
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

FARKLI İKLİM BÖLGELERİNDE KONUTLARDAKİ ÇATI ŞEKLİ VE BİNA YÖNÜNÜN ENERJİ TÜKETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Saeed MORSALİ

DOKTORA TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞUBAT 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Saeed MORSALİ

20/01/2025

FARKLI İKLİM BÖLGELERİNDE KONUTLARDAKİ ÇATI ŞEKLİ VE BİNA YÖNÜNÜN ENERJİ TÜKETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

(Doktora Tezi)

Saeed MORSALİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2025

ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde (çok kurak, kurak, yarı kurak, nemli, yarı nemli ve çok nemli) farklı çatı tiplerinin (düz, beşik ve kırma) ve bina yönelimlerinin yalıtımlı ve yalıtımsız binaların enerji verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bulgular, mimari tasarım ve enerji optimizasyonuna ilişkin önemli bilgiler ortaya koymaktadır. Çatı tipi enerji tüketimini önemli ölçüde etkilemektedir. Beşik çatılar, özellikle Ankara (70,79 GJ) ve Giresun (64,31 GJ) gibi kurak ve nemli bölgelerde düz ve kırma çatılardan daha düşük enerji kullanımı gösterirken, düz çatılar özellikle yüksek güneş radyasyonu bölgelerinde (örneğin, Adana: 94,81 GJ) en yüksek enerji tüketimine sahiptir. Çalışma, yalıtımın Ankara gibi kuru iklimlerde gece soğutmasını engelleyerek enerji tüketimini artırabileceğini, ancak Giresun ve Rize gibi nemli bölgelerde enerji kullanımını %10'a kadar azaltabildiğini göstermiştir. Bina yönelimi, Adana'daki düz çatılı binalarda %17,83'e varan enerji tasarrufu sağlayarak önemli bir etkiye sahip olmuştur. Kuru iklimlerde, soğutma yüklerini dengelemek için 90° ve 100° gibi optimum yönelimler tercih edilirken, nemli bölgelerde havalandırmayı ve ısı dağılımını iyileştirmek amacıyla 70° ile 100° arasındaki yönelimler daha verimli sonuçlar vermiştir. Araştırma, kuru iklimlerde uygun olmayan yalıtımın gece soğutmasını engelleyerek enerji tüketimini artırabileceğini, buna karşılık nemli iklimlerde yalıtımın performansı artırabileceğini göstermektedir. Bu durum, her bölgenin iklimine uygun yalıtım stratejilerine duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Çalışma ayrıca, enerji tüketimini azaltmak için beşik çatı tasarımını ve optimize edilmiş bina yönelimlerini önermekte, bina tasarımında bölgesel enerji verimliliği kriterlerinin dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Bilim Kodu	:	90306
Anahtar Kelimeler	:	Bina enerji verimliliği, çatı şekilleri, bina yönelimi, iklim bölgeleri
Sayfa Adedi	:	104
Danışman	:	Dr. Öğr. Üyesi Feriha YILDIRIM

THE EFFECTS OF ROOF SHAPE AND BUILDING ORIENTATION ON ENERGY CONSUMPTION IN RESIDENTIAL BUILDINGS AMONG DIFFERENT CLIMATE ZONES

(Ph. D. Thesis)

Saeed MORSALİ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2025

ABSTRACT

This study analyzes the impact of roof types (flat, gable, and hip) and orientations on the energy efficiency of insulated and non-insulated buildings across Turkey's diverse climatic regions (extremely arid, arid, semi-arid, humid, semi-humid, and very humid). The findings reveal key insights into architectural design and energy optimization. Roof type significantly influences energy consumption. Gable roofs showed lower energy use than flat and hip roofs, particularly in arid and humid areas like Ankara (70.79 GJ) and Giresun (64.31 GJ), while flat roofs had the highest energy consumption, especially in high solar radiation regions (e.g., Adana: 94.81 GJ). The study also found that insulation could increase energy consumption in dry climates, such as in Ankara, due to insulation interfering with nighttime cooling, though insulation reduced energy use in humid regions like Giresun and Rize by up to 10%. Building orientation optimization played a crucial role, with up to 17.83% energy savings in Adana for flat-roofed buildings. Dry climates benefited from optimal orientations (90° and 100°) to balance cooling loads, while humid areas saw improvements with orientations between 70° and 100° to enhance ventilation and heat distribution. The research emphasizes the need for climate-specific insulation strategies, as inappropriate insulation in dry climates may hinder cooling, while it improves performance in humid climates. The study recommends gable roofs and optimized orientations for reducing energy consumption and advocates for region-specific energy performance guidelines in building design.

Science Code	:	90306
Key Words	:	Building's energy efficiency, roof shapes, building orientation, climate
Page Number	:	104
Supervisor	:	Assoc. Prof. Dr. Feriha YILDIRIM

TEŞEKKÜR

İlk olarak, tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Feriha YILDIRIM'a, bu araştırma sürecindeki sarsılmaz desteği, yol gösterici rehberliği ve teşviki için derin şükranlarımı sunarım. Kendisi, akademik gelişimimde paha biçilmez bir rol oynamış, bu tezin arkasındaki yönlendirici güç olmuştur.

Tez izleme komitemin değerli üyeleri Prof. Dr. Gamze YÜCEL IŞILDAR ve Doç. Dr. Can Baran AKTAŞ'a, ayrıca tez savunma komitemin değerli üyelerine yapıcı eleştirileri ve kıymetli önerileri ile bu araştırmayı en iyi formuna ulaştırmama katkıda bulundukları için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman hatırlayacağım emekleri ve bana sundukları eğitim imkanları sayesinde bugün bu akademik başarıya ulaştığımı bildiğim annem Zerrintaç'a ve babam Hücetullah'a ve abim Hamid'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, sevgili hayat arkadaşım Jale'ye özel teşekkürlerimi iletmek istiyorum. Hayatıma kattığı varlığıyla bana güç veren, bu doktora sürecindeki sınırsız teşviki, anlayışı ve sabrıyla tüm zorlukların üstesinden gelmemi sağlayan eşime minnettarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELER LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

HARİTALARIN LİSTESİ xiii

SİMGELER VE KISALTMALAR xiv

1. GİRİŞ 1

2. GENEL BILGILER 7

2.1. Kavramsal Çerçeve 7

2.1.1. Enerji, iklim değişikliği ve küresel endişeler 7

2.1.2. İnşaat sektörü, enerji ve enerji verimliği yasaları 9

2.1.3. Binalarda enerji simülasyonu 12

2.1.4. Net sıfır enerji binalar 14

2.1.5. Binaların enerji tüketimini etkileyen faktörler 15

2.1.6. Binalarda çatı şekli ve önemi 17

2.1.7. Farklı iklimlerde bina yönü ve enerji tüketimi 18

2.1.8. Farklı iklimlerde binaların enerji tüketimi 18

2.1.9. Bina bilgi modellemesi (BİM) 19

2.2. İlgili Araştırmalar 22

3. MATERYAL VE METOT 27

3.1. İklim Sınıflandırması 27

Sayfa

3.2. Şehir Seçimi 31
3.3. Prototip Tek Katlı Konut Tasarımı 33
3.4. Bina Modeli Ölçüleri 34
3.5. Model Binada Çatı Tasarımı 37
3.6. Enerji Ayarları ve Analiz Metodu 39
3.7. Yalıtım (Mantolama) Özellikleri 42
3.8. Bina Yönü 44
4. ANALİZLER VE BULGULAR 47
4.1. Çok Kurak İklim Bölgesi 47
4.1.1. Iğdır için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi 47
4.1.2. Şanlıurfa için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi 49
4.2. Çok Nemli İklim Bölgesi 51
4.2.1. Giresun için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi 51
4.2.2. Rize için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi 52
4.2.3. Zonguldak için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi 54
4.3. Kurak İklim Bölgesi 56
4.3.1. Adıyaman için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi 56
4.3.2. Ankara için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi 58
4.3.3. Konya için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi 60
4.4. Yarı Nemli İklim Bölgesi 62
4.4.1. Antalya için yalıtımsız model analizi 62
4.4.2. Bursa için yalıtımsız model analizi 63
4.4.3. Erzurum için yalıtımsız model analizi 64
4.5. Nemli İklim Bölgesi 65

Sayfa

4.5.1. Bartın için yalıtımsız model analizi 66
4.5.2. İstanbul için yalıtımsız model analizi 67
4.5.3. Samsun için yalıtımsız model analizi 68
4.6. Yarı Kurak İklim Bölgesi 68
4.6.1. Eskişehir için yalıtımsız model analizi 69
4.6.2. Adana için yalıtımsız model analizi 70
4.6.3. İzmir için yalıtımsız model analizi 71
4.7. Yalıtımsız Modeller Sonuçlar Analizi 72
4.7.1. Çok kurak iklim bölgesi sonuç analizi 72
4.7.2. Kurak iklim bölgesi sonuç analizi 72
4.7.3. Yarı kurak iklim bölgesi sonuç analizi 74
4.7.4. Nemli iklim bölgesi sonuç analizi 74
4.7.5. Yarı nemli iklim bölgesi sonuç analizi 75
4.7.6. Çok nemli iklim bölgesi sonuç analizi 76
4.8. Yalıtımlı Modeller Sonuç Analizi 76
4.8.1. Çok nemli iklim bölgesi sonuç analizi 77
4.8.2. Çok kurak iklim bölgesi sonuç analizi 77
4.8.3. Kurak iklim bölgesi sonuç analizi 78
4.9. Sonuçların Karşılaştırma Analizi 80
5. TARTIŞMA 85
6. SONUÇ 91
KAYNAKLAR 93
ÖZGEÇMİŞ 103

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Yapılan ilgili araştırmalar (literatür taraması)..... 24

Çizelge 3.1. Aydeniz formülüne göre iklim özelliği adları 30

Çizelge 3.2. Aydeniz formülüne göre incelenen şehirlerin listesi ve sınıflandırması 31

Çizelge 3.3. İncelenen şehirler listesi ve sınıfları 33

Çizelge 3.4. Revit modeline göre duvarlar, tavan ve temel özellikleri 35

Çizelge 4.1. Çok kurak şehirlerin analiz sonuçları 72

Çizelge 4.2. Kurak şehirlerin analiz sonuçları 73

Çizelge 4.3. Yarı-kurak şehirlerin analiz sonuçları 74

Çizelge 4.4. Nemli şehirlerin analiz sonuçları 75

Çizelge 4.5. Yarı-nemli şehirlerin analiz sonuçları 75

Çizelge 4.6. Çok nemli şehirlerin analiz sonuçları 76

Çizelge 4.7. Çok nemli şehirlerin (yalıtımlı modeller) analiz sonuçları..... 77

Çizelge 4.8. Çok kurak şehirlerin (yalıtımlı modeller) analiz sonuçları..... 78

Çizelge 4.9. Kurak şehirlerin (yalıtımlı modeller) analiz sonuçları..... 78

Çizelge 4.10. En verimli yönelimler (yalıtımsız modeller) karşılaştırması 81

Çizelge 4.11. En verimli yönelimler yalıtımlı ve yalıtımsız karşılaştırması..... 81

Çizelge 4.12. Ortalama enerji tüketimi (yalıtımsız modeller) karşılaştırması 82

Çizelge 4.13. En verimli yönelimlerin karşılaştırması (yalıtımlı ve yalıtımsız)..... 83

Çizelge 4.14. En verimli ve en verimsiz yönelimler farkı 84

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Türkiye'deki enerji kullanımı 10

Şekil 2.2. Bina enerji tüketimi analizlerinde kullanılan yazılımlar ve uygulamalar..... 14

Şekil 3.1. Aydeniz iklim sınıflandırma formülü 29

Şekil 3.2. Bina planı ve ölçüleri. 35

Şekil 3.3. Duvar özellikleri 36

Şekil 3.4. Düz çatı bina model 37

Şekil 3.5. Beşik çatı bina modeli 37

Şekil 3.6. Kırma çatı model 38

Şekil 3.7. Tasarlanan çatıların özellikleri. 39

Şekil 3.8. Revit yazılımında kullanılan enerji ayarı. 42

Şekil 3.9. Yalıtım özellikleri 44

Şekil 4.1. Iğdır şehri yalıtımlı modeller için enerji tüketim analizi 47

Şekil 4.2. Iğdır şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi 48

Şekil 4.3. Şanlıurfa şehri yalıtımlı modellerin enerji tüketim analizi 49

Şekil 4.4. Şanlıurfa şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi 50

Şekil 4.5. Giresun şehri yalıtımlı modellerin enerji tüketim analizi 51

Şekil 4.6. Giresun şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi 52

Şekil 4.7. Rize şehri yalıtımlı modellerin enerji tüketim analizi 53

Şekil 4.8. Rize şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi 54

Şekil 4.9. Zonguldak şehri yalıtımlı modellerin enerji tüketim analizi 55

Şekil 4.10. Zonguldak şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi 56

Şekil 4.11. Adıyaman şehri yalıtımlı modellerin enerji analizi..... 57

Şekil 4.12. Adıyaman şehri yalıtımsız modellerinin enerji tüketim analizi..... 58

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.13. Ankara şehri yalıtımlı modellerin enerji tüketim analizi..... 59

Şekil 4.14. Ankara şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi..... 60

Şekil 4.15. Konya şehri yalıtımlı modellerin enerji tüketim analizi..... 61

Şekil 4.16. Konya şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi..... 62

Şekil 4.17. Antalya şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi..... 63

Şekil 4.18. Bursa şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi..... 64

Şekil 4.19. Erzurum şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi 65

Şekil 4.20. Bartın şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi 66

Şekil 4.21. İstanbul şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi..... 67

Şekil 4.22. Samsun şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi..... 68

Şekil 4.23. Eskişehir şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi..... 69

Şekil 4.24. Adana şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi..... 70

Şekil 4.25. İzmir şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi..... 71

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita **Sayfa**

Harita 3.1. Türkiye'nin iklim bölgeleme sınıflandırması; Aydeniz yöntemi 31

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
CO_2	Karbondioksit
GJ	Gigajoule
Gs	Gerçek güneşlenme oranı (%)
Gt	Gigaton
kWh	Kilowatt-saat
m^2	Metre kare
MJ	Megajul
Nks	Nemlilik katsayısı
Nn	Nispi nem
Np	Nemli periyot %'si
S	Sıcaklık (°C)
U	Isı Transfer Katsayısı
Y	Yağış (cm)

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AB	Avrupa birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AEC	Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat
ASHRAE	Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Derneği
BEP	Enerji Performansı Yönetmeliği
BİM	Bina Bilgi Modellemesi
BM	Birleşik Milletler
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım

