilmiştir.



Şekil 3.45 Enerji tüketim yüzdesi açısından değerlendirme

- Değerlendirilen üç iklim bölgesi için de enerji tüketim yüzdesi en yüksek ve %100 olan seçenek S3 (yapı kabuğunun konumunun değiştirilip

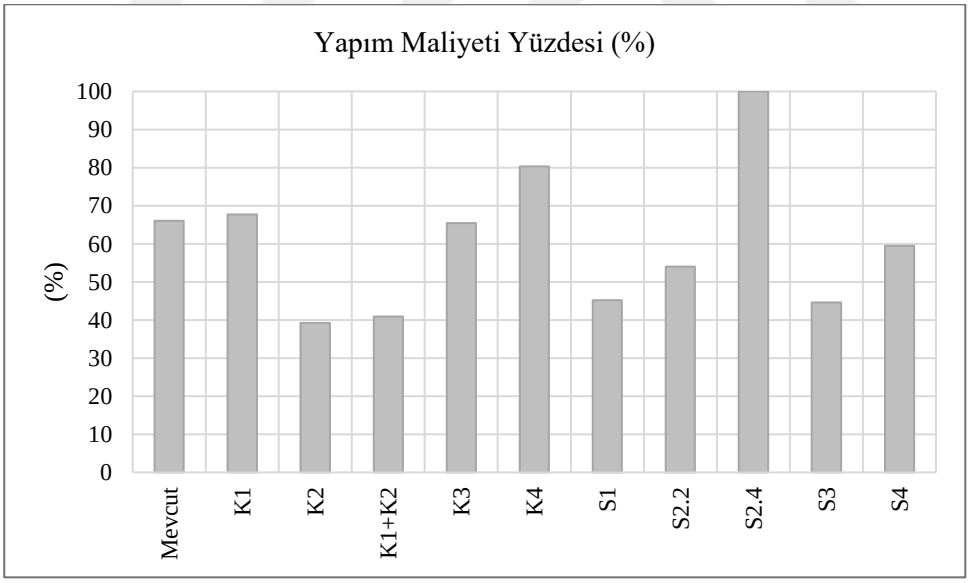
saydamlık oranının artırılması) olmuştur. Ardından K3 (mimari üslubun korunarak saydamlık oranının artırılması) gelmektedir. Saydamlık oranının artırılması, tüm bölgelerde yapının enerji performansına olumsuz etki etmiştir.

- Değerlendirilen üç iklim bölgesi için de enerji tüketim yüzdesi en düşük senaryo K1+K2 olmuştur. İstanbul ve İzmir illerinde K4 (mimari üslubun korunarak saydamlık oranının azaltılması) senaryosu da en düşük senaryoya yakın sonuçlar vermiştir.
- Tüm pilot illerde 11 seçenek arasından mevcut yapı, enerji tüketim yüzdesi en yüksek 5. senaryodur.

3.8.3 Yapım ve İşletim Maliyetleri Açısından Değerlendirme

Değerlendirmeler yapı kabuğu yapım ve işletim maliyetleri üzerinden hesaplanan maliyet yüzdesi üzerinden yapılmış olup, yapım ve işletim maliyetin en yüksek olduğu senaryonun maliyet yüzdesi %100 olarak belirlenmiştir.

- **<u>Yapım maliyetlerinin değerlendirilmesi;</u>**



Şekil 3.46 Mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin yapım maliyeti yüzdeleri

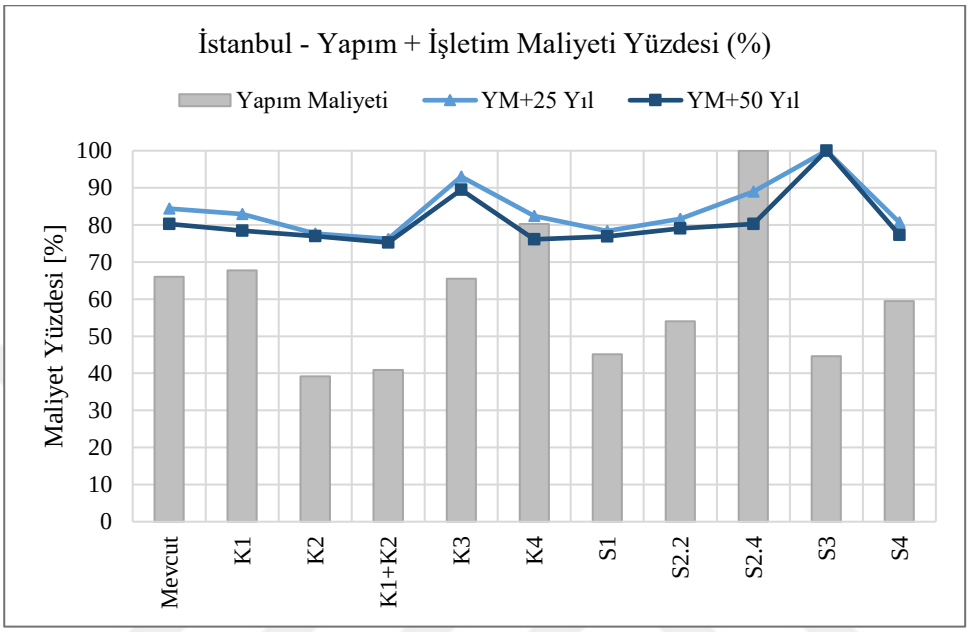
Yapı kabuğu yapım maliyeti yüzdesi en yüksek senaryo %100 ile $S2_4$ (doğu, batı cephelerinde ve iç avlunun doğu, batıya bakan pencerelerinde düşey güneş kırıcıların kullanılması) senaryosudur.

Yapım maliyeti en düşük senaryolar %39,18 ile K2 (dolu alanlarda iyileştirme) ve %40,88 ile K1+K2 senaryolarıdır.

Mevcut yapının, yapım maliyeti yüzdesi %66,02 olup, yapım maliyeti en yüksek 4. senaryodur.

- **İstanbul için yapım + işletim maliyetlerinin değerlendirilmesi;**

İstanbul ili için yapım + işletim maliyeti yüzdeleri Şekil 3.47'de verilmiştir.



Şekil 3.47 İstanbul – Yapım + İşletim Maliyeti Yüzdeleri

İstanbul ilinde, tüm kullanım dönemleri için yapım + işletim maliyeti yüzdesi en yüksek seçenek, S3 (yapı kabuğunun konumunun değiştirilip saydamlık oranının artırılması), ardından K3 (mimari üslubun korunarak saydamlık oranının artırılması) senaryosudur. İlk yatırım maliyeti açısından S3 senaryosu düşük, K3 senaryosu orta sıralardadır. İşletim maliyetlerinin çok yüksek olmasından dolayı, saydamlık oranlarının artırılması ile oluşturulan bu iki senaryo en verimsiz senaryolar olmuştur.