Kısaltmalar	Açıklamalar
CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğ
EPW	EnergyPlus Weather
EU	Avrupa birliği
GHG	Sera Gazı Emisyonları
HVAC	İklimlendirme, Isıtma ve Soğutma
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
LEED	Enerji ve Çevre Tasarımında Önderlik
NSEB	Net Sıfır Enerjili Binalar
RCP	Temsilci Konsantrasyon Yolu
TMY	Tipik Meteorolojik Yıl
UETM	Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UNFCCC	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçevesi
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü

1. GİRİŞ

Enerji dönüşümü, çevre üzerinde geniş kapsamlı etkilere sahip olmasına rağmen, sera gazı emisyonlarından kaynaklanan uzun vadeli küresel iklim değişikliği, enerji kullanımıyla ilgili en önemli çevre sorunu olarak kabul edilmektedir. Sera gazları, Dünya yüzeyinde alınan ve yansıtılan güneş ışınımını etkilemezken, uzaya doğru yayılan termal radyasyonun bir kısmını tutarak sera etkisine neden olur. Doğal süreçlerle gerçekleştiğinde bu etki sonucunda gezegenimizde yaşamın gelişimi için uygun sıcaklık sağlasa da, antropojenik kökenli sera gazı emisyonlarının bu miktarların üzerine eklenmesiyle, gezegenimizin ortalama sıcaklığı hızla artmaya başlamıştır. Bu süreçlere bağlı olarak ortaya çıkan "küresel iklim değişikliği" (ne ölçüde değiştiği tartışılsa da) akademik çevrede yaygın olarak kabul görülmektedir. Konuya odaklananlar sadece akademisyenler olmayıp, kamuoyu da iklimsel süreçlerdeki olumsuzluklardan günlük yaşamında etkilendikçe, durumun ciddiyetinin giderek daha fazla farkına varmaktadır.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC) göre, önümüzdeki yıllarda ortalama küresel sıcaklıkta öngörülen artış çok sayıda istenmeyen sonuca yol açacaktır [1]. Bu olumsuz etkilerin başlıca nedenlerinden biri, hızlı sanayileşme ve nüfus artışına bağlı olarak sera gazı (GHG) emisyonlarındaki artış olup [1]; sanayileşme arttıkça atmosferdeki CO_2 ve diğer sera gazlarının emisyonu artmaya devam etmektedir [2]. Nüfus ve endüstriyel faaliyetlerdeki eş zamanlı büyüme, küresel enerji tüketimini önemli ölçüde artırmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre, CO_2 emisyonlarında enerji tüketiminin payı, küresel olarak toplam sera gazı emisyonlarının dörtte üçünden fazlasını oluşturmaktadır [3]. Amerikan Birleşik Devletleri (ABD) Enerji Bilgi İdaresi'nin (EIA) projeksiyonuna göre, küresel nüfus artışı ve kentleşme nedeniyle enerji tüketiminin 2050 yılına kadar %50'ye varan oranda artması beklenmektedir [4]. Bu faktörlerin etkileşimi, insan faaliyetleri ve iklim değişikliği arasındaki karmaşık ilişkinin altını çizmektedir. Hızlı kentleşme, genişleyen ulaşım ağları ve artan enerji talepleri atmosferde sera gazlarının artmasına neden olarak ısıyı hapsetmekte ve gezegenin ortalama sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır. Bu ısınmanın sonuçları, buzulların erimesinden başlayarak, daha sık ve şiddetli hava olayları, yükselen deniz seviyeleri ve ekosistemlerdeki bozulmalara kadar uzanmaktadır [1].

Sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik uluslararası çabalar, Kyoto Protokolü, Paris Anlaşması ve Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi dünya çapında çeşitli anlaşmaların uygulanmasına yol açmıştır. Bu anlaşmalar, sanayi öncesi CO_2 seviyelerine ulaşmak için uluslar arasında tutarlı ve güçlü bir işbirliği gerektirmektedir. Yenilenebilir enerji altyapısını genişletme çabaları, teknoloji ve politika desteğindeki ilerlemelerle birleştiğinde, küresel enerji dönüşümünü daha sürdürülebilir ve esnek bir geleceğe doğru yönlendirmeye devam edecektir. Sera gazı salımına en büyük katkı, enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır. Bu durum, enerji konusunu daha da kritik bir hale getirmektedir.

Enerji, toplumların ve altyapının şekillendirilmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Fosil yakıtların sera gazı emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunduğunun kabul edilmesiyle, bunların yerine geçebilecek yenilenebilir enerji kaynakları üzerine ve daha az enerji gereksinimi olan uygulamalar üzerine (örneğin binaların şekli, kullanılan malzemelerin niteliği vb) kapsamlı araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Enerji yoğun sektörler dikkate alındığında; IEA'ya göre, 2022 yılında binalar küresel enerjinin %35'ini tüketmiştir [3], bu da binaların dünyadaki enerji tüketimindeki önemini göstermektedir.

Tarih boyunca binaların rolü, dünya çapında toplumların, ekonomilerin ve kültürlerin şekillenmesinde çok önemli olmuştur. Binalar, zamanlarının teknolojik, sosyal ve sanatsal başarılarını yansıtan, insan medeniyetinin fiziksel tezahürleri olarak hizmet vermektedir. Eski uygarlıklardan modern kent peyzajlarına kadar mimari, yapılı çevrenin tanımlanmasında ve insan faaliyetlerinin kolaylaştırılmasında merkezi bir rol oynamıştır. Antik çağda Mısır piramitleri, Yunanistan'daki Parthenon ve Roma'daki Colosseum gibi anıtsal yapılar sadece kendi medeniyetlerinin mimari hünerlerini sergilemekle kalmamış, aynı zamanda güç, din ve kültür sembolleri olarak da hizmet etmiştir. Ortaçağ kaleleri ve katedralleri yalnızca tahkimat ve ibadet yerleri değil, aynı zamanda sosyal ve ekonomik yaşamın da merkezleri olmuş ve çevrelerindeki topluluklar üzerinde önemli bir etkiye sahip olmuşlardır. Rönesans döneminde, mimari yenilikler ve klasik tarzların yeniden canlanması, Floransa Katedrali ve Aziz Petrus Bazilikası gibi binaların sanatsal başarının ikonik simgeleri haline gelmesiyle kültürel ve entelektüel bir gelişme dönemini başlatmıştır. Sanayi Devrimi, yapı malzemeleri ve inşaat tekniklerinde bir dönüşüm yaratarak gökdelenlerin yükselişine ve kentleşmeye yol açmıştır.

Günümüzde binalar günlük hayatımızı şekillendirmeye devam etmekte; yaşamak, çalışmak, öğrenmek ve sosyalleşmek için alanlar sağlamaktadır. Sürdürülebilir mimari ve yeşil bina uygulamaları, kaynak tüketimini en aza indirmeyi ve karbon emisyonlarını azaltmayı amaçlayan çevresel zorluklara yanıt olarak ortaya çıkmıştır. Binalar sadece barınma veya kullanım amaçlı yapılar olmanın ötesine geçer; aynı zamanda tarih, kültür ve kimliğin birer yansımasıdır. Toplumların kolektif hafızasını koruyarak, insan deneyiminin zenginleşmesine katkıda bulunurlar. Akademik alanda ise mimarlık çalışmaları; tarih, mühendislik, sosyoloji ve çevre bilimi gibi farklı disiplinleri kapsayarak yapılı çevrenin çok yönlü ve disiplinler arası doğasını yansıtır. Bu nedenle binalar uzun yıllardır akademisyenlerin ilgi alanına girmektedir. Mimarlık, toplum ve çevre arasındaki karmaşık etkileşimi anlamaya çalışmakta ve binaların insan değerlerini, isteklerini ve davranışlarını nasıl şekillendirdiğine ve bunlar tarafından nasıl şekillendirildiğine dair çalışmalar yürütülmektedir. [5]. Binalar ve enerji tüketimi arasındaki ilişki, binaların küresel enerji dinamiklerindeki önemli rolünü yansıtan önemli bir bilimsel araştırma konusu olmuş ve akademisyenler disiplinler arası araştırmalar yoluyla binalar ve enerji tüketimi arasındaki karmaşık ilişkiyi anlamaya odaklanmıştır [6]. Mimari ve mühendislik çalışmaları, enerji verimliliğini artırmak ve binaların çevresel etkisini azaltmak için tasarım stratejilerini ve teknolojilerini araştırmaktadır. Sosyoekonomik analizler [7], bina sakinleri arasında enerji kullanım davranışını etkileyen gelir düzeyleri [8], yaşam tarzı seçimleri [9] ve kültürel normlar [10] gibi faktörleri incelemektedir. Bu konudaki çevre bilimi araştırmaları ise sera gazı emisyonları, hava kirliliği ve kaynakların tükenmesi de dahil olmak üzere binalardaki enerji tüketiminin çevresel sonuçları üzerinde odaklanmaktadır.

Yapılı çevre, enerji teknolojilerindeki ve toplumsal ihtiyaçlardaki ilerlemelerle birlikte gelişmektedir. Eski uygarlıklarda, binalar öncelikle yerel olarak mevcut malzemeler ve iç mekan iklimlerini düzenlemek için pasif tasarım stratejileri kullanılarak inşa edilmiş ve harici enerji girdilerine olan ihtiyacı en aza indirmiştir [11]. Ancak, kentleşme ve sanayileşme hızlandıkça, nüfus artışı, ekonomik genişleme ve teknolojik yenilik gibi faktörlerin etkisiyle binalarda enerji talebi de artmıştır. Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC) sistemlerinin yanı sıra elektrikli aydınlatma ve cihazların yaygın olarak benimsenmesi, özellikle kentsel alanlarda binalarda enerji tüketimini önemli ölçüde artırmıştır. Binaların çevresel etkilerini azaltma çabaları, yeşil bina standartlarının, enerji verimliliği yönetmeliklerinin ve yenilenebilir enerji entegrasyon stratejilerinin geliştirilmesine yol açmıştır. LEED (Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik) sertifikası [12],

Energy Star derecelendirmeleri [13] ve pasif ev tasarım [14] ilkeleri gibi girişimler enerji verimli bina uygulamalarını ve yenilenebilir enerjinin benimsenmesini teşvik etmektedir. Ayrıca, bina otomasyonu, akıllı şebeke teknolojileri ve enerji yönetim sistemlerindeki gelişmeler, enerji kullanımını optimize etmek ve binalardaki atıkları azaltmak için fırsatlar sunmaktadır.

Binalarda enerji tüketimini etkileyen en önemli faktörlerden biri, şekil, yönelim ve yalıtım özellikleri de dahil olmak üzere yapılarının fiziksel özellikleridir [15]. Binaların fiziği, özellikle de termal performansları, enerji tüketimi üzerinde derin bir etkiye sahiptir. Duvarlar, çatılar, pencereler ve kapılardan oluşan bina kabuğu, iç ve dış ortamlar arasındaki ısı transferini düzenler [16]. Binaların şekli ve yönü de enerji performanslarını etkiler. Bir binanın güneşe göre yönelimi, hem ısıtma hem de soğutma yüklerini etkileyen güneş radyasyonuna maruz kalmasını etkiler. Örneğin, güneye bakan büyük pencereleri olan binalar kış aylarında pasif güneş ısıtmasından faydalanabilir, ancak yeterli gölgeleme olmadığında ise yaz aylarında aşırı ısınma yaşayabilir. Uygun bina yönelimi, güneş kırıcı cihazlar gibi pasif tasarım stratejileriyle birlikte doğal ışık ve havalandırmayı optimize ederken ısıtma ve soğutma için enerji tüketimini en aza indirebilir [17].

Ayrıca, bir binanın şekli (aerodinamiğini ve rüzgara maruz kalmasını etkileyerek) HVAC sistemleri için enerji kullanımını etkileyebilir. Uzun, dar binalar artan rüzgar yükleri ve basınç farkları ile karşılaşabilir, bu da havalandırma ve sıcaklık kontrolü için daha yüksek enerji taleplerine yol açabilir. Buna karşılık, aerodinamik şekilli ve daha az sayıda kata sahip kompakt binalar rüzgar direncini azaltabilir ve enerji verimliliğini artırabilir (özellikle de tek katlı yapılar) [18].

Ayrıca, bir binanın yapımında kullanılan yalıtımın türü ve kalitesi, enerji performansını belirlemede kritik faktörlerdir [19]. Fiberglas, selüloz, köpük veya yansıtıcı bariyerler gibi yalıtım malzemeleri duvarlar, çatılar ve zeminler yoluyla ısı transferini azaltmaya yardımcı olarak enerji kayıplarını en aza indirir ve ısıtma ve soğutma maliyetlerini düşürür. Doğru şekilde uygulanan yalıtım, sadece termal konforu artırmakla kalmaz, aynı zamanda enerji tüketimiyle ilişkili sera gazı emisyonlarını azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe de katkıda bulunur.

Binalarda enerji verimliliğinin sağlanmasında ve binaların fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesinde en önemli araçlardan biri, bahsedilen tüm faktörlerin büyüklüğünü ve hassasiyetini araştırmak için simülasyon araçlarının kullanılmasıdır. Bina Bilgi Modellemesi (BİM), binaların tasarlanma, inşa edilme ve işletilme biçiminde devrim yaratarak enerji performansını ve sürdürülebilirliği iyileştirmek için önemli fırsatlar sunmaktadır. BİM, bir binanın fiziksel ve işlevsel özelliklerinin dijital bir temsili olup; geometrisi, malzemeleri, sistemleri ve yaşam döngüsü boyunca performansı hakkındaki bilgileri entegre eder. BİM'in enerji performansı ile ilgili en önemli avantajlarından biri, inşaat başlamadan önce bina davranışını sanal bir ortamda simüle etme ve analiz etme yeteneğinde yatmaktadır. Tasarımcılar ve mühendisler, enerji analiz araçlarını BİM yazılımına dahil ederek çeşitli tasarım seçeneklerini değerlendirebilir ve enerji verimliliğini optimize etme fırsatlarını belirleyebilirler [20]. Bu, farklı bina yönelimlerinin, dış cephe malzemelerinin, HVAC sistemlerinin ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin enerji tüketimi ve çevresel etki üzerindeki etkisinin değerlendirilmesini içerir.