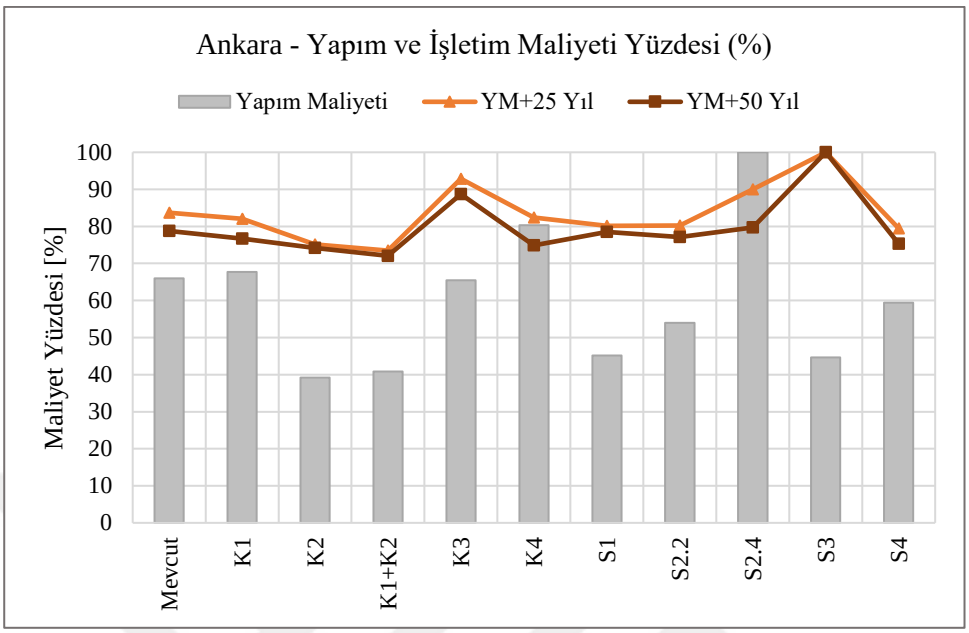
Tüm kullanım dönemleri için, maliyet yüzdesinin en düşük olduğu senaryo, K1+K2 (saydam ve dolu alanlarda iyileştirme yapılması) senaryosudur. İlk yatırım maliyetinin en düşük ikinci senaryo olması ve işletim maliyetlerinin de düşük olmasından dolayı enerji tüketimi ve maliyet açısından en verimli sonucu vermiştir.

Maliyet yüzdesi en düşük diğer iki senaryo K2 (dolu alanlarda iyileştirme) ve S1 (kabuğun konumunun değiştirilip saydamlık oranının korunması) senaryolarıdır.

Mevcut yapı, 25 yıllık kullanımda maliyet yüzdesi en yüksek 4. senaryo, 50 yıllık kullanımda ise maliyet yüzdesi en yüksek 3. senaryodur.

- **<u>Ankara için yapım + işletim maliyetlerinin değerlendirilmesi;</u>**

Ankara ili için yapım + işletim maliyeti yüzdeleri Şekil 3.48'de verilmiştir.



Şekil 3.48 Ankara – Yapım + İşletim Maliyeti Yüzdeleri

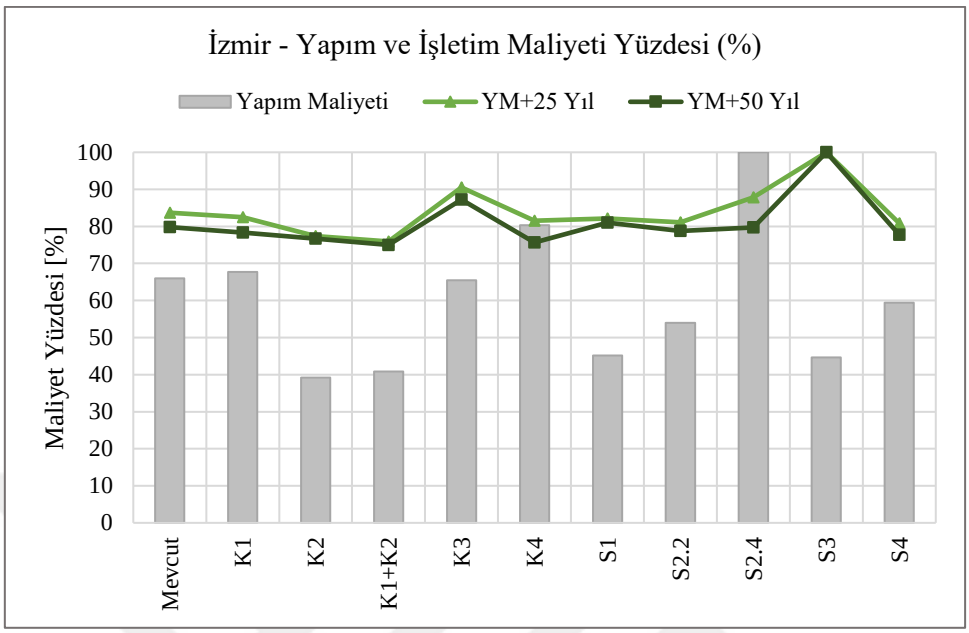
Ankara ili için de tüm kullanım dönemleri için yapım + işletim maliyeti yüzdesi en yüksek seçenek S3, ardından K3 senaryosudur. Tüm kullanım dönemleri için, maliyet yüzdesinin en düşük olduğu ve en verimli olan senaryo K1+K2 senaryosudur.

Maliyet yüzdesi tüm kullanım dönemleri için en düşük ikinci seçenek K2 senaryosudur. Yüksek yapım maliyetine sahip K4 senaryosu uzun süreli kullanımda en verimli üçüncü seçenek olmuştur.

Mevcut yapı, tüm kullanım dönemleri için maliyet yüzdesi en yüksek 4. senaryodur.

- **<u>İzmir için yapım + işletim maliyetlerinin değerlendirilmesi</u>;**

İzmir ili için yapım + işletim maliyeti yüzdeleri Şekil 3.49'de verilmiştir.



Şekil 3.49 İzmir – Yapım + İşletim Maliyeti Yüzdeleri

İzmir ili için de tüm kullanım dönemleri için yapım + işletim maliyeti yüzdesi en yüksek seçenek S3, ardından K3 senaryosudur. Tüm kullanım dönemleri için, maliyet yüzdesinin en düşük olduğu ve en verimli olan senaryo K1+K2 senaryosudur.

K4 senaryosu 50 yıl gibi uzun süreli kullanımda, ilk yatırım maliyeti en düşük olan K2 senaryosundan daha verimli sonuçlar vermiştir. $S2_4$ ve K1 senaryoları, enerji tüketim yüzdesi düşük olan senaryolar olmalarına rağmen 50 yıllık periyotta yüksek yapım maliyetlerini telafi edememişlerdir.

Mevcut yapı, tüm kullanım dönemleri için maliyet yüzdesi en yüksek 4. senaryodur.

4
SONUÇ

Bu tez çalışmasında, yapı kabuğu tasarımı ile ilgili kararların, kabuğun kesit ve boyut özelliklerine ve konumuna göre değerlendirildiği bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yaklaşım mevcut bir ofis yapısı olan Doğan Holding Yönetim Binası örneğinde ve üç iklim bölgesini temsil eden pilot illerde uygulanmıştır.

Ilıman nemli iklim bölgesi için İstanbul, ılıman kuru iklim bölgesi için Ankara, sıcak nemli iklim bölgesi için de İzmir illeri pilot iller olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında referans yapıya ait veriler elde edilmiş ve DesignBuilder programında tanımlanmış, pilot illerin iklim verileri program üzerinden atanmış ve mevcut yapının yıllık enerji tüketimi analiz edilmiştir.

Daha sonra mevcut yapının kabuk tasarımına alternatif olarak geliştirilen yapı kabuğu seçenekleri oluşturulmuştur. Oluşturulan alternatif senaryolar kabuğun kesit ve boyut özelliklerine ve konumuna göre sınıflandırılmıştır. Tüm seçenekler programda modellenmiş ve yıllık enerji tüketimleri pilot iller olarak belirlenen İstanbul, Ankara ve İzmir illerinde simülasyon ile hesaplanmıştır.

Mevcut yapı ve alternatif senaryoların yapı kabuğu yapım maliyetleri malzeme birim fiyat ve piyasa araştırmasından elde edilen fiyatlar üzerinden, işletim maliyetleri de elektrik ve doğal gaz kullanım fiyatları üzerinden hesaplanmıştır. İşletim maliyetleri 25 ve 50 yıllık kullanımlara göre hesaplanmış ve yapım+işletim maliyeti analizi yapılmıştır. Yapı kabuğu yapım maliyetleri de ilk yatırım maliyeti olarak kabul edilmiştir.

Değerlendirmenin yapılabilmesi için mevcut yapı ve alternatif senaryoların enerji tüketimleri için enerji tüketim yüzdesi, maliyetleri için de maliyet yüzdesi formüle edilmiştir. Değerlendirmeler seçilen pilot illere göre bu yüzdeler üzerinden yapılmış ve ayrıca yapının enerji performansına etki eden ısıtma ve soğutma yüklerinin değerlendirmesi de yapılmıştır.

Çalışmanın bulgularına ve yapılan değerlendirmelere göre elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Tüm pilot illerde 11 senaryo arasından mevcut yapı, enerji tüketim yüzdesi en yüksek 5. senaryodur. Tüm kullanım dönemlerinde de mevcut yapı, maliyet yüzdesi en yüksek ilk 4 senaryodan biridir. Oluşturulan 6 yeni senaryonun enerji verimliliği, 7 senaryonun da maliyet açısından verimliliği mevcut yapıdan daha yüksektir.
- Tüm pilot illerde en verimli senaryo, enerji tüketim yüzdesi ve tüm kullanım süresi için maliyet yüzdesi en düşük olan saydam ve dolu alanlarda birlikte iyileştirme yapılması olmuştur.
- Tüm pilot illerde enerji tüketimi ve maliyet açısından verimin en düşük olduğu yaklaşımların saydamlık oranının artırılması ile cam cepheler oluşturulması olmuştur.
- Ilıman nemli ve sıcak nemli iklim bölgeleri için ilk yatırım maliyeti en yüksek ikinci senaryo olan K4 senaryosu yüksek yapım maliyetini uzun süreli kullanımda telafi etmiş, en verimli ikinci senaryo olmuştur.

Çalışmanın sonuçları hem enerji verimliliği hem maliyet açısından en verimli senaryonun, üç iklim bölgesinde de dolu ve saydam alan kesitlerinin birlikte iyileştirilmesi (K1+K2) olduğunu göstermektedir. Saydam alanlar için Low-E kaplamalı, camlar arasında argon gazı bulunan çift camdan ve ısı yalıtımlı alüminyum doğramadan oluşan pencereler, dolu alanlarda da 5 cm taş yünü ısı yalıtımlı, 13,5 cm gaz beton duvar elemanı ve alüminyum kaplamadan oluşan duvarların oluşturduğu yapı kabuğu en verimli sonucu vermiştir. Dolayısıyla mimari üslupta iklimle dengeli tasarım özelliklerine önem verilmesinin yanında; uygulama projesinde kesit özelliklerinin enerji korunumu ve maliyet açısından detaylandırılması gerekmektedir. Bu sonuç tezin, yapı kabuğu tasarımının enerji etkin tasarlanması ve uygulanması, enerji tüketimini ve işletme maliyetlerini düşürebilir hipotezini doğrulamaktadır.

Saydamlık oranının artırılmasının üç iklim bölgesinde de soğutma yüklerini ve işletim maliyetlerini artırdığını göstermektedir. Dolayısıyla, cam cephelerden oluşan ya da saydamlık oranı yüksek yapılarda enerji verimliliğinin artırılması amacı ile ısı alışverişini dengeleyecek ek önlemlerin alınması (saydam alan kesit özelliklerinin iyileştirilmesi, güneş kırıcılar kullanılması gibi) gerektiği, aksi takdirde yüksek maliyetler doğurabileceği açıktır.

İlk yatırım maliyeti düşük olan tasarımların, ilerde büyük maliyetler ortaya çıkarabileceği açıktır. S3 senaryosu en düşük yapım maliyetlerinden birine sahip olmasına rağmen işletim maliyetleri çok yüksektir ve yapının tüm kullanım süresinde en yüksek maliyetlere sebep olmuştur. K4 senaryosunda olduğu gibi ilk yatırım maliyeti yüksek olan tasarımların da uzun süreli kullanımlarda verimli olabileceği görülmektedir. Bu nedenle yapı üretiminde sadece ilk yatırım maliyetlerine göre karar alınmamalı, işletim maliyetlerinin de dikkate alınması gerekir. Henüz tasarım aşamasında enerji verimliliği ve uygun malzeme seçimi gibi faktörlerin detaylı bir şekilde değerlendirilmesi ve enerji etkin tasarım ilkelerine uygun çözümlerin benimsenmesi önemlidir. Böylece, işletme maliyetleri minimize edilerek, yapıların daha ekonomik olması sağlanabilir.

Tüm seçeneklerde soğutma yükleri İzmir ilinde, ısıtma yükleri de Ankara ilinde en fazladır. Dolayısıyla sıcak nemli iklim bölgelerinde soğutma yüklerinin azaltılması, ılıman kuru iklim bölgelerinde ısıtma yükünün azaltılması amaçlanırsa doğrudan yapının enerji verimliliğinin artırılmasına etki edecektir.

Çalışmada referans ofis yapısı için, yapının mevcut tasarımından ve mimarın üslubundan uzaklaşmadan farklı tasarım senaryoları oluşturulmuş ve Türkiye'nin üç farklı iklim bölgesini temsil eden üç pilot ilde uygulanmıştır. Oluşturulan yaklaşım, ofis yapılarının enerji tüketimi ve maliyet açısından daha verimli hale getirilmesine yönelik yeni tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesine önemli bir katkı sunmaktadır. Gelecekte, diğer iklim bölgelerine ve yapı türlerine de uygulanabilecek daha fazla senaryo ve faktörün eklenmesiyle, ofis yapılarının sürdürülebilirliği konusunda daha kapsamlı değerlendirmeler yapılması mümkündür. Bu çalışma, enerji tasarrufu ve maliyet etkinliği açısından daha iyi ofis yapıları tasarlanması ve inşa edilmesine rehberlik ederek, çevresel ve ekonomik açıdan sürdürülebilir bir geleceğe katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

[1] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024-2030)," 2024.

[2] Lamy-Mendes, A., Pontinha, A. D. R., Alves, P., Santos, P., & Durães, L. (2021). "Progress in silica aerogel-containing materials for buildings' thermal insulation." *Construction and Building Materials*, 286, 122815. ISSN: 0950-0618.

[3] Kibert, C. J. (2022). "Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery," 5th Edition. ISBN: 978-1-119-70645-8.

[4] Aydınol, F.A.Z. (2016). "Impact of Different Transparency Ratios of Building Envelope on Building Energy Performance in Various Climatic Zones," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[5] İnanici, M. N., & Demirbilek, F. N. (1998). "Thermal Performance Optimization Of Building Aspect Ratio And South Window Size İn Five Cities Having Different Climatic Characteristics Of Turkey." *Building And Environment*, 35(1), 41-52.

[6] Ünalan, H., & Gökaltun, E. (2015). "Farklı Yönlere Göre Değişen Opaklık Saydamlık Oranının Isıtma ve Soğutma Enerjisine Etkisi." *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi Fırat Univ. Journal Of Engineering*, 27(1), 57-64.