Bu tez, bir BİM aracı olan Revit [21] yazılımını kullanarak Türkiye'deki çeşitli iklim bölgelerindeki konut binalarında bina yöneliminin, farklı çatı biçimlerinin ve yalıtım malzemelerinin etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Çalışma, tek katlı bir binanın oluşturulmasını ve üç farklı çatı şeklinin uygulanmasını içermektedir. Öncelikle, düz çatı (eğimsiz), beşik çatı (iki eğimli yüzeye sahip) ve kırma çatı (dört eğimli yüzeye sahip) olmak üzere üç farklı çatı tipi belirlenmiştir. Bu çatı tiplerine dayalı olarak, diğer tüm özellikleri aynı olan üç farklı bina modeli oluşturulmuştur. Daha sonra, bu üç bina modeli yalıtımlı ve yalıtımsız olarak ele alınmış ve toplamda altı farklı bina modeli elde edilmiştir.

Türkiye'nin iklim yapısına göre bu farklılıkların yaratacağı etkiyi analiz etmek için Aydeniz sınıflandırması [22] temel alınmış [23] ve bu sınıflandırma yöntemine göre altı farklı iklim bölgesi belirlenmiştir: Çok kurak, Kurak, Yarı kurak, Nemli, Yarı nemli ve Çok nemli. İklim bölgeleri belirlendikten sonra, her bölge için üç farklı şehir seçilmiş ve bu şehirlerin meteoroloji verileri Revit ortamına dahil edilerek binaların yıllık enerji tüketimi hesaplanmıştır. Son aşamada, her bir bina modeli 10 derece döndürülerek ve enerji analizi tekrarlanarak yıllık enerji tüketiminde değişiklikler belirlenmiştir.

Binaların dijital versiyonlarını çoğaltmak için “Revit 2023” yazılımı kullanılırken, yıllık enerji tüketimini analiz etmek için EnergyPlus kullanılmıştır. Revit, enerji tüketimini doğru

bir şekilde analiz etmek için gerçek konum verilerini ve en yakın meteoroloji istasyonunu kullanmaktadır. Üstelik EnergyPlus, 20 farklı veri tabanını kullanarak verilerin tutarlılığını ve doğruluğunu analiz eder ve bu sayede bilim camiasında binaların enerji analizi için en yaygın kullanılan yazılımlardan biri olma özelliği taşır [24]

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kavramsal Çerçeve

İnsanlık tarihinde çok az olgu sanayileşme kadar dönüştürücü olmuştur. Buhar gücünün 18. yüzyıldaki yükselişinden 21. yüzyılın dijital devrimine kadar, sanayileşme dünya çapında toplumları, ekonomileri ve manzaraları yeniden şekillendirmiştir. Küresel nüfusun katlanarak artmasıyla birleşen bu dönüştürücü güç, başta enerji olmak üzere gezegenimizin kaynaklarına eşi benzeri görülmemiş talepler getirmiştir [25]. Önümüzdeki on yıllara baktığımızda, sanayileşme, nüfus artışı ve enerji gereksinimleri arasındaki karmaşık ilişkiyi anlamak, sürdürülebilir kalkınma ve gelecek nesillerin refahı için elzemdir. Sanayileşme, tarımsal ekonomilerden imalat ve hizmetler tarafından yönlendirilen ekonomilere geçişi işaret eder [26]. Fabrikalar, montaj hatları ve seri üretim daha yüksek üretkenlik, artan zenginlik ve birçokları için yaşam standartlarının iyileşmesini sağlamıştır. Bununla birlikte, çevresel bozulma, kaynakların tükenmesi ve sosyal eşitsizlik gibi zorlukları da beraberinde getirmiştir [27]. Sanayileşme yolculuğu dünya genelinde dengesiz olmuştur. Bazı bölgeler hızlı bir endüstriyel büyüme yaşarken, diğerleri bunun gerisinde kalmıştır. Çin, Hindistan ve Brezilya gibi gelişmekte olan ekonomilerin küresel üretim ve tüketimde giderek daha önemli roller oynamasıyla kentleşme ve sanayileşme eğilimi devam etmektedir. Sadece iki yüzyıl içinde küresel nüfus yaklaşık bir milyardan bugün sekiz milyarın üzerine çıkmıştır [28]. Bu eşi benzeri görülmemiş büyüme, sağlık hizmetleri, sanitasyon ve gıda üretimindeki gelişmeler gibi faktörlerin etkisiyle gerçekleşmiş, ortalama yaşam süresinin uzamasına ve ölüm oranlarının azalmasına neden olmuştur. Başta gelişmiş ülkeler olmak üzere bazı bölgelerde nüfus artışı yavaşlamış olsa da, gelişmekte olan birçok ülkede yüksek doğum oranları yaşanmaya devam etmektedir. Bu demografik değişim, eğitim, sağlık ve istihdam gibi temel hizmetlerin sağlanmasının yanı sıra enerji de dahil olmak üzere kaynaklara yönelik artan talebin karşılanması açısından da zorluklar yaratmaktadır [29].

2.1.1 Enerji, iklim değişikliği ve küresel endişeler

İnsanlık tarihine baktığımızda, kalkınmanın enerji kullanımıyla derinden ilişkili olduğunu göstermektedir. Enerji, modern uygarlığın can damarıdır. Endüstrilerimize güç verir, şehirlerimizi aydınlatır ve ulaşımımızı besler. Sanayileşme ve nüfus artışı devam ettikçe,

enerjiye olan talep de artacaktır. Tarihin bir döneminde mevcut olan enerji dönüşümü teknolojileri, bizi zorlu çevre koşullarından koruyan, barınakların ve daha sonraki binaların nasıl inşa edildiğini bile etkiliyor. Enerji özellikle 20. yüzyılın başlarından itibaren ülkelerin rekabet üstünlüğü sağlamasında yararlandıkları en önemli unsurlardan biri olmuştur. 21. yüzyılda ise dünyadaki teknolojik yenilikler, uluslararası sınırların geçirgenliğinin artması, sermaye hareketleri için sınırların hemen hemen kalkmış olması ve iletişim alanındaki gelişmeler hem dünyadaki enerji kullanım miktarını arttırmış hem de enerjiyi üzerinde çalışmalar yapılması, politikalar belirlenmesi gereken bir konu haline getirmiştir [30]. Sürdürülebilir ve düşük karbonlu kaynaklara geçerken bu talebi karşılamak 21. yüzyılın en büyük zorluklarından biridir. Fosil yakıtlar, özellikle de kömür, petrol ve doğal gaz, sanayileşmeyi sağlayan başlıca enerji kaynakları olmuştur. Ancak bunların yaygın kullanımı çevresel bozulmaya ve iklim değişikliğine yol açmıştır [31].

Bir yandan hızlı kentleşme ve bir yandan iklim değişiklikleri, Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporlarına göre yerküresinin yaşamını ve biyolojik çeşitliliğini tehlikeye atan bir değişimdir [1]. Küresel ısınmada en büyük katkı, fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan CO_2 kaynaklı sera gazı emisyonlarıdır. Bu konudaki endişeler, ilk etapta toplam sera gazı emisyonlarının daha güvenli CO_2 düzeyine inebilmesi için uluslararası ve ulusal anlaşmaların yapılmasına yol açtı. Son yıllarda, Avrupa Birliğin'deki (AB) enerji politikası ekoloji ve çevre koruma hedefleri doğrultusunda şekillenmektedir.
Antropojenik sera gazı emisyonları, CO_2 eşdeğeri olarak ifade edilen ve enerji tüketimiyle ilişkili çevresel etkileri ve gelecekteki enerji arzı ve talebi stratejilerini analiz etmek için yaygın olarak kullanılan bir göstergedir. Küresel iklim ve enerji politikalarının geliştirilmesinde en önemli rolü, 1988 yılında BM Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından kurulan IPCC oynamaktadır. Mevcut küresel iklim ve enerji politikalarının hedefleri ve önlemleri, 1992'de Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) ile başlayan sürece dayanmaktadır. 2009 yılında Kopenhag'da düzenlenen iklim zirvesinde ise Kyoto Protokolü'nün bir devamı niteliğinde olan bağlayıcı olmayan Kopenhag Anlaşması kabul edilmiştir. Bu anlaşmada, enerji temini ve kullanımına ilişkin esasların belirlenmesi için "2 K" iklim senaryosu benimsenmiştir. Bu senaryoya göre, sanayi öncesi dönemin 2°C üzerinde bir küresel ısınmaya neden olmayacak şekilde, toplam antropojenik sera gazı emisyonları sınırlanacaktır. Ancak mevcut verilere göre, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonu CO_2 eşdeğeri olarak 450 ppm'yi aşmamalı ve 2011-2100 arasındaki dönemde ortalama yıllık sera gazı emisyonları 25 Gt CO_2 eşdeğerini

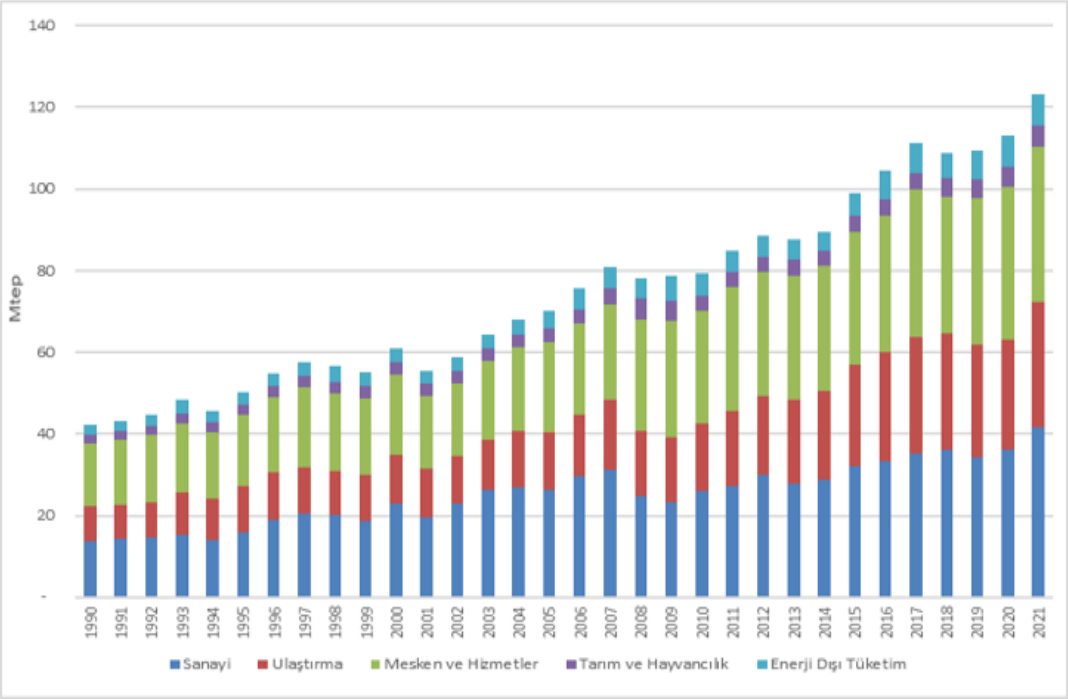
geçmemelidir. Bu hedefe ulaşmak için 2010 yılında 49 Gt CO_2 eşdeğeri düzeyinde olan sera gazı emisyonlarının azaltılması gerekmektedir. İklim değişikliği ile ilgili olarak, çeşitli çalışmalar Temsilci Konsantrasyon Yolu (RCP) senaryolarını (RCP4.5 ve RCP8.5) kullanarak gelecekteki iklim projeksiyonlarını incelemektedir. RCP4.5, 2050'ye kadar 1,8°C'lik bir sıcaklık artışına yol açacak orta düzeyde emisyonları öngörürken, RCP8.5 yüksek emisyonlar nedeniyle 2100'e kadar 4,8°C'lik bir artış öngörmektedir [32-33]. HavaDeğişim™ aracı, çeşitli küresel iklim modellerini kullanarak bu senaryolara dayalı olarak 2060 için iklim verileri üretmek için kullanılmıştır [5, 34].

Enerji ihtiyacı dünyada ve Türkiye'de giderek artmakta olup; Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının resmi verilerine göre 2023 yılında toplam enerji tüketimi 158,4 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) olmuştur. Buna göre, Türkiye'nin toplam enerji tüketimi 2017 yılına göre %9,01 oranında artmıştır [35]. Eski sistemler ve enerji kaynakları genelde fosil yakıtlar üzerine kurulmuş olduğundan, yakın zamanda fosil kaynaklarının tükenmesiyle ülkeler enerji konusunda daha da büyük sorunlar yaşayabilirler. Küresel iklim değişikliğini hafifletme senaryolarında, enerji tasarrufu önlemlerinin daha yaygın olarak uygulanmasıyla artan enerji verimliliği ve yenilenemez enerji kaynaklarının (fosil ve nükleer) yoğun bir şekilde yenilenebilir enerji kaynaklarıyla değiştirilmesi gibi iki ana önlem dikkate alınmaktadır. Bu önlemlerin binalarda uygulanması, enerji verimliliği gereksinimlerinin sıkı olduğu günümüzde oldukça etkilidir.

2.1.2. İnşaat sektörü, enerji ve enerji verimliği yasaları

İnşaat sektörü dünya çapındaki enerji tüketiminin yaklaşık % 40'ından sorumludur [30] ve bu enerji kullanımının çoğu binaların soğutulması ve ısıtılmasına aittir. Kentsel mikro iklim düzeni, karmaşık yapıların inşaat edilmesi ile ve hızlı gelişen kentleşme ile beraber değişmektedir. Bu nedenle, iklime dayanıklı şehir planlamasındaki ilerleme, çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Farklı araştırmalara göre, kentsel alanlar küresel enerji üretiminin yaklaşık %70'ini [36] tüketmektedir [37]. BM'ye göre 2019'da enerji ile ilgili CO_2 emisyonlarında binaların payı %38'dir ve ayrıca mevcut dünya nüfusunun %55'i şehirlerde yaşamaktadır [4], buna ilave olarak çeşitli verilere göre şehir nüfusu tahmini 2050 yılında %67'ye ulaşacaktır.