[7] Karaca, Ö. (2011). "İstanbul'da Mevcut Bir Büro Yapısının Enerji Etkin Yenilenmesi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[8] Poirazis H., Blomsterberg A., ve Wall M., "Energy Simulations for Glazed Office Buildings in Sweden," *Energy and Buildings*, cilt 40, ss. 1161–1170, 2008.

[9] Ghritalahare, V., & Judson, L. (2023). "Life Cycle Costing of Building Envelope In Composite Climate." *Zenodo*.

[10] Yüksel, T. (2019). "Mevcut Bir Binanın Yenilenmesinde Pasif ve Aktif Seçeneklerin Enerji Verimliliği ve Maliyet Açısından Değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[11] Ören, C. (2010). "Ofis Binalarında Yıllık Enerji Tüketimini Azaltan Parametrelerin İncelenmesi ve Pasif Yöntemlerin Enerji İhtiyaçlarına Etkileri," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul..

[12] Eskin, N., & Türkmen, H. (2008). "Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey." *Energy and Buildings*, 40, pp. 763-773.

[13] Liao, L., Wang, J., Qiu, Z., Yu, B., & Li, J. (2021). "Identification of passive solar design determinants in office building envelopes in hot and humid climates using data mining techniques." *Building and Environment*, 196, 107566.

[14] Gazioğlu, A. (2012). "Enerji Etkin Bina Tasarımında Isıtma Enerjisi Harcamalarını Azaltmaya Yönelik Bir İyileştirme Çalışması," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul..

[15] M. Lollini, B. Barozzi, M. Fasano, G. Meroni, M. Zinzi, "Optimisation of opaque components of the building envelope. Energy, economic and envronmental issues", *Building and Environment*, cilt 41, no.8, ss. 1001-1013, 2006.

[16] Çakır, S. R. (2020). "Konutlarda Tasarım Parametrelerinin Yıllık Enerji Maliyeti ve İlk Yatırım Maliyeti Açısından Degerlendirilmesi." İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

[17] Mahdya M. M. ve Nikolopoulou M. (2014). "Evaluation of Fenestration Specifications in Egypt in Terms of Energy Consumption and Long Term Cost-Effectiveness." *Energy and Buildings*, 69, ss. 329–343.

[18] Küçükaydın, A. C. (2019). "Farklı Mimari Proje Alternatiflerinin Enerji Tüketim ve Maliyet Açısından Değerlendirilmesi: Denizli Hükümet Konağı Yarışması Örneği." Yüksek Lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[19] TS 825. (2013). "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları." Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

[20] Demirtaş, A. (2011). "Farklı İklim Bölgelerinde Otel Yapılarının Isıtma ve Soğutma Yüklerinin Karşılaştırılması." Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[21] Deniz, A. (2018). "Yapı Kabuğunun Düşük Maliyetli Enerji Etkin İyileştirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım: Kamu Yapısı Örneği." Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[22] Esin, T., & Yüksek, İ. (2009). "Çevre Dostu Ekolojik Yapılar (Environmental Friendly Ecological Buildings)," 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük.

[23] Stack, I.A., Goulding J., Lewis J.O. (2010). "Shading Systems," European Commission Shading Systems Energy Research Group, University College Dublin, School of Architecture, Richview, Clonskeagh, Dublin 14.

[24] Efe, A. (2009). "Pasif Güneş Evlerinde Bina Kabuğu Sistemi Tasarımı." Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı.

[25] Dr. W. Feist, "Passive House Planning Package 2007. Specifications for Quality Approved Passive Houses."

[26] Troup, L., Phillips, R., Eckelman, M. J., & Fannon, D. (2019). "Effect of window-to-wall ratio on measured energy consumption in US office buildings." *Energy and Buildings*, 203, 109434. ISSN: 0378-7788

[27] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. "İstanbul İklim Verileri."

https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx [Erişim: 3 Şubat 2024.]

[28] http://www.istanbul.gov.tr/iklim-istanbul [Erişim: 3 Şubat 2024]

[29] Balcıoğlu, Y. E., & Gönençgil, B. (2022). "Bir Geçiş İklim Bölgesi Olarak İstanbul'un Kuzeyi ve Güneyinde Sıcaklık ve Yağışın Eğilimleri." *TÜCAUM 2022 Uluslararası Coğrafya Sempozyumu Bildiri Kitabı*, 583-598. Ankara, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü.

[30] http://ankara.gov.tr/iklimi [Erişim: 3 Şubat 2024.]

[31] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. "Ankara İklim Verileri."

(https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx) [Erişim: 3 Şubat 2024]

[32] https://www.izmir.bel.tr/tr/IzmirinCografyasi/220/255#:~:text=İl%20bazında%20yıllık%20ortalama%20sıcaklık,2%20ºC%20daha%20düşük%20olmaktadır. [Erişim: 3 Şubat 2024]

[33] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. "İzmir İklim Verileri."

https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx

[Erişim: 3 Şubat 2024]

[34] Nevzat Sayın Mimarlık Hizmetleri. https://www.nsmh.com/Dogan-Holding-Yonetim-Binasi [Erişim: 11 Ekim 2023]

[35] https://www.arkiv.com.tr/proje/dogan-holding-genel-mudurluk-yapisi/585 [Erişim: 11 Ekim 2023]

[36] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. "İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik-Araç ve Gereç Rayiç Listeleri." Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, 2024.

[37] Fibrobeton Yapı Elemanları San. ve İnşaat A.Ş. (Ocak 2024).

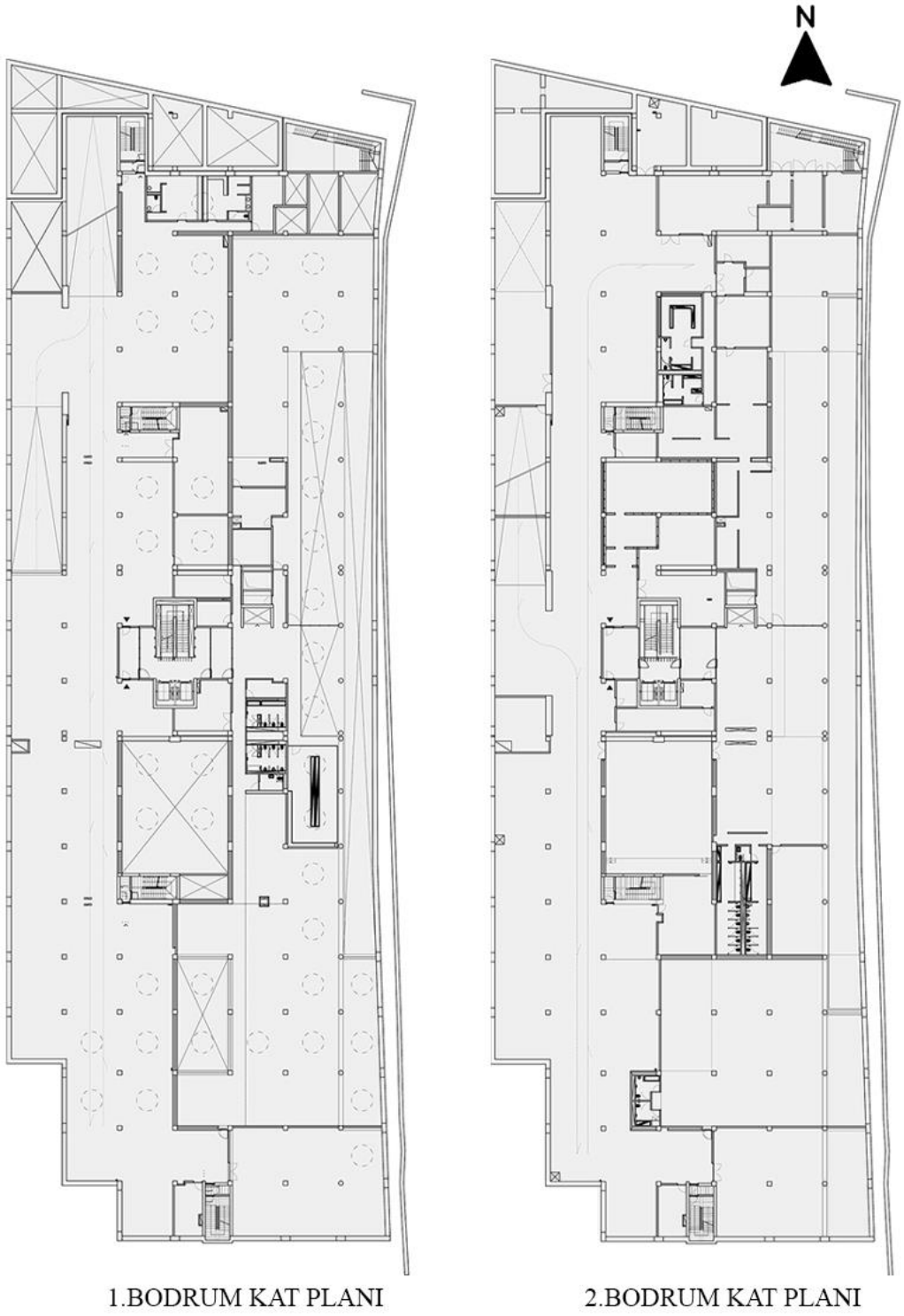
[38] Altaş Cephe ve Alüminyum. (Ocak 2024)

[39] https://www.encazip.com/elektrik-fiyatlari [Erişim: 12 Ocak 2024]

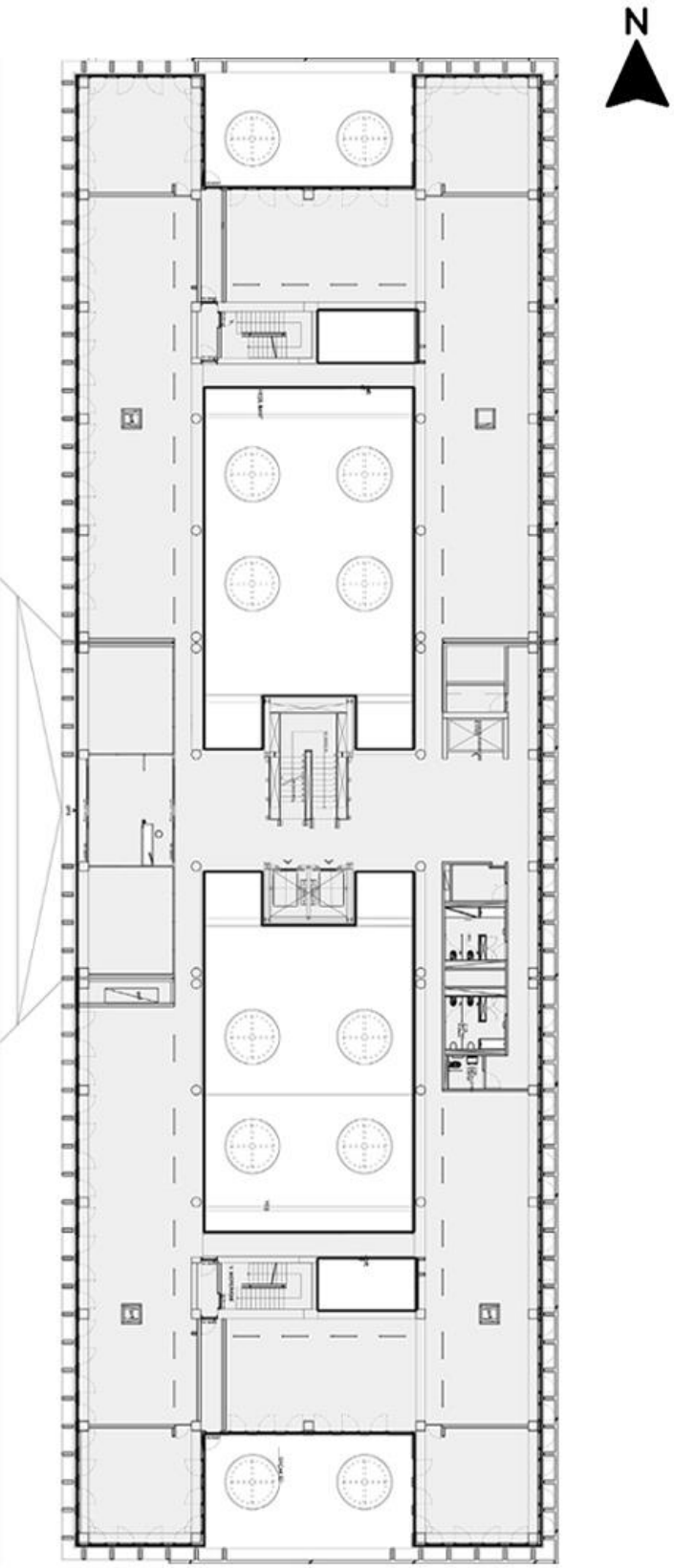
[40] https://portal.enerya.com.tr/DogalGazBirimFiyatlari/index.xhtml?city=07 [Erişim: 12 Ocak 2024]

[41] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. "Kamu Binalarının Enerji Verimli Yenilenmesine Yönelik Rehber." Ankara, Türkiye, Ekim 2020.