Türkiye'deki konut yapı sektörü hızlı kentselleşme ve nüfus artışı yaşamakta olup, son on yılda kentsel nüfusun %69,7'den %75,1'e yükseldiği ve 2050'ye kadar %86,0'a çıkması beklenmektedir [38]. Türkiye'de, 2021 yılında toplam enerji tüketiminin dağılımına bakıldığında, nihai enerji tüketiminde en fazla payı sanayi sektörü (33,8%) ile mesken ve hizmetler sektörü (31%) almış, bunları ulaştırma sektörü (24,8%) ve tarım-hayvancılık sektörü (4,2%) takip etmiştir. Enerji dışı tüketimin payı ise 6,3%'dür. Şekil 2.1 'de sektörlere göre Türkiye'deki enerji kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Türkiye'deki enerji kullanımı

Hızlı küresel iklim değişikliği ve ayrıca binaların dünya çapında enerji tüketimi ve sera gazları salınım konusunda artan endişeler, binaların enerji performansını artırmak için büyük çabalarla sarf edilmektedir. Enerji verimliği ve dolayısıyla binaların enerji performansı, birçoğu devlet ve akademik camia arasında da bir öncelikli alan olarak haline araştırmalara açılmıştır. Binaların enerji performansına ilişkin AB Direktifinin en yeni versiyonu (mevcut 2010/31/EU'yu revize edip ve yeni Direktif 2018/844/EU), 2050 yılına kadar karbondan arındırılmış bir bina stokuna doğru mevcut binaların yenilenmesini hızlandırmayı ve yeni inşa edilecek binaları ise enerji performansını göz önüne alarak tasarlanmasını amaçlamaktadır [39-40].

Enerji büyük oranda bina yapım ve kullanımında tüketildiğinden, küresel olarak bina sektöründe büyük bir enerji tasarrufu potansiyeli bulunmaktadır. Birçok ülke, bu potansiyelden faydalanmak için ilgili yasal düzenlemelerini geliştirmektedir. 2002'de Avrupa Parlamentosu tarafından Binalarda Enerji Performansı Direktifi (2002/91/EC) yayınlanmış olup, daha sonra 2010'da ekonomi ve enerji talepleri göz önüne alınarak EPBD-Recast olarak revize edilmiştir. Yenilenen direktife göre AB üyesi ülkeler, kendi ulusal koşullarına uygun hesaplama yöntemleri geliştirmeli ve binalarda enerji performansı gereksinimlerini optimum maliyet düzeylerine göre belirlemelidir. Ayrıca, bu ülkeler 2020 itibariyle tüm yeni binaların yaklaşık sıfır enerjili bina olmasını sağlamakla yükümlüdürler [41].

Türkiye'de ilk enerji tasarrufu çalışmaları 1981 yılında Elektrik İşleri Etüd (EİE) İdaresi Genel Müdürlüğü'nce başlatılmıştır ve daha sonra 1992 yılında bu çalışmanın ülke genelinde uygulanması için Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi (UETM) oluşturulmuştur [42]. Daha sonra 2004 yılında Onuncu Kalkınma Planının bir parçası olarak Enerji Verimliliğini Geliştirme Planı kabul edilmiştir. Bu plan; seçilen sektörlerdeki ve alanlardaki enerji verimliliğini arttıracak eylemlerin uygulanmasını; çeşitli mevcut uygulamaların genişletilmesini; kamuoyunun bilinçlendirilmesini ve sonuç olarak talep yönetimine katkıda bulunmak için örnek verilebilecek uygulamaların yayılmasını hedeflemektedir. Bu çalışmalara rağmen Türkiye gelişmiş ülkelerle göre halen "enerji yoğun" ekonomilerden biridir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve Eurostat verilerine göre, ülkemizde enerji yoğunluğu OECD ve AB-27 ortalamalarının üzerindedir ve dolayısıyla enerji yoğunluğunun azaltılması ve enerji verimliliği sektöründe iyileştirmelerde bulunulması önemlidir. Bu kapsamda gerçekleştirilen enerji verimliliği stratejileri ile 2023 yılına kadar enerji yoğunluğunun en az **%** 20 oranında azaltılması hedeflenmiştir (Resmi Gazete, 2013). Enerji verimliliği alanında çıkarılan en kapsamlı yasal düzenleme 02.05.2007 tarih ve 26510 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'dur. Kanunun amacı enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğinin arttırılmasıdır (5627 EVK, 2007). AB'nin 2002/91/EC sayılı Binalarda Enerji Performansı Direktifi temel alınarak Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEP Yönetmeliği) hazırlanmıştır. Binaların enerji performanslarını değerlendiren bu yönetmelik, 05.12.2008 tarihinde Resmi Gazetede yayımlanmış, bir yıl sonra da 05.12.2009 tarihinde yürürlüğe girmiştir. BEP Yönetmeliği ile

binalarda ısıtmanın dışında soğutma havalandırma, aydınlatma ve sıcak su temini gibi enerji kullanım alanları ve sistemlerinin verimlilikleri de dikkate alınmaya başlanmıştır.

Yönetmelik gereğince binaların enerji performanslarının “A” ile “G” sınıfları arasında etiketlenmesi suretiyle enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları açısından belgelendirilmesi çalışmaları başlamıştır. Ayrıca mevcut binaların enerji performanslarının da yükseltilmesi ve enerji kimlik belgelerinin oluşturularak enerji tüketimiyle sera gazı emisyonları açısından 2017 yılı sonuna kadar bütün binaların etiketlenmesi öngörülmüştür. Enerjide arz güvenliğinin sağlanması, dışa bağımlılıktan kaynaklanan risklerin azaltılması, enerji maliyetlerinin sürdürülebilir kılınması, iklim değişikliğiyle etkin mücadele ve çevrenin korunması bakımından enerji verimliliği konusu her geçen gün önemini artırmaktadır. Bu açıdan enerjinin üretimi, iletimi ve tüketimi aşamalarında verimliliğin sağlanması, bilinçsiz kullanım ve israfın önlenmesi, sektörel ve makro düzeyde enerji yoğunluğunun azaltılması Türkiye’nin enerji alanındaki temel politikalarından biri olmalıdır. Sonuç olarak, bina tasarımında gerekli revizeler ve yeni sürdürülebilir teknolojilerin kullanılması, kentsel gelişim politikalarının hayata geçirilmesi ve revize edilmesi kaçınılmazdır. Binalarda enerji verimliliğini artırmak için mevcut yöntemlerden biri de enerji simülasyon araçlarının kullanılmasıdır. Ancak, binalarda enerji simülasyonunun çok sayıda faktörün etkileşiminden kaynaklanan karmaşıklığı, kapsamlı ve doğru simülasyonların elde edilmesini engellemeye devam etmektedir.

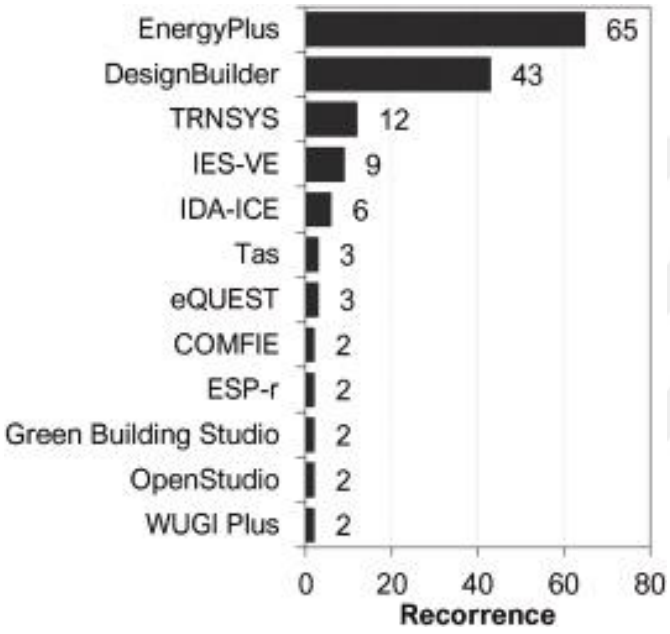
2.1.3. Binalarda enerji simülasyonu

Şimdiye kadar binaların enerji performans simülasyonu değerlendirmesi binalardaki çok sayıda varyasyon nedeniyle bazı zorluklarla karşı karşıya kaldı. Binaların genel enerji performansı aşağıdaki gibi farklı faktörlerden etkilenir; bina kabuğu, kullanılan malzemenin özellikleri ve kalınlığı, tasarım kodları, hava koşulları ve konum, alınan güneş ışığı ve radyasyon miktarı, yapı ve yalıtım elemanları, havalandırma, kullanıcı davranışı ve sayısı, aydınlatma ve ısıtma, kullanılmış cihazlar ve diğer faktörler [43]. Ek olarak, bu faktörler dikkate alındığında, kesin simülasyon eksikliği anlaşılabilir, yaygın olarak kullanılan iki ana simülasyon yöntemi vardır: fiziksel ve veriye dayalı yöntemler [44], bahsedilen iki yöntemin kendi yararları ve eksiklikleri vardır, fiziksel modeller fizik yasalarına ve hava akımı, nem, mikro iklim denklemleri vb. gibi bina parametrelerinin kesin ölçümlerine dayanır. Bu elemanların dinamik davranışı ve yapı malzemelerinin özellikleriyle etkileşimleri karmaşık

hesaplama gerektirir. Ancak günümüzde bilimdeki gelişmelerle birlikte bilgisayarlar, binanın enerji davranışının yanı sıra kullanılan malzemenin etkilerini sanal bir ortamda simüle edebilir, böylece binaların enerji performansının optimizasyonu sağlanabilir. Bununla birlikte, veriye dayalı yöntemdeki en büyük zayıflık veri eksikliğidir, bu bağlamda BİM boşluğu doldurmak ve bu hedefi hızlandırmak için değerli araçlardan biri haline geldi. Ayrıca BİM, çok disiplinli bilgilerin tek bir model içinde üst üste bindirilmesine izin verir, tasarım süreci boyunca sürdürülebilirlik önlemlerinin ve performans analizinin yapılması için bir fırsat yaratır.

Binalardaki enerji tüketimi, çeşitli iklim koşulları ve yanı sıra bina kabuğuna, bina sakinlerine, bina çevresinden kaynaklanan mikro iklim koşullarına, yapı içinde kullanılan malzemelere ve binanın enerji üretiminde kullanılacak veya enerji talebini azaltacak teknolojilere bağlıdır. Binalar ve dolayısıyla enerji verimli binalara ulaşmak, çok disiplinli bir yaklaşım gerektiriyor. Ayrıca binaların ömrünün mümkün olduğu kadar uzun olacak şekilde tasarlanması, çoğu durumda teknolojideki ilerlemenin binalarda etkisi daha az his ediliyor, bu nedenle bina yapımında hızlı bir değişiklik uygulanamaz, bu gerçeği göz önünde bulundurarak açıkça görülmektedir ki dünya çapında ve hatta gelişmiş ülkelerde bile birçok bina eski birimlerdir. Ayrıca, tasarım ve inşaat sırasında mevcut binalar için optimizasyon kodları ve enerji tüketim yöntemleri ihmal edilmiştir. Gelişmiş ülkelerin çoğu için AB Komisyonu verilerine göre eski binaların tam sayısı yaklaşık %35'tir ve 50 yaşın üzerindedir ve bina stokunun yaklaşık %75'i enerji verimsizdir. Öte yandan, yapı stokunun sadece %0.4-1.2'si (ülkeye bağlı olarak) her yıl yenilenmektedir [40]. Bu yüzden, eski ve enerji verimsiz binaların yüksek oranı, bu binaların genellikle standart simülasyon senaryolarına uymayan özellikler taşıması nedeniyle enerji simülasyonu süreçlerini karmaşıklaştırmaktadır.
Bu çalışmada enerji analiz uygulaması olarak Revit kullanılmış ve Revit'in enerji analizi için EnergyPlus entegrasyonu tercih edilmiştir. EnergyPlus, bilimsel araştırmalarda binalardaki enerji tüketimi simülasyonları için en yaygın kullanılan yazılımdır ve bina enerji analizlerinin %65’i bu uygulamayı tercih etmektedir (Şekil 2.2) [45]. EnergyPlus, ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve daha fazlası dahil olmak üzere binalardaki çeşitli enerji akışlarını modellemek için tasarlanmış kapsamlı bir bina enerji simülasyon programıdır. BLAST ve DOE-2 gibi popüler programların temel özelliklerini temel alan EnergyPlus, bir saatten daha kısa zaman adımları, modüler sistemler, ısı dengesi tabanlı bölge simülasyonu ile tesis entegrasyonu, çok bölgeli hava akışı, termal konfor modellemesi ve fotovoltaik sistemler gibi gelişmiş simülasyon yeteneklerine sahiptir.

Program, tasarımcıların çeşitli ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin yanı sıra aydınlatma sistemleri ve pencere konfigürasyonlarının performansını değerlendirmelerini sağlar. EnergyPlus, Çevresel Enerji Teknolojileri Bölümü'nden Fred Winkelmann liderliğindeki Berkeley Lab Simülasyon Araştırma Grubu, Urbana-Champaign'deki Illinois Üniversitesi ve ABD Ordusu İnşaat Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı arasındaki ortak bir çabayla ve diğer araştırma kuruluşlarının desteğiyle geliştirilmiştir.



Şekil 2.2. Bina enerji tüketimi analizlerinde kullanılan yazılımlar ve uygulamalar

EnergyPlus, hava verilerine dayalı olarak gerçek konum, bina yönü ve farklı hava koşullarını dikkate alarak son derece gerçekçi enerji tüketim analizleri yapmaktadır [46]. Ayrıca, 20 farklı ulusal ve uluslararası meteoroloji verisini toplayarak geniş ve güvenilir bir veri tabanına sahiptir [47].

2.1.4. Net sıfır enerji binalar

Yenilenemeyen kaynakların tükenmesi ile birlikte önümüzdeki yıllarda kullandığımız enerjinin fiyatı ve önemi artacaktır. Bu bağlamda, farklı sektörlerde enerji tüketimini azaltmak ve optimize etmek için birçok politika etkinleştirilmiştir; bunlardan bazıları,

Binalarda enerji ihtiyaçları ve tüketimi konusunda daha katı sınırlar içeren Net Sıfır Enerjili Binalar (NSEB) hakkındaki 31/2010 ECU Direktifidir.

Enerji verimliliği, binalarda yaşam standartlarında ve onarım kalitesinde, endüstriyel işletmelerde üretim kalitesinde ve miktarında bir düşüşe neden olmadan hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır [48]. Binalarda enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik yeni düzenleme, yeni NSEB kavramına yol açmıştır, NSEB kavramı, tipik bir yıl boyunca net enerji tüketimi sıfır olan bir binayı ifade eder. Yenilenebilir kaynaklar, yerel olarak mevcut, kirletmeyen ve düşük maliyetli kaynaklar aracılığıyla tüm enerji taleplerini karşılayacak binalardan oluşmaktadır [49].