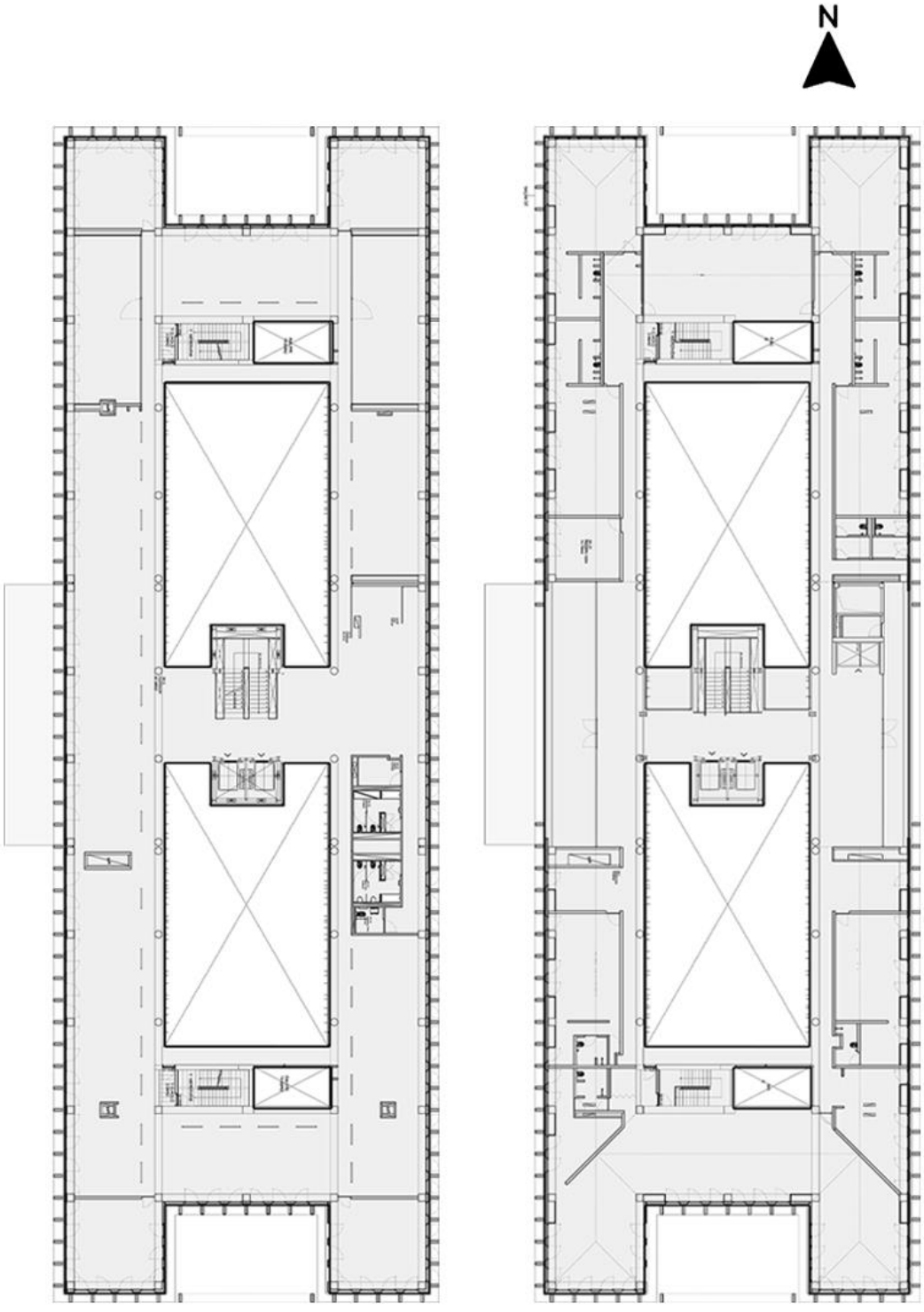
A
MEVCUT YAPININ PLAN ve GÖRÜNÜŞLERİ



Şekil A.1 Mevcut yapının bodrum kat planları



Şekil A.2 Mevcut yapının zemin kat planı



Şekil A.3 Mevcut yapının 1. ve 2. kat planları

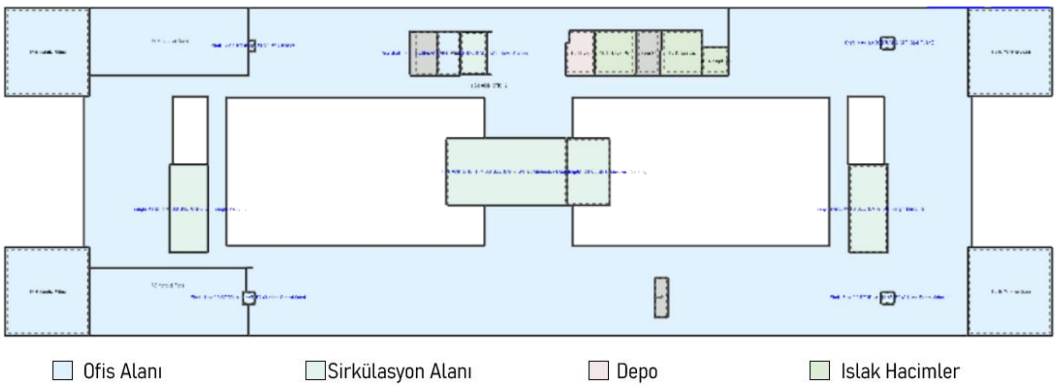


Şekil A.4 Mevcut yapının görünüşleri

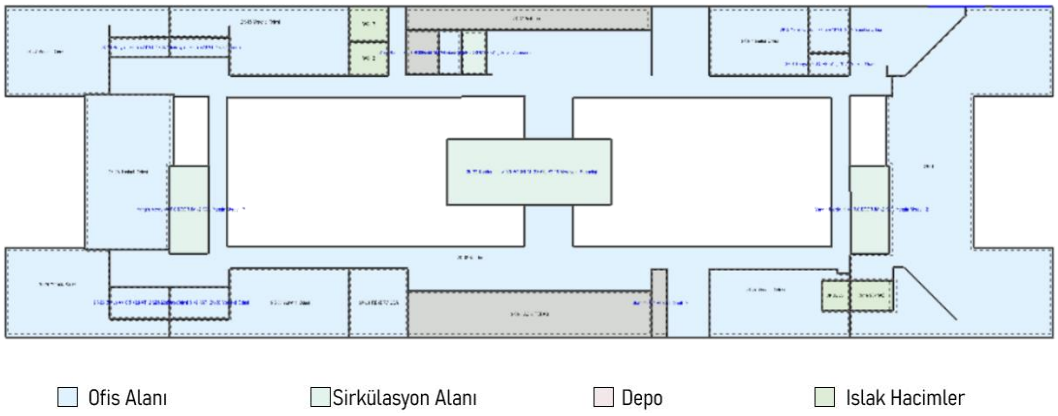
B
DESIGNBUILDER MODELLEMESİNE AİT VERİLER

Tablo A.1 Simülasyona dahil edilen 2023 yılı resmî tatil günleri

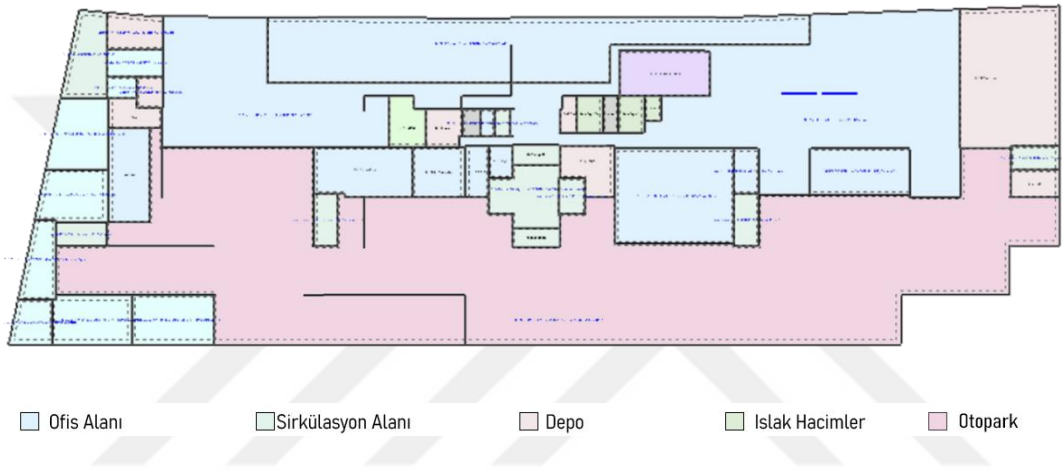
Resmî Tatil Adı	Başlangıç Tarihi	Süre (gün)
Yılbaşı	1 Ocak	1
Ulusal Egemenlik ve Çocuk Bayramı	23 Nisan	1
İşçi Bayramı	1 Mayıs	1
Ramazan Bayramı Arifesi	20 Nisan	0,5
Ramazan Bayramı	21 Nisan	3
Atatürk'ü Anma Gençlik ve Spor Bayramı	19 Mayıs	1
Kurban Bayramı Arifesi	27 Haziran	0,5
Kurban Bayramı	28 Haziran	4
Demokrasi ve Milli Birlik Günü	15 Temmuz	1
Cumhuriyet Bayramı	29 Ekim	1



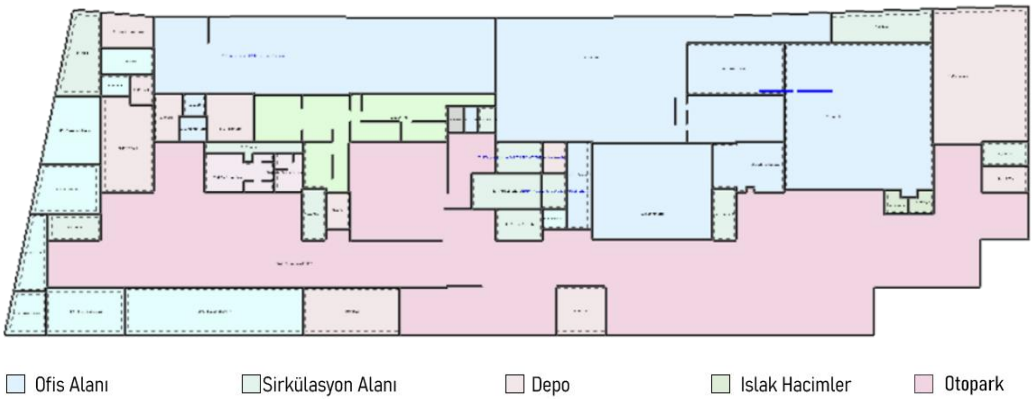
Şekil B.1 Mevcut yapının DesignBuilder modelinde 1. kat planı



Şekil B.2 Mevcut yapının DesignBuilder modelinde 2. kat planı



Şekil B.2 Mevcut yapının DesignBuilder modelinde 1. Bodrum kat planı



Şekil B.3 Mevcut yapının DesignBuilder modelinde 2. bodrum kat planı

C
ENERJİ TÜKETİMİ VE MALİYET HESAPLAMALARI

Tablo C.1 K2 senaryosu için oluşturulan seçeneklerin enerji tüketimleri ve toplam birim fiyatları

K2	Enerji Tüketimi (kWh/yıl)	Enerji Tüketimi (kWh/m^{2}yıl)	Dolu Alan Birim Fiyat (TL/m^2)
K2$_1$	1128256,49	125,75	2134,9
K2$_2$	1123411,50	125,21	2158,91
K2$_3$	1127000,38	125,61	2077,49
K2$_4$	1122334,83	125,09	2137,49
K2$_5$	1117938,44	124,60	2403,96
K2$_6$	1116861,78	124,48	2427,97
K2$_7$	1117310,39	124,53	2346,55
K2$_8$	1116233,72	124,41	2406,55
K2$_9$	1134626,77	126,46	2554,92
K2$_{10}$	1121527,33	125,00	2578,93
K2$_{11}$	1132742,60	126,25	2497,51
K2$_{12}$	1120450,66	124,88	2557,51
K2$_{13}$	1115964,55	124,38	2584,43
K2$_{14}$	**1106364,28**	**123,31**	**2608,44**
K2$_{15}$	1124757,33	125,36	2527,02
K2$_{16}$	1115246,78	124,30	2587,02

Tablo C.2 K2 senaryosu için oluşturulan seçeneklerin maliyet hesaplamaları

K2	Yıllık Enerji Gideri (TL)	Yapı Kabuğu Yapım Maliyeti (TL)	Yapım Maliyeti + 50 Yıllık İşletim Maliyeti (TL)
$K2_1$	2.845.468	3.432.919	145.706.314
$K2_2$	2.832.106	3.471.527	145.076.851
$K2_3$	2.810.827	3.340.604	143.881.963
$K2_4$	2.829.137	3.437.084	144.893.948
$K2_5$	2.817.013	3.865.568	144.716.219
$K2_6$	2.814.044	3.904.176	144.606.367
$K2_7$	2.815.281	3.773.252	144.537.302
$K2_8$	2.812.312	3.869.732	144.485.322
$K2_9$	2.863.036	4.108.311	147.260.096
$K2_{10}$	2.826.910	4.146.919	145.492.438
$K2_{11}$	2.857.840	4.015.996	146.907.975
$K2_{12}$	2.823.941	4.112.476	145.309.534
$K2_{13}$	2.811.569	4.155.763	144.734.238
$K2_{14}$	2.784.882	4.194.372	143.438.466
$K2_{15}$	2.835.818	4.063.448	145.854.347
$K2_{16}$	2.809.590	4.159.928	144.639.429

Tablo C.3 S2 senaryosu için oluşturulan seçeneklerin yıllık toplam enerji tüketimleri

		Yıllık Toplam Enerji Tüketimi (kWh/m^2)					
		$S2_1$	**$S2_2$**	**$S2_3$**	**$S2_4$**	**$S2_5$**	**$S2_6$**
İSTANBUL	Isıtma	424261,50	433078,19	428314,86	438943,91	433374,30	449857,4
	Soğutma	444862,29	423521,41	423260,86	362730,18	416904,40	348892,0
	Aydınlatma	94542,61	94733,45	99869,04	107953,38	100737,61	117693,5
	İç Kazançlar	173802,86	173802,86	173802,86	173802,86	173802,86	173802,8
	Toplam	1137469,2	1125135,9	1125247,6	1083430,3	1124819,1	1090245,9
ANKARA	Isıtma	658930,90	671083,32	666886,84	688581,82	674057,66	673903.93
	Soğutma	274051,66	254328,27	254381,79	200879,64	249493,2	249372.54
	Aydınlatma	95265,65	95440,28	100246,72	107603,59	101149,90	101149.56
	İç Kazançlar	173802,86	173802,86	173802,86	173802,86	173802,86	173802,86
	Toplam	1202051,08	1194654,73	1195318,21	1170867,91	1198503,65	1198228,89
İZMİR	Isıtma	285523,00	295389,08	291467,62	303552,07	298456,42	298390,21
	Soğutma	534150,25	507283,69	508115,22	446318,00	500476,35	500468,65
	Aydınlatma	89823,25	89985,13	94874,81	102030,95	95711,77	95712,10
	İç Kazançlar	173802,86	173802,86	173802,86	173802,86	173802,86	173802,86
	Toplam	1083299,36	1066460,76	1068260,51	1025703,88	1068447,41	1068373,82

Tablo C.4 Senaryolar ile oluşturulan yapı kabuklarının yapım maliyetlerinin hesaplanması