NSEB kavramı, hem enerji kullanımını azaltmak için pasif yöntemler hem de aktif ve yenilenebilir teknolojileri kullanarak kendi enerji taleplerini üreten bir bina elde etmeyi, güneş enerjisi/ soğutma tesisleri, fotovoltaik, rüzgâr türbinleri, iletken olmayan malzemeler, yalıtımlı pencereler gibi elementlerden ibarettir. Yenilenebilir enerjinin şebeke elektriği ile eşzamanlı olarak kullanılması, üretilen aşırı enerjinin veya enerji eksikliğinin değiştirilmesi koşulunu sağlar, bu nedenle NSEB kavramı şebeke elektriğini aynı zamanda dikkate alar. "Net" terimi, kullanılan enerji ile üretilen enerji arasındaki enerji dengesini tanımlamak için şebekeye bağlı binalarda kullanılır, "net sıfır enerji" terimi, denge sıfır olduğunda uygulanır [50].

2.1.5. Binaların enerji tüketimini etkileyen faktörler

Binalardaki enerji tüketimi, temelde bina yapılarının fiziğine ve çevreleriyle olan etkileşimlerine dayanan sayısız faktörden etkilenmektedir. İnşaatta kullanılan malzemelerin termal özellikleri çok önemli bir rol oynamaktadır [51]; yalıtımlı duvarlar ve pencereler gibi düşük termal iletkenliğe sahip malzemeler, iç ve dış mekan arasındaki ısı transferini azaltarak ısıtma ve soğutma için enerji taleplerini düşürür. Ayrıca, yönlendirme [20], yerleşim ve gölgeleme cihazlarının varlığı [52] dahil olmak üzere mimari tasarım unsurları [53], güneş ısısı kazanımını [54] ve doğal aydınlatmayı etkiler ve sonuç olarak yapay ısıtma, soğutma ve aydınlatma ihtiyacını etkiler. Yalıtım kalitesi, hava sızdırmazlığı ve havalandırma sistemlerini kapsayan bina kabuğu bütünlüğü, iletim ve sızma/dışa sızma yoluyla ısı kaybını veya kazancını belirleyerek enerji tüketimini etkiler. Buna ek olarak, bina sakinlerinden, cihazlardan ve aydınlatma armatürlerinden kaynaklanan iç ısı kazançları, bina

içindeki genel termal dengeyi değiştirerek önemli ölçüde katkıda bulunur. Ayrıca, sıcaklık, nem ve rüzgar modelleri gibi iklim koşulları, termal konforu korumak için HVAC sistemlerine değişen talepler getirmekte ve enerji verimliliğini optimize etmek için uyarlanabilir stratejiler gerektirmektedir. Binalarda fiziğin bu karmaşık etkileşimlerinin anlaşılması ve ele alınması, etkili enerji tasarrufu önlemlerinin tasarlanması ve yapılı çevrede sürdürülebilir uygulamaların teşvik edilmesi için zorunludur.

Bina enerji tüketimi üzerindeki en yüksek etki ısıtma ve soğutma yüklerinden kaynaklanır ve bu faktörlerden bazıları şunlardır:
1- Binanın yeri, güneşe maruz kalma miktarı ve bunların ısıtma ve soğutma yüklerini ne kadar etkilediği.
2- Binanın bulunduğu bölgesel iklim ve rüzgâr hızı ve yönü, sıcaklık, nem seviyeleri vb. üzerindeki etkisi (ki bu değer; aşıldığında bina kullanıcılarının yeniden rahat hissetmek için daha fazla enerji kullanacakları binanın termal konfor bölgesinin hesaplanması açısından da önemlidir).
3- Aydınlatma tasarımı aynı zamanda enerji kullanımını da etkiler. Binayı doğal ışıktan yararlanacak şekilde tasarlanması enerji performansında önemli bir diğer faktördür.
4- Binanın malzemesi de enerji tüketimini büyük ölçüde etkiler, bu nedenle sıcak ve soğuk iklimlerde bina içini dışarıdan izole edebilen yüksek kapasiteli geri dönüşümlü ve yüksek performanslı malzemelerin kullanılması tavsiye edilir.

Binalardaki enerji tüketim oranı ise aşağıdaki faktörlere bağlıdır [55]:
a)Hava değişimi ve akışı,
b)Bir yılın farklı zamanlarındaki mekan ile çevre arasındaki sıcaklık farklılıkları,
c)Bir yıl içindeki zaman dilimlerinde yenilenebilir enerji alımı,
d)Bina fiziğinde yüzeysel ısı transfer katsayısı dahil olmak üzere çeşitli faktörler.

Bu nedenle, yapıların ana unsuru olarak görülen binaların ısı transfer hızında dış cephe kaplaması yani çatılar ve duvarlar önemli rol oynar. Çatı kaplamaları geniş bir kabuk oluşturduğundan, binalarda enerji tüketimi ve ısıl konfor üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, kubbeli, düz ve eğimli çatıları içeren çatı geometrisi, binalardaki ısıl performansı belirleyen ana kriterdir.

2.1.6. Binalarda çatı şekli ve önemi

Çatılar, iç ortam ile dış iklim arasında birincil arayüz görevi gördüğünden, binaların enerji tüketiminde rolü önemlidir. Çatıların fiziğini ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerini anlamak, enerji tasarruflu binalar tasarlamak ve çevresel etkileri azaltmak için çok önemlidir [56]. Çatıların enerji tüketimi üzerindeki etkisine termal özellikler, güneş radyasyonu yönetimi, yalıtım ve havalandırma dahil olmak üzere çeşitli temel faktörler katkıda bulunur. Çatı kaplama malzemelerinin termal özellikleri, bir binanın içi ve dışı arasındaki ısı transferinin düzenlenmesinde kritik bir rol oynar. Metal veya yalıtımsız beton gibi yüksek ısı iletkenliğine sahip malzemeler, mevsime bağlı olarak önemli ölçüde ısı kaybına veya kazancına neden olabilir [57]. Buna karşılık, yalıtım katmanları veya soğuk çatılar gibi düşük ısı iletkenliğine sahip malzemeler ısı transferini azaltabilir ve ısıtma ve soğutma için gereken enerjiyi düşürebilir [58]. Ayrıca, çatı kaplama malzemelerinin rengi ve yansıtıcılığı güneş radyasyonu emilimini ve yansımasını etkileyerek binanın soğutma yükünü etkiler.

Serin çatılar olarak bilinen açık renkli veya yansıtıcı çatılar, güneş radyasyonunun daha büyük bir kısmını yansıtarak bina tarafından emilen ısıyı azaltabilir ve özellikle sıcak iklimlerde soğutma enerjisi taleplerini düşürebilir [59]. Yalıtım, çatı kaplama sistemlerinin enerji tüketimini etkileyen bir diğer kritik yönüdür. Doğru yalıtım, çatıdan ısı transferini en aza indirerek iç mekanda termal konforun korunmasına yardımcı olur, böylece ısıtma ve soğutma ihtiyacını azaltır. Köpük levhalar, fiberglas veya selüloz gibi yalıtım malzemeleri, termal bir bariyer oluşturmak için çatı yüzeyinin altına monte edilir ve kışın ısı kaybını ve yazın ısı kazanımını önler. Yalıtımın kalınlığı ve kalitesi, enerji tüketimini azaltma ve bina enerji verimliliğini artırma konusundaki etkinliğini doğrudan etkiler.

Havalandırma da çatı tasarımında ve enerji tüketiminde önemli bir rol oynar. Uygun çatı havalandırması, fazla ısı ve nemin binadan uzaklaştırılmasına yardımcı olarak mekanik soğutma ihtiyacını azaltır ve küf oluşumu gibi nemle ilgili sorunları önler. Mahya menfezleri, alt menfezler veya mekanik fanlar gibi havalandırma stratejileri, tavan arası veya çatı boşluğunda hava hareketini kolaylaştırarak pasif soğutmayı teşvik eder ve iç mekan hava kalitesini korur. Ayrıca, çatının tasarımı ve yönü, doğal aydınlatmayı ve pasif güneş ısıtmasını etkileyerek enerji tüketimini etkiler. Çatı şekilleri, açıları ve yönü, gün ışığı veya pasif güneş ısıtması için güneş ışığına maruz kalmayı optimize ederek gün boyunca yapay aydınlatma ve ısıtma ihtiyacını azaltabilir [60].

Düz, beşik, kırma ve sundurma çatılar gibi çeşitli çatı şekilleri, ısı transferini, havalandırmayı ve güneş radyasyonu yönetimini etkileyen farklı özellikler sergiler. Örneğin, genellikle beşik veya kırma konfigürasyonlarında bulunan dik eğimli çatılar, güneş ışığına maruz kalan daha geniş yüzey alanları nedeniyle daha iyi doğal havalandırma ve pasif güneş ısıtma fırsatları sağlayabilir. Ancak bu çatı şekilleri, daha geniş yüzey alanları ve rüzgara daha fazla maruz kalma potansiyelleri nedeniyle kışın ısı kaybını da artırabilir. Buna karşılık, düz veya düşük eğimli çatılar, yenilenebilir enerji üretimi için güneş panellerinin kurulumu açısından avantajlar sunar ve genellikle ek yalıtım sağlayabilen ve ısı kazanımını azaltabilen yeşil çatı kurulumları için daha uygundur. Ayrıca, çatı şekilleri yağmur suyu toplama sistemlerinin etkinliğini etkileyebilir ve su akışı yönetimini etkileyebilir. Bu nedenle, enerji performansını, termal konforu ve çevresel sürdürülebilirliği optimize etmek için bina tasarımında çatı şekli seçimi dikkatle değerlendirilmelidir.

2.1.7. Farklı iklimlerde bina yönü ve enerji tüketimi

Bir yarım kürenin konumu, eğimi ve yönelimi, bir binanın enerji verimliliğini derinden etkileyen önemli tasarım parametreleridir [61]. Bir yapının konumu, diğer binalara göre pozisyonu güneş ışınlarını ve hava dolaşımını önemli ölçüde etkiler, bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş ışığı ve rüzgarı kullanmak için stratejik bir yerleşim gerektirir [61]. Topografi ile ilgili olarak, konumun güneş ışını açısına, eğime ve arazi yönelimine olan etkisi gün ışığına maruziyet, doğal havalandırma ve güneş kullanımında önemli rol oynar. Özellikle kuzey yarım kürede, güneye bakan eğimler en uzun büyüme mevsimlerini yaşar ve daha sıcaktır. Sonuç olarak, özellikle çoğu bina tipi için optimal site seçimi genellikle doğrudan güneş ışığından faydalanmak ve minimum gölgelendirme ile güneye bakan eğimleri tercih eder [62].

2.1.8. Farklı iklimlerde binaların enerji tüketimi

Bilim insanları, iklim değişikliğinin enerji tüketim düzeylerini başlıca etkilediğine ve binaların şu anda küresel enerji talebinin %67'sini oluşturduğuna geniş çapta inanmaktadır [63]. Bu farkındalık, araştırmacıların inşaat sektöründeki enerji taleplerini azaltmaya yönelik olarak kritik bir görev olarak görmelerine neden olmuştur [63]. AB ve ABD'de, 2019'da binalar toplam küresel enerji talebinin %40'ına kadar katkıda bulunmuş olup [64], ABD

Enerji Departmanı tarafından bildirildiği üzere ABD'nin toplam enerji tüketiminin %36'sını temsil etmiştir [65]. Türkiye hızlı nüfus artışı ve kentleşme yaşamaktadır; kentsel nüfus son on yılda (2008-2018) %69,7'den %75,1'e yükselmiştir. Bir tahmin, 2050'ye kadar nüfusun %86,0'ının kentsel alanlarda yaşayacağını öngörmektedir [66-67]. Buda hem enerji talebi ve hem çevresel sorunların artışı anlamına gelir. İklim değişikliğine uyum, küresel ısınmanın olumsuz etkilerini azaltmak için kritik bir 21. yüzyıl mücadelesi olarak kabul edilmektedir. Bu amaçla birçok uluslararası komite çeşitli yöntemler denemiştir [68]. İnşaat sektörünün, kış fırtınaları, seller, kuraklıklar ve artan küresel ısınma gibi aşırı hava olayları da dahil olmak üzere iklim değişikliği etkilerine karşı son derece savunmasız olduğu ortaya çıkmıştır. Birçok yan etki arasında, küresel ısınmanın özellikle gelecekteki enerji tüketim modellerini inşaat sektöründe etkileyen en etkili faktör olduğu, IPCC tarafından vurgulanmıştır [69].

Türkiye'nin iklimi, uzun vadeli ortalama hava koşulları ve aşırı olaylarla karakterize geniş bölgelerde değişmektedir ve bölgenin iklim tiplerini ve bitki örtüsünü belirlemektedir. Ülke, kutup ve tropikal hava kütleleri arasında konumlanmış olup [69-70], Karadeniz ve Akdeniz havzaları, kuzey ve güney sahilleri boyunca batı-doğu doğrultusunda yüksek dağ silsileleri ve ortalama 1130 metre yüksekliğe sahip olan Anadolu platosu gibi faktörler tarafından şekillendirilmiştir [71]. Türkiye'nin kıtasal iç bölgesinde ise yarı kurak ve yarı nemli iklimler yaşanmaktadır. İstanbul şehrinin içinde olduğu Marmara Geçiş Bölgesi, sene boyunca yağışlı bir iklimle karakterizedir ve sıcak, yağışlı yazlar geçirmektedir [72]. Doğu Marmara Geçiş Bölümü, Akdeniz ve Karadeniz arasında yarı nemli bir geçiş iklimi olan mezosermal özelliği taşımaktadır [73]. Batı ve güney bölgeleri, ılıman, yağışlı kışlar ve sıcak, kurak yazlarla Akdeniz iklimine sahiptir. Türkiye'nin yer aldığı Akdeniz havzası, İPCC verilerine göre iklim değişikliği nedeniyle en büyük ısınma yaşanması beklenen bölgelerden biridir. Bu alan, yaz aylarında belirgin sıcaklık artışları ve azalan yağışla birlikte, sıcak dalgalarının ve aşırı günlük sıcaklıkların artma olasılığıyla karşı karşıyadır [74-75].

2.1.9. Bina bilgi modellemesi (BİM)

Tüm bu faktörler göz önüne alındığında, binaların enerji tüketim davranışını modellemek oldukça karmaşık ve zorlu bir süreç olarak görülmektedir. Ancak, bu zorluklara rağmen, bilim insanları tarafından geliştirilen yenilikçi modelleme yaklaşımları, enerji tüketim simülasyonlarında daha kesin, daha kullanıcı dostu ve daha etkili araçların ortaya çıkmasına

öncülük etmiştir. Bu yeni uygulamalar, enerji tüketim modellerinin doğruluğunu artırarak tasarım ve optimizasyon süreçlerine önemli katkılar sağlamaktadır.