Senaryo	Yapı Kabuğu Bileşeni		Miktar	Birim Fiyat	Maliyet		Toplam (TL)
K1	Prekast Duvar ve Cephe Elemanı	21 cm ısı yalıtımlı	1603 m^2	$175	$280.525	$635.880	19.076.400
		Isı yalıtımsız	1187 m^2	$165	$195.855		
	Pencere (95x237 cm)	6 mm Low e + 6 mm düz cam 12 mm argon gazı Alüminyum doğrama	319 adet	$500,00	$159.500		
K2	Duvar	Alüminyum kaplama Hava boşluğu Taş Yünü 5 cm Gaz beton 13,5 cm İç Sıva	1603 m^2	4200 TL ($140,00)	6.732.600 TL ($224.420)		11.039.100
	Pencere (95x237 cm)	6+6 mm düz cam 12 mm hava boşluğu Alüminyum doğrama	319 adet	$450,00	$143.550		
K1 + K2	Duvar	Alüminyum kaplama Hava boşluğu Taş Yünü 5 cm Gaz beton 13,5 cm İç Sıva	1603 m^2	4200 TL	6.732.600 TL		11.517.600
	Pencere (95x237 cm)	6 mm Low e + 6 mm düz cam 12 mm argon gazı Alüminyum doğrama	319 adet	$500,00	$159.500		
K3	Prekast Duvar ve Cephe Elemanı	21 cm ısı yalıtımlı	665 m2	$175	$116.375	$614.730	18.441.900
		20 x 60 cm	1187 m2	$165	$195.855		
	Pencere (h =251 cm)	6+6 mm düz cam 12 mm hava boşluğu Alüminyum doğrama	1100 m	$275,00	$302.500		
K4	Prekast Duvar ve	21 cm ısı yalıtımlı	2204 m^2	$175	$385.700	$753.995	22.619.850

		Cephe Elemanı	20 x 60 cm	1187 m2	$165	$195.855		
		Pencere (95x190 cm)	6+6 mm düz cam 12 mm hava boşluğu Alüminyum doğrama	479 adet	$360,00	$172.440		
S1		Prekast Duvar	21 cm ısı yalıtımlı	1603 m^2	$175	$280.525	$424075	12.722.250
		Pencere (95x237 cm)	6+6 mm düz cam 12 mm hava boşluğu Alüminyum doğrama	319 adet	$450,00	$143.550		
S2	S2-2	Prekast Duvar	21 cm ısı yalıtımlı	1603 m^2	$175	$280.525	$507.075	15.212.250
		Pencere (95x237 cm)	6+6 mm düz cam 12 mm hava boşluğu Alüminyum doğrama	319 adet	$450,00	$143.550		
		Güneş Kırıcı	150'lik güneş kırıcı profilleri ile	1660 m	$50	$83.000		
	S2-4	Prekast Duvar	21 cm ısı yalıtımlı	1603 m^2	$175	$280.525	$939.075	28.172.250
		Pencere (95x237 cm)	6+6 mm düz cam 12 mm hava boşluğu Alüminyum doğrama	319 adet	$450,00	$143.550		
		Güneş Kırıcı	150'lik güneş kırıcı profilleri ile	10300 m	$50	$515.000		
S3		Prekast Duvar	21 cm ısı yalıtımlı	665 m2	$175	$116.375	418.875	12.566.250
		Pencere (h =251 cm)	6+6 mm düz cam 12 mm hava boşluğu Alüminyum doğrama	1100 m	$275,00	$302.500		
S4		Prekast Duvar	21 cm ısı yalıtımlı	2204 m^2	$175	$385.700	$558.140	16.744.200
		Pencere (95x190 cm)	6+6 mm düz cam 12 mm hava boşluğu Alüminyum doğrama	479 adet	$360,00	$172.440		

Tablo C.5 Mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin İstanbul ili için yıllık enerji harcamalarının hesaplanması

İstanbul- Yıllık Enerji Harcaması (TL)					
Durum		**Doğal Gaz**	**Elektrik**		**Toplam**
		Isıtma	**Soğutma**	**Aydınlatma**	
Mevcut Durum		388.523,51	1.922.650,80	449.560,49	2.760.734,80
Yapı Kabuğunun Kesit ve Boyut Özelliklerinin Değiştirilmesi	K1	362.343,40	1.865.348,55	452.621,82	2.680.313,76
	K2	364.974,54	1.970.194,39	449.712,96	2.784.881,90
	K1+K2	338.225,37	1.914.836,76	452.664,44	2.705.726,57
	K3	392.940,38	2.317.802,89	414.040,24	3.124.783,52
	K4	389.844,33	1.667.171,09	461.100,70	2.518.116,11
Yapı Kabuğunun Konumunun Değiştirilmesi	S1	270.368,67	2.040.073,55	434.569,54	2.745.011,76
	$S2_2$	388.885,61	1.955.652,46	437.441,18	2.781.979,26
	$S2_4$	394.152,78	1.674.942,88	498.485,53	2.567.581,19
	S3	358.559,49	2.893.263,99	399.361,77	3.651.185,26
	S4	374.090,19	1.872.186,20	437.236,94	2.683.513,34

Tablo C.6 Mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin Ankara ili için yıllık enerji harcamalarının hesaplanması

Ankara- Yıllık Enerji Harcaması (TL)					
Durum		**Doğal Gaz**	**Elektrik**		**Toplam**
		Isıtma	**Soğutma**	**Aydınlatma**	
Mevcut Durum		603.118,20	1.149.061,78	451.997,05	2.204.177,04
Yapı Kabuğunun Kesit ve Boyut Özelliklerinin Değiştirilmesi	K1	561.835,21	1.105.919,08	458.334,76	2.126.089,05
	K2	562.587,08	1.189.424,77	452.587,37	2.204.599,22
	K1+K2	523.054,70	1.147.900,54	455.331,98	2.126.287,22
	K3	612.581,47	1.500.472,50	419.575,78	2.532.629,74
	K4	604.851,98	928.602,73	462.209,43	1.995.664,14

Yapı Kabuğunun Konumunun Değiştirilmesi	S1	584.982,45	1.291.652,30	437.082,76	2.313.717,51
	$S2_2$	602.604,00	1.174.386,22	440.705,04	2.217.695,25
	$S2_4$	618.316,90	927.581,83	496.870,34	2.042.769,06
	S3	564.122,25	2.048.261,94	406.166,50	3.018.550,68
	S4	581.142,99	1.105.409,20	440.111,40	2.126.663,59

Tablo C.7 Mevcut yapı ve senaryo seçeneklerinin İzmir ili için yıllık enerji harcamalarının hesaplanması

İzmir- Yıllık Enerji Harcaması (TL)					
Durum		**Doğal Gaz**	**Elektrik**		**Toplam**
		Isıtma	**Soğutma**	**Aydınlatma**	
Mevcut Durum		264.724,49	2.310.186,02	426.602,75	3.001.513,26
Yapı Kabuğunun Kesit ve Boyut Özelliklerinin Değiştirilmesi	K1	246.476,62	2.250.897,19	431.652,32	2.929.026,13
	K2	246.941,67	2.346.775,37	427.257,06	3.020.974,11
	K1+K2	228.157,67	2.280.774,26	429.700,93	2.938.632,86
	K3	263.340,18	2.655.837,16	397.036,53	3.316.213,87
	K4	270.368,67	2.040.073,55	434.569,54	2.745.011,76
Yapı Kabuğunun Konumunun Değiştirilmesi	S1	250.177,66	2.504.607,80	412.073,15	3.166.858,61
	$S2_2$	265.246,71	2.342.433,17	415.515,34	3.023.195,21
	$S2_4$	272.576,72	2.060.918,00	471.138,11	2.804.632,83
	S3	227.156,50	3.361.764,95	385.063,51	3.973.984,96
	S4	251.476,59	2.283.762,08	412.495,66	2.947.734,33

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Sönmez, A., Zorer Gedik, G., "Yapı Kabuğu Konumunun Enerji Tüketimine Etkisi: Ofis Yapısı Örneği", 12. Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Bildiri Kitabı, sf. 15-22, İstanbul, Türkiye. 23-25 Aralık 2023, ISBN: 978-625-6471-17-7