Mimarlık, mühendislik ve inşaat endüstrisi, proje maliyetini azaltma, üretkenliği ve kaliteyi artırma, proje teslim süresini ise azaltma amacıyla uzun zamandır teknikler aramaktadır. BİM, bu hedefleri gerçekleştirmenin potansiyelini sunmaktadır [76]. BİM, inşaat projesini sanal bir ortamda simüle eder. BİM teknolojisiyle, bina bilgi modeli olarak bilinen, yapının doğru sanal bir modeli dijital olarak oluşturulur. Tamamlandığında, BİM, binayı gerçekleştirmek için gerekli olan tasarımı, tedariki, imalatı ve inşaat faaliyetlerini desteklemek için gereken kesin geometri ve ilgili verileri içerir [77]. Tamamlandıktan sonra bu model, işletme ve bakım amaçları için kullanılabilir.
BİM, bina elemanlarının geometrisini, uzamsal ilişkilerini, coğrafi bilgilerini, miktarlarını, özelliklerini, maliyet tahminlerini, malzeme envanterlerini ve proje programını karakterize eder. Model, bina yaşam döngüsünü göstermek için kullanılabilir [78]. Bu nedenle, malzemelerin miktarları ve paylaşılan özellikleri kolayca çıkarılabilir. İş kapsamları kolayca belirlenebilir. Sistemler, montajlar ve sıralamalar, tesisin tamamı veya bir grup tesis içinde göreceli bir ölçekte gösterilebilir. Çizimler, tedarik ayrıntıları, sunum süreçleri ve diğer özellikler gibi inşaat belgeleri kolayca ilişkilendirilebilir.

BİM, tüm tasarım ekibi üyelerine (mülk sahipleri, mimarlar, mühendisler, yükleniciler, taşeronlar ve tedarikçiler) geleneksel süreçlerden daha doğru ve verimli bir şekilde iş birliği yapma olanağı sağlayan, tesisin tüm yönlerini, disiplinlerini ve sistemlerini tek bir sanal model içinde kapsayan bir sanal süreç olarak görülebilir. Model oluşturulurken, ekip üyeleri sürekli olarak kendi kısımlarını projenin özelliklerine ve tasarım değişikliklerine göre ayarlamakta ve geliştirmektedir, böylece proje fiziksel olarak başlamadan önce modelin mümkün olduğunca doğru olmasını sağlarlar.

BİM, tesislerin fiziksel ve işlevsel özelliklerinin kapsamlı dijital temsillerini sunarak mimarlık, mühendislik ve inşaat (AEC) endüstrisinde dönüştürücü bir yaklaşımı temsil etmektedir [79]. BİM, detaylı bina geometrisini, mekânsal ilişkileri, coğrafi bilgileri, miktarları ve bina bileşenlerinin özelliklerini entegre ederek geleneksel CAD'in (Bilgisayar Destekli Tasarım) ötesine geçmektedir. BİM'in tanımı, modelin içeriğine bağlı olarak farklı olabilir. Örneğin, bir bilgi modeli bina geometrisi, zarf bileşenleri, malzemeler, maliyetler, HVAC sistemi, elektrik sistemleri ve malzemelerin termal özellikleri hakkında bilgi

içerebilir. ABD ulusal BİM standardı (NBİMS-US), BİM'i "görselleştirme, mühendislik analizi, çatışma analizi, kod kriterleri kontrolü, maliyet mühendisliği, inşa edilmiş ürün, bütçeleme ve diğer birçok amaç için bir tesisin elektronik modelini oluşturma eylemi" olarak tanımlamaktadır [80]. Krygiel ve Nies, BİM'i "tüm bina hakkında bilgi ve entegre bir veri tabanında saklanan eksiksiz bir tasarım belgeleri seti" olarak tanımlamaktadır [81]. BİM, [82] tarafından da "bilgelikle hareket etmemizi sağlayan bilgiyi elde etmek için veriden bilgiye geçiş mekanizması" olarak tanımlanmaktadır.

Araştırmacılar BİM'in sunabileceği potansiyel değerlerin farkına vardıkça, BİM'in farklı alanlardaki uygulamaları da genişlemektedir. BİM'in yapısal ve enerji analizleri için kullanım sıklığı sırasıyla %27 ve %25 olarak bildirilirken, ana kullanım alanı %60'lık kullanım sıklığı ile 3B geometrik modellerin ve 3B koordinasyonun daha hızlı geliştirilmesi olarak görünmektedir [83]. BİM uygulaması mimarlar ve mühendislerle sınırlı değildir. Ev sahipleri, tesis yöneticileri, müteahhitler ve imalatçıların da BİM'i kullanma nedenleri vardır. Bir projede BİM'in benimsenmesine yol açan önemli faktörlerin çoğu modelleme sürecinde otomasyona, inşaat belgelerinin doğruluğunun artırılmasına, tasarım ve inşaat sürecinde taraflar arasındaki iletişimin geliştirilmesine, bir görünümde değişiklik yapıldıktan sonra değişikliklerin tüm görünümlere otomatik olarak yansıtılmasına ve saha koordinasyon sorunlarının azaltılmasına odaklanmaktadır [77, 84-86]. BİM uygulama örneklerinin çoğu bina tasarımına adanmış olsa da, BİM'in enerji modellemesinde kullanımı gibi diğer bazı alanlara eşdeğer bir vurgu yapılmamıştır. BİM'in kritik uygulamalarından biri, özellikle küresel enerji zorlukları ve sıkı düzenleyici gereklilikler karşısında enerji verimli binaların tasarlanmasında önemli hale gelen enerji simülasyonudur [87]. BİM, ayrıntılı analizler gerçekleştirmek için kullanılabilecek zengin bir bilgi veritabanı sağlayarak enerji simülasyonunu kolaylaştırır. Enerji simülasyonu, yönelim, malzemeler, bina geometrisi, HVAC sistemleri ve kullanım şekilleri gibi çeşitli faktörleri göz önünde bulundurarak binaların enerji performansını modellemek için sofistike yazılım araçlarının kullanılmasını içerir. Tasarımcılar, BİM'i enerji simülasyon araçlarıyla entegre ederek bir binanın enerji performansının daha doğru ve verimli bir şekilde değerlendirilmesini sağlayabilirler.

BİM'in enerji simülasyon araçlarıyla entegrasyonu birkaç adımdan oluşur. Başlangıçta, Autodesk Revit gibi BİM yazılımı kullanılarak binanın 3B modeli oluşturulur. Bu model, binanın tasarımı, malzemeleri ve sistemleri hakkında ayrıntılı bilgiler içerir. BİM modeli daha sonra gbXML (Green Building XML) veya IFC (Industry Foundation Classes) gibi

birlikte çalışabilir formatlar kullanılarak enerji simülasyon yazılımına aktarılabilir [88]. Model EnergyPlus, eQUEST veya Green Building Studio gibi enerji simülasyon yazılımlarına aktarıldıktan sonra çeşitli enerji performans senaryoları simüle edilebilir. Bu araçlar, termal performans, gün ışığı, HVAC verimliliği ve yenilenebilir enerji potansiyeli dahil olmak üzere birden fazla parametrenin analiz edilmesine olanak tanır. BİM ve enerji simülasyonunun entegrasyonu önemli avantajlar sunarken, bazı zorluklar da devam etmektedir. Bunlar arasında verilerin birlikte çalışabilirliği, simülasyon araçlarını çalıştırmak için özel uzmanlık ihtiyacı ve ayrıntılı simülasyonların hesaplama karmaşıklığı ile ilgili konular yer almaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için sürekli araştırma ve geliştirmenin yanı sıra standartlaştırılmış iş akışları ve en iyi uygulamaları oluşturmak için sektörel işbirliği gerekmektedir.

BİM ve uygulamalarına ilişkin nispeten kapsamlı bir literatür taraması, çoğu kaynağın planlama, tasarım, inşaat, işletme ve enerji tüketimine odaklandığını, arşiv yayınlarının ise daha çok tasarım ve enerji tüketimine odaklandığını göstermektedir [89]. Benzer bir eğilim, farklı ülkelerden araştırmacılar tarafından da kaydedilmiştir; yani inşaat şirketleri halihazırda enerji simülasyon araçlarını kullanıyor olsalar da, BİM ve bina enerji modellemesinin tek bir araçta entegrasyonunda bir boşluk vardır, bu da proje için geliştirilen diğer modellerde zaten var olan tüm verilerin yeniden girilmesini önlemeye yardımcı olabilir [90-91]. Bu çalışmada kullanılan BIM aracı olarak Revit'in 2023 versiyonu tercih edilmiştir. Revit, en yaygın kullanılan BIM araçlarından biri olup, bahsedilen tüm özelliklere ve analiz yeteneklerine sahiptir [92-94].

2.2. İlgili Araştırmalar

Bir çalışma, enerji performansı modellemesinde değişkenleri incelemiş ve duvarlar ile çatıların baskın değişkenler olduğunu göstermiştir [95]. Başka bir çalışma, 21 tasarım değişkenini değerlendirerek, çatının termal iletkenliği, güneş emilimi ve pencerelerin havalandırma alanının etkili tasarım değişkenleri olduğunu vurgulamıştır [96]. Bir başka araştırmada ise pencere boyutu, konumu ve yönelimini değiştirilerek 65 farklı tasarım senaryosu üzerinde çalışılmış ve BİM ile enerji yüklerini hesaplanıldığında; pencere-duvar oranının artışının enerji yükünü yükselttiğini ve doğuya bakan pencerelerin en büyük etkiye sahip olduğu belirlenmiştir [97]. Shenyang'da yapılan bir çalışmada, ofis binalarında bina şeklinin ve zarfın enerji tüketimine etkileri DEST yazılımı ile analiz edilmiş ve kareye yakın

bina şekilleri ile düşük ısı transfer katsayısına sahip malzemelerin enerji kaybını azalttığı gösterilmiştir [98]. Polonya'da yapılan bir çalışma ile, bu ülkenin farklı iklim bölgelerindeki enerji talebi analiz edilmiş ve iklimsel bölgenin bina enerji ihtiyaçları üzerindeki önemi vurgulanmıştır [99].

Yapı malzemeleri ve mimari tasarımın enerji verimliliği üzerindeki etkisini inceleyen bir araştırmaya göre, alpolic kaplama ve çift katmanlı pencerelerin %8 daha verimli olduğu, boşluklu duvar yapısının %6 enerji tasarrufu sağladığı ve SCIP panellerinin enerji talebini %3 azalttığı tespit edilmiştir [100]. Elazığ'da yapılan bir çalışma ile bina zarfının yalıtım performansı incelenmiş ve kare binaların enerji tasarrufu açısından avantajları vurgulamıştır [101]. Mardin'de yapılan bir analizde, geleneksel ve modern tasarımlar iklime uyum açısından karşılaştırılmıştır [102]. İzmir'deki bir çalışma kapsamında ise, mimari tasarım ve enerji performansı ilişkileri incenlemiş, enerji değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir [103].

Çatı şekliyle ilgili bir araştırma ile [104], farklı çatı tiplerinin enerji performansı ve rüzgar türbini konumlandırması üzerindeki etkileri CFD simülasyonlarıyla analiz edilmiştir. Bulgular, tonozlu çatıların enerji verimini %56,1 artırabileceğini göstermiştir. İran'da yapılan bir çalışmada [105], kubbeli çatıların düz ve eğimli çatılardan daha iyi enerji performansı sağladığı ve iç mekan sıcaklığını yaklaşık 8 K düşürdüğü belirtilmiştir. Başka bir çalışmada [106], kırma çatıların ortalama enerji tüketimini azalttığı ve iklim senaryolarının tasarımında dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Bina yönelimi ile ilgili iki çalışmada [17, 107], uygun yönelimin enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabileceği ve güney-kuzey yönlerinin daha verimli olduğu bulunmuştur. Hindistan'da yapılan bir araştırma, kuzeye bakan binaların enerji tüketiminde %26,42 azalma sağladığını göstermiştir [108]. Afganistan'da bir vaka çalışmasında [20], en iyi ve en kötü yönelimler arasında enerji maliyetlerinde belirgin farklılıklar tespit edilmiştir. Mısır'da yapılan bir analizde [109], kuzey yöneliminin enerji tüketimini %5,8 oranında azaltabileceği belirtilmiştir.

Çatı şekilleriyle karşılaştırıldığında, bina yöneliminin enerji tüketimi üzerindeki etkisini inceleyen ve binaların toplam enerji kullanımı üzerinde önemli etkileri olduğunu gösteren çok sayıda çalışma bulunmaktadır ve bahsi geçen bu araştırmalar Çizelge 2.1'de

özetlenmiştir. Ancak, Türkiye iklim koşulları altında bina yönelimini özel olarak ele alan herhangi bir çalışma mevcut değildir.

Çizelge 2.1. Yapılan ilgili araştırmalar (literatür taraması)

Araştırma Konusu	Metodoloji	Önemli Bulgular	Kaynak
Enerji performansı modellemesinde değişkenler	Değişken analizi	Duvarlar ve çatıların baskın değişkenler olduğu bulunmuştur.	[95]
21 tasarım değişkeninin etkisi	Her kriterde tasarım değişkenlerinin analizi	Çatı termal iletkenliği, güneş emilimi ve pencere havalandırma alanı etkili tasarım değişkenleridir.	[96]
Pencere boyutu, konumu ve yöneliminin enerji talebine etkisi	65 tasarım senaryosu, BIM enerji yükü hesaplaması	Doğuya bakan pencereler en büyük etkiye sahip; pencere-duvar oranı enerji yükünü artırır.	[97]
Bina şekil katsayısı ve zarfın ısı transfer katsayısı	DEST enerji simülasyonu	Kareye yakın şekiller ve düşük ısı transfer katsayılı malzemeler enerji kaybını azaltır.	[98]
Polonya'daki iklim bölgelerinin enerji talebine etkisi	Enerji analizleri	Kuzeydoğu bölgesindeki binalar en yüksek enerji talebine sahiptir.	[99]
Farklı yapı malzemeleri ve tekniklerin enerji verimliliği	Mevcut binalar üzerinde analiz	Boşluklu duvar yapısı %6, alpolic kaplama %8 enerji verimliliği sağlar.	[100]
Bina zarfının ısı yalıtımı ve yönlendirme açıları	Yalıtımlı ve yalıtımsız bina analizi	Kare binaların avantajları; optimal açıların enerji tasarrufu sağladığı bulunmuştur.	[101]
Mardin'de geleneksel ve modern tasarımlar	Alan seçimi ve zarf tasarımı analizi	Termal değerlendirmeler geleneksel tasarımın avantajlarını göstermiştir.	[102]
İzmir'de konut binalarının enerji performansı	İstatistiksel analiz	Mimari tasarım ve yasal düzenlemelerin geliştirilmesi önerilmiştir.	[103]
Çatı şeklinin enerji verimi üzerindeki etkisi	CFD simülasyonları	Tonozlu çatı enerji verimini %56,1 artırabilir.	[104]
Çatı şeklinin hava akışı ve iç sıcaklığa etkisi	Matematiksel ve CFD modelleme	Kubbeli çatılar enerji performansında daha iyi; iç mekân 8 K daha soğuk.	[105]
İklim değişikliği bağlamında çatı konfigürasyonları	TMY verileri ve enerji analizi	Kırma çatı ortalama enerji tüketiminde azalma sağlar.	[106]
BIM ile bina yönelimi analizi	BIM tabanlı analiz	En iyi yönelim enerji maliyetini 878 £ azaltır.	[17]
Astana'da bina yönelimi ve enerji tüketimi	BIM tabanlı analiz	Güney ve kuzey yönelimleri enerji verimliliği için idealdir.	[107]
Hindistan'daki şehirlerde yönelimin enerji tüketimine etkisi	BEopt yazılımı ile enerji analizi	Kuzeye bakan Delhi binalarında %26,42 enerji tasarrufu sağlanmıştır.	[108]

Çizelge 2.1. (devam) Yapılan ilgili araştırmalar (literatür taraması)

Araştırma Konusu	Metodoloji	Önemli Bulgular	Kaynak
Afganistan'da yönelime göre enerji analizi	Simülasyon tabanlı yönelim senaryoları	En iyi yönelim ve en kötü yönelim arasında %2,65 fark vardır.	[20]
Mısır'da yönelimin enerji performansı üzerindeki etkisi	Enerji tüketimi karşılaştırmaları	Kuzey yönelimi enerji talebini %5,8 azaltabilir.	[109]

Mevcut literatür, bina zarflarının özellikle çatı şekli ve yönelimi açısından önemini kabul etmekle birlikte, Türkiye gibi birbirinden çok farklı özellikler gösterebilen farklı iklim bölgelerine sahip olan ülkelerde, bu faktörlerin etkilerinin anlaşılmasında önemli bir boşluk olduğunu göstermektedir. Çalışmamız ile farklı iklim tiplerini en detaylı ifade eden Aydeniz modeli seçilerek, Türkiye'deki farklı iklim bölgelerinin çatı şekli ve bina yönelimi açısından tek katlı bir konutun (ısıtma ve soğutma ihtiyacı gözetilerek) yıllık enerji tüketimi araştırılarak ve karşılaştırma yapılarak, literatürdeki bu boşluğun doldurması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın önemi; araştırma sonucu elde edilen bulguların, teorik bilginin ötesine geçerek, "bölgesel iklim koşullarına uygun enerji verimli binaların tasarımı" için şehir plancıları, politika yapıcılar, inşaat mühendisleri ve mimarlar açısından bilimsel tabanlı ve uygulanması kolay veriler sunmuş olması ve enerji kullanımında sürdürülebilir inşaat uygulamaları bakımından önemli katkılar sağlayacak nitelikte olmasıdır.

3. MATERYAL VE METOT

Çalışmamızda, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde çatı şekli, bina yönelimi ve yalıtımın tek katlı konutlardaki yıllık enerji tüketimine etkileri analiz edilmiştir. Mevcut literatür, bina zarflarının özellikle çatı şekli ve yönelimi açısından önemini vurgulamakla birlikte, bu faktörlerin Türkiye'nin farklı iklim koşullarındaki etkilerine yönelik kapsamlı çalışmaların sınırlı olduğunu göstermektedir.

Bu bağlamda, çalışma pilot bina modeli oluşturularak, farklı çatı tipleri ve yönelimlerin enerji tüketimi üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bulguların, bölgesel iklim koşullarına uygun enerji verimli bina tasarımlarına katkı sağlaması ve sürdürülebilir inşaat uygulamalarına rehberlik etmesi beklenmektedir.

Bu amaç doğrultusunda, pilot bina tasarımı kapsamında düz, beşik ve kırma çatı tipleri belirlenmiş ve binaların girişleri tam güneye bakacak şekilde yönlendirilerek, 10 derecelik artışlarla saat yönünde döndürülmüştür. Çalışmada, Türkiye'nin iklim yapısını en iyi temsil eden bölgeleri belirlemek için Aydeniz sınıflandırması kullanılmış ve her bölge için örnek iller seçilmiştir. Enerji tüketimi analizleri, binaların hem yalıtımlı hem de yalıtımsız olduğu senaryolar üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Metodolojik yaklaşımda, dijital bina modelleri Revit 2023 yazılımı ile oluşturulmuş, enerji tüketimi analizleri için ise EnergyPlus programı kullanılmıştır. Revit, bina modellerinin enerji tüketimini analiz ederken gerçek konum verilerini ve meteoroloji istasyonlarını temel alarak doğruluk sağlamaktadır. EnergyPlus ise 20 farklı veri tabanından yararlanarak, analizlerin güvenilirliğini ve tutarlılığını artırmaktadır. Son olarak, metodun doğruluğunu test etmek amacıyla validasyon süreci gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçların güvenilirliği değerlendirilmiştir.

3.1. İklim Sınıflandırılması

Birçok bilim insanı çeşitli iklim sınıflandırmaları yapmış ve aralarında önemli fikir farklılıkları bulunmaktadır [110]. Bu durum, farklı araştırmacılar arasındaki bakış açısı farklılıklarını vurgulamanın yanı sıra kusursuz sonuçlar üreten kusursuz bir formülün

eksikliği olarak da yorumlanabilir. Bu formüllerden bazıları oldukça basitken, bazıları oldukça karmaşıktır. Ancak en uzun formülün en doğru sonucu vereceği varsayılamaz. Araştırmacılar iklim analizinde farklı kriterleri dikkate alırlar. Bu kriterler arasında "yağışın sıcaklığa oranı", "yağışın buharlaşmaya oranı", "yağış desenleri ve bitki örtüsü" bulunmaktadır. İklim sınıflandırmalarındaki farklılıklar, su dengesini hesaplama farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Çoğu formülde yağış her zaman gelir kısmında iken giderler payda olarak yazılarak bir indeks değeri elde edilir. Ancak giderlerin toplamını hesaplamak neredeyse imkansızdır (yeraltı akışı, sızma, buharlaşma). İklim karmaşık bir olgudur ve tek bir iklim öğesine dayalı olarak sınıflandırmak çok genel bir yaklaşım olup tüm bölgeler için uygun değildir.

İklim sınıflandırması ve iklim analizi çalışmalarında mümkün olduğunca uzun vadeli ortalamalar ve güvenilir homojen veriler kullanmak önemlidir. Türkiye'nin iklim bölgelerini belirlemek için bilim insanları Köppen, Trewartha, Aydeniz, Erinç, Thornthwaite ve De Martonne gibi araştırıcıların kullandığı çeşitli yöntemler çeşitli faktörleri dikkate alarak incelenmiştir [111]. Bunun sonucunda da Türkiye'nin iklim bölgelerini belirlemek için "Aydeniz [112] sınıflandırma sisteminin kullanılması tercih edilmiştir. Bu seçimin temel nedeni, bu yöntemin Türkiye'deki altı iklim bölgesini kapsayan en geniş sınıflandırmayı sağlamasıdır. Çünkü iklimsel çeşitliliği gösteren skalanın geniş tutulması, binaların enerji performansı ve yapı malzemelerinin seçimi açısından son derece önemli olan "yerel iklimin" daha hassas bir şekilde göz önünde bulundurulmasını sağlamaktadır. Daha geniş bir iklim sınıflandırması, her bir bölgenin özel iklim koşullarını detaylı bir şekilde yansıtma imkanı tanır. Bu, özellikle yapıların ısıl konforunu ve enerji verimliliğini optimize etme açısından faydalıdır. Daha az sayıda iklim bölgesine dayalı bir sınıflandırma kullanmak, yerel iklimin farklılıklarını göz ardı edebilir ve bu da inşaat sektöründe kullanılan malzemelerin ve yöntemlerin verimsiz olmasına neden olabilir. Türkiye'nin farklı bölgelerindeki iklim koşulları, sıcaklık, nem ve rüzgar gibi unsurlar bakımından büyük farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle, her bir bölgenin iklim özelliklerini daha doğru bir şekilde tanımlamak, binaların enerji tüketimini doğru şekilde tahmin etmeyi sağlar ve sürdürülebilir inşaat uygulamalarına olanak tanımaktadır. Ayrıca, enerji verimliliği ve çevresel etkiler açısından daha yüksek sınıflandırmalar, yerel koşullara daha uygun çözümler geliştirilmesine yardımcı olup, böylece bina performansını artırırken çevresel etkileri de minimize etmektedir [113].

Bu çalışmanın temelinde kullanmış olduğumuz Aydeniz iklimsel sınıflandırma sistemine göre [112], Türkiye'nin iklimi altı farklı bölgeye ayrılmaktadır: “Çok kurak”, “Kurak”, “Yarı kurak”, “Nemli”, “Yarı nemli” ve “Çok nemli”. Harita 3.1’de bu bölgeler görsel olarak temsil edilmiştir. Türkiye’deki resmi uygulamalara göre, binalar için termal yalıtım malzemelerinin optimal kalınlığını belirleyen “TS 825” adında bir standart oluşturmuştur [114]. Bu standart, bu çalışmada kullanılan iklim sınıflandırmasından farklı olarak, Türkiye'nin iklimini beş farklı bölgeye ayırır [115]. Bu standart, Türkiye'nin iklim bölgeleri genelinde yalıtım malzemelerinin kalınlığının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ancak TS 825 standardı, bina yönlendirme ve çatı şekilleri konusunda herhangi bir öneri sunmadığından, bu çalışma ile elde edilen sonuçlar sürekli olarak TS 825 standartı ile karşılaştırılmıştır.

A.Ü. Ziraat Fakültesi öğretim üyesi Prof. Dr. Akgün Aydeniz’in geliştirdiği formülde, yağış, sıcaklık, nispi nem ve güneşlenme süresi verileri kullanılmaktadır [116-117].

Formül:

$$Nks = \frac{Y \times Nn}{S \times Gs + 15} \times Np \text{ (yıllık)}$$

$$\text{Kuraklık Katsayısı} = Kks = \frac{1}{Nks}$$

Şekil 3.1. Aydeniz iklim sınıflandırma formülü

Yukarıdaki şekil Aydeniz iklim sınıflandırma formülünü, bileşenlerini ve iklim indekslerini hesaplama metodolojisini özetlemektedir.

Bileşenler şu şekilde tanımlanmaktadır:
Nks: nemlilik katsayısı

Y: yağış (cm)

Nn: nispi nem

S: sıcaklık (°C)

Gs: gerçek güneşlenme süresinin o enlemdeki teorik güneşlenme süresine oranı (%)

Np: nemli periyot %'si

Nks değeri 0,40'dan fazla olan ay sayısı 12'ye bölünerek bulunur. Aylık hesaplamada Np yerine 12 kullanılır. Kuraklık katsayısı (Kks) 1/Nks ile bulunur.

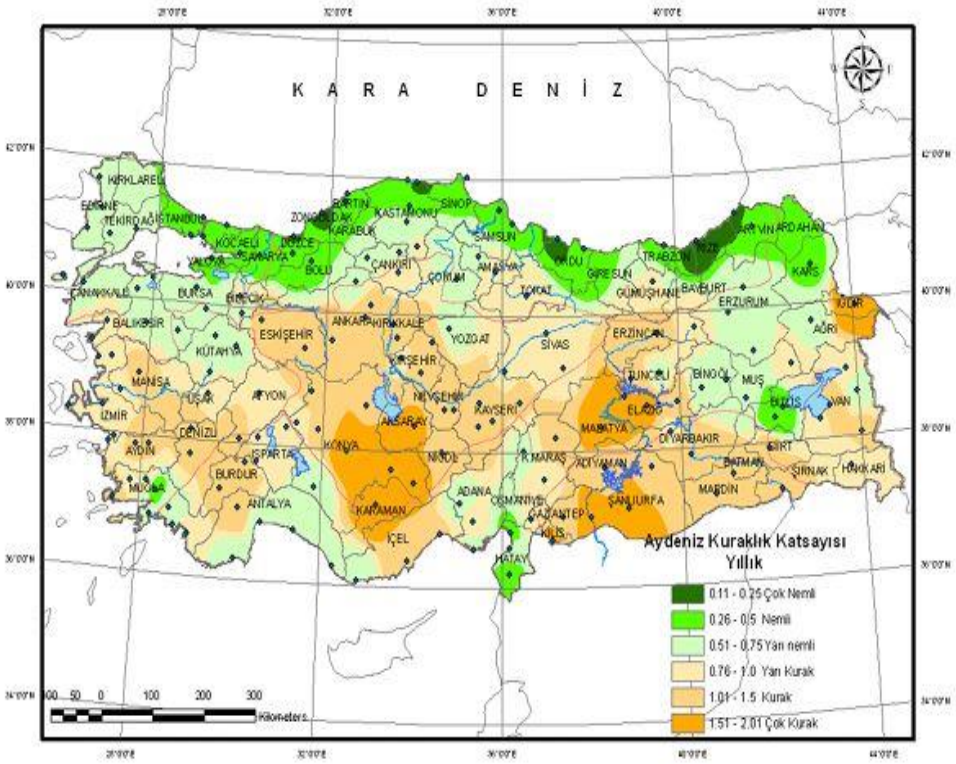
Prof. Aydeniz, elde edilen indis değerlerine göre yedi ayrı iklim sınıfı tanımlamıştır. Bu formülü Ankara'nın uzun yıllar boyunca toplanan verilerine uygularsak:
Nks = (41,3 × 0,62 × 0,75) / ((11,7 × 0,54) + 15) = 0,90 olarak hesaplanır.

Kks ise 1 / 0,90 = 1,11 bulunur. Aydeniz formülünün sonucuna göre, Ankara'nın iklimi "kurak" olarak sınıflandırılır.

Aydeniz yöntemine göre iklim sınıflandırma formülleri uygulanarak bulunan Nks ve Kks değerlerine göre iklimsel özelliklerin isimlendirilmesi Çizelge 3.1'de, iklim bölgelerinin Türkiye'de coğrafi olarak yayılımı ise Harita 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Aydeniz formülüne göre iklim özelliği adları [116-117].

Nks	Kks	İklim Özelliği
0.40'dan az	2.50'den fazla	Çöl
0.40-0.67	1.50-2.50	Çok Kurak
0.67-1.00	1.00-1.50	Kurak
1.00-1.33	0.75-1.00	Yarı Kurak
1.33-2.00	0.50-0.75	Yarı Nemli
2.00-4.00	0.25-0.50	Nemli
4.00'dan fazla	0.25'den az	Çok Nemli



Harita 3.1. Türkiye'nin iklim bölgeleme sınıflandırması, Aydeniz yöntemi [111]

3.2. Şehir Seçimi

Türkiye'de altı iklim bölgesi tanımlayan Aydeniz iklim bölgesi sınıflandırma yöntemi benimsendikten sonra, her iklim bölgesinden üç büyük şehir seçilmiştir. Bu seçimler Nks değerlerine göre yapılmıştır. Spesifik olarak, her iklim bölgesi için, bölgeyi temsil etmek üzere en düşük Nks değerine sahip bir şehir, orta aralıkta bir değere sahip bir şehir ve en yüksek Nks değerine sahip bir şehir seçilmiştir. Seçilen tüm şehirler Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Aydeniz formülüne göre incelenen şehirlerin listesi ve sınıflandırması

Şehir	Enlem	Boylam	İklim Bölgesi (Aydeniz sınıflandırmasına göre)
Iğdır	39,9201° N	44,0436° E	Çok kurak
Şanlıurfa	37,1674° N	38,7955° E	Çok kurak
Adıyaman	37,7636° N	38,2773° E	Kurak
Ankara	39,9334° N	32,8597° E	Kurak

Çizelge 3.2. (devam) Aydeniz formülüne göre incelenen şehirlerin listesi ve sınıflandırması

Şehir	Enlem	Boylam	İklim Bölgesi (Aydeniz sınıflandırmasına göre)
Konya	37,8746° N	32,4932° E	Kurak
Eskişehir	39,7667° N	30,5256° E	Yarı kurak
İzmir	38,4237° N	27,1428° E	Yarı kurak
Adana	36,9914° N	35,3308° E	Yarı kurak
Bartın	41,6376° N	32,3338° E	Nemli
İstanbul	41,0082° N	28,9784° E	Nemli
Samsun	41,2797° N	36,3361° E	Nemli
Antalya	36,8969° N	30,7133° E	Yarı nemli
Bursa	40,1885° N	29,0610° E	Yarı nemli
Erzurum	39,9055° N	41,2658° E	Yarı nemli
Giresun	40,9175° N	38,3927° E	Çok nemli
Rize	41,0255° N	40,5177° E	Çok nemli
Zonguldak	41,4535° N	31,7894° E	Çok nemli

Bu çizelge, şehirleri Aydeniz iklim sınıflandırması yöntemine göre kategorize etmekte, sınıflandırma puanlarını göstermekte ve şehirleri altı iklim bölgesine ayırmaktadır. Türkiye'deki bölgesel dağılımı ve iklim çeşitliliğini anlamak için kritik öneme sahiptir.

Her iklim bölgesi için üç şehir seçilmesinin temel nedeni, aynı iklim kategorisi altında sınıflandırılan şehirler arasında sonuçların karşılaştırılmasını kolaylaştırmaktır. Bu karşılaştırma, aynı iklim sınıflandırması içindeki şehirlerin enerji tüketiminde benzer kalıplar sergileyip sergilemediğini değerlendirmemize ve bu şehirler için iklim sınıflandırmasının doğruluğunu onaylamamıza olanak tanır. Ancak, "Çok kurak" bölge sınıflandırmasında sadece iki şehrin çıkmış olduğundan, analiz için sadece bu iki şehir ele alınmıştır.

Aydeniz sınıflandırmasına ek olarak, bu çalışmada iki sınıflandırma yöntemini karşılaştırmak için "TS 825 sınıflandırması" da kullanılmıştır. Aydeniz formülü kullanılarak belirlenmiş olan şehirlerin TS 825 standart sınıflandırmasına [114] göre iklim bölgeleri de gösterilmiş (Çizelge 3.3), böylece imar ve uygulanabilir standartlardaki farklılıklar açısından bu şehirlerin durumu (hangi iklim bölgesinde olduğu) belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. İncelenen şehirler listesi ve sınıfları

Şehir	Enlem	Boylam	Iklim Bölgesi (TS 825 standartına göre)
Iğdır	39,9201° N	44,0436° E	3’üncü Bölge
Şanlıurfa	37,1674° N	38,7955° E	2’inci Bölge
Adıyaman	37,7636° N	38,2773° E	2’inci Bölge
Ankara	39,9334° N	32,8597° E	3’üncü Bölge
Konya	37,8746° N	32,4932° E	3’üncü Bölge
Eskişehir	39,7667° N	30,5256° E	3’üncü Bölge
İzmir	38,4237° N	27,1428° E	1’inci Bölge
Adana	36,9914° N	35,3308° E	1’inci Bölge
Bartin	41,6376° N	32,3338° E	2’inci Bölge
İstanbul	41,0082° N	28,9784° E	2’inci Bölge
Samsun	41,2797° N	36,3361° E	2’inci Bölge
Antalya	36,8969° N	30,7133° E	1’inci Bölge
Bursa	40,1885° N	29,0610° E	2’inci Bölge
Erzrum	39,9055° N	41,2658° E	5’inci Bölge
Giresun	40,9175° N	38,3927° E	2’inci Bölge
Rize	41,0255° N	40,5177° E	2’inci Bölge
Zonguldak	41,4535° N	31,7894° E	2’inci Bölge

TS 825 standardı Türkiye'nin iklimini beş bölgeye ayırmaktadır ve bunlardan dördü bu çalışmaya dahil edilmiştir. Ancak, 4. bölge için Aydeniz sınıflandırmalarında seçilen herhangi bir şehirle eşleşme ortaya çıkmamıştır.

3.3. Prototip Tek Katlı Konut Tasarımı

Tasarım süreci Revit yazılımının kullanılmasıyla başlamış ve modelleme başlangıçta iki katlı bir konut binasına odaklanmıştır. Ancak, gözden geçirenlerden gelen geri bildirimlerin ardından tasarım, dört kişilik bir aile için tasarlanmış tek katlı bir konut yapısı olarak revize edilmiştir. Bu değişikliğin temel nedeni, konut binalarının önemli bir çoğunluğunun tek katlı olduğu Türkiye'deki yaygın mimari eğilimdir [118].

Ayrıca, tek katlı bir konfigürasyona geçiş, çatı şekli ve yöneliminin enerji tüketimi üzerindeki etkisinin daha odaklı bir şekilde incelenmesine olanak sağlamıştır. Çatı yüzey alanının binanın genel kabuk yüzeyine oranının daha yüksek olmasıyla, çalışma bu

faktörlerin enerji verimliliğini nasıl etkilediğini araştırmayı amaçlamıştır. Tasarımı Türkiye'deki yaygın mimari manzarayla uyumlu hale getirerek ve çatı özelliklerinin önemini vurgulayarak, araştırma gerçek bina uygulamalarına ve enerji performansı hususlarına uygulanabilir içgörüler sağlamayı amaçlamıştır.

3.4. Bina Modeli Ölçüleri

Model üç yatak odası, bir banyo, bir mutfak, bir tuvalet ve bir salondan oluşan ve toplam boyutları 187,3 metre kare (15,61 × 12,36 metre) olan bir konut binasına sahiptir. Literatürde vurgulandığı üzere, konut binaları için tercih edilen şekil tipik olarak kare veya dikdörtgen şeklindedir [101]. Bu nedenle, modelin genel planı neredeyse kare olacak şekilde tasarlanmıştır. Türkiye resmi verilerine göre, ülkede en yaygın konut tipi tek aile evleridir. Villa tipi evlerde ortalama yaşam alanı 187 metrekare olarak belirlenmiştir [119], bu nedenle, çalışmada tercih edilen konut tipi tek ailelik ev olarak seçilmiştir.

Pencereler, iç duvarlar ve kapılar da dahil olmak üzere mimari unsurlar titizlikle modele dahil edilmiştir. Pencerelerin yerden yüksekliği ve boyutları tüm modellerde aynıdır. Pencerelerin enerji tüketimi üzerindeki etkisi bu çalışmada analiz edilmemiştir, çünkü pencere-duvar oranı [120], cam türleri [121] ve pencere yüksekliği [122] gibi faktörleri ele alan çok sayıda çalışma ve yönetmelik zaten mevcuttur.

Belirlenen modele göre; binanın kuzey cephesi tek bir pencereye sahipken, güney cephesi iki pencere ile donatılmıştır. Ayrıca, doğu cephesinde iki, batı cephesinde ise üç pencere bulunmaktadır. Tüm pencereler çift camlı tipte olup Türkiye'de yaygın bir pencere konfigürasyonunu temsil etmekte olup binanın yapısal özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Bina planı ve ölçüleri

Seçilen bina modelinin mimari yerleşimi, oda düzenlemeleri, boyutlar ve prototipin yapısal bileşenlerine ait detaylar Şekil 3.2'de görülmekte olup, aynı zamanda bina yerleşimi ve yönelimine ilişkin görsel bir genel bakış sağlamaktadır. Mimari bileşenlerin yanı sıra, kolon ve kiriş gibi yapısal unsurlar da modele dahil edilmiş olup sütunlar, bina kat planı ve analiz edilen çatı şekilleri modele dahil edilmiştir.

Revit modellerinde kullanılan duvarlar, tavanlar ve temeller için ayrıntılı özellikler Çizelge 3.4'de verilmiştir. Veriler, doğru enerji simülasyonu için gerekli malzeme türlerini, kalınlıkları ve termal özellikleri içermektedir.

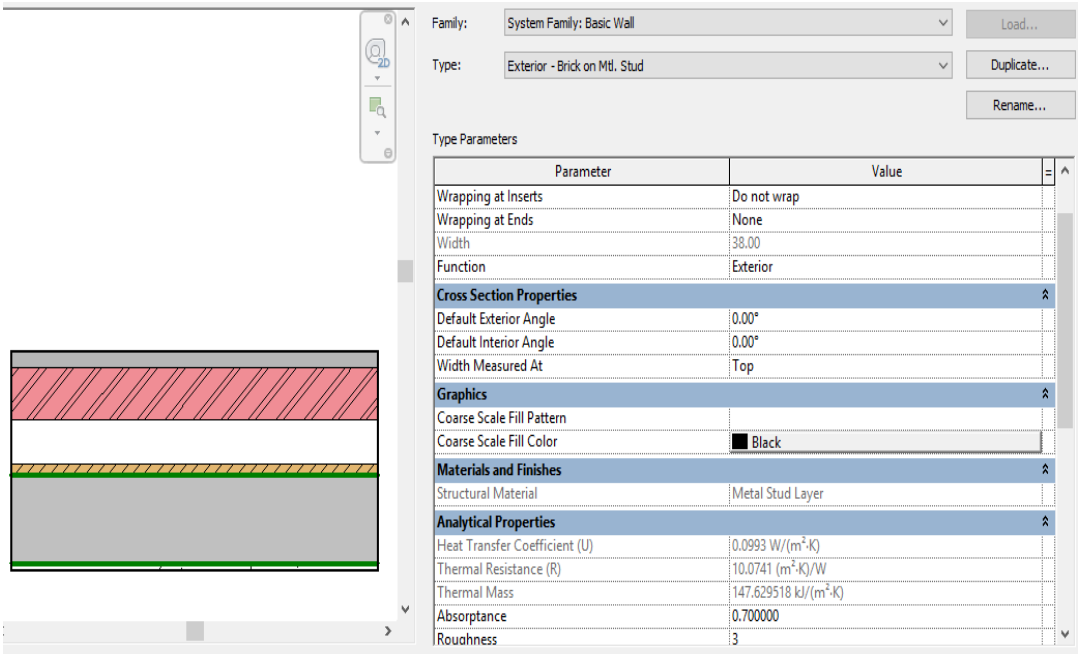
Çizelge 3.4. Revit modeline göre duvarlar, tavan ve temel özellikleri

Çatı (beton)	Birim
Kalınlık	33 cm
Isı Transfer Katsayısı (U)	0,6084 W/ (m^2.k)
Termal Direnç	1,6437 (m^2. k)/ W
Termal Kütle	341,64 kj/k
Soğurma	0,700000
Pürüzlülük	3
Temel (Yerinde Beton)	

Çizelge 3.4. (devam) Revit modeline göre duvarlar, tavan ve temel özellikleri

Kalınlık	42,5 cm
Isı Transfer Katsayısı	0,6084 W/ (m^2. K)
Termal Direnç	1,6437 (m^2. k)/ W
Termal Kütle	31,74 KJ/K
Soğurma	0,700000
Pürüzlülük	3
Duvarlar	
Kalınlık	38 cm
Isı Transfer Katsayısı (U)	0,1054 W/ (m^2.k)
Termal Direnç	9,4859 (m^2. k)/ W
Termal Kütle	144,3595 kj/k
Soğurma	0,700000
Pürüzlülük	3

Bina modelinde 38 cm kalınlığında tuğla kalıp duvar sistemi ve 42,5 cm kalınlığında masif beton temel kullanılmış olup; malzeme bileşimi ve yapısal boyutlar da dahil olmak üzere prototip binanın duvar özellikleri Şekil 3.3'de detaylandırılmıştır.

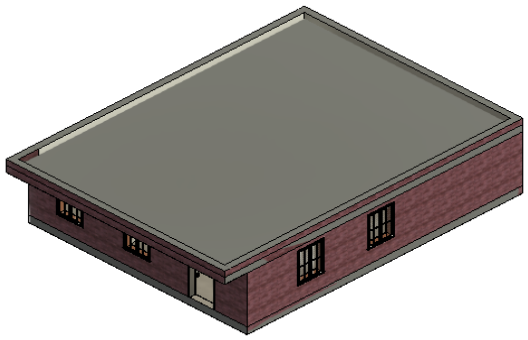


Şekil 3.3. Duvar özellikleri

3.5. Model Binada Çatı Tasarımı

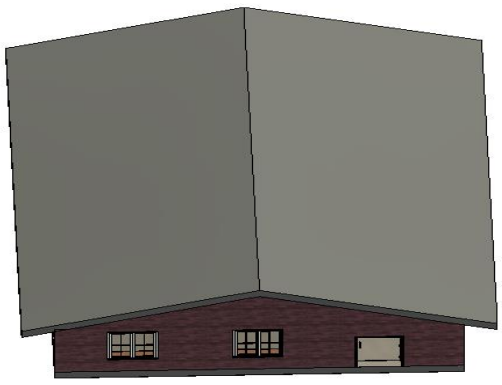
Yine 42,5 cm kalınlığında betondan yapılan çatı sistemi modelleri olarak düz çatı, beşik çatı ve kırma çatı (Şekil 3.6) seçilmiştir.

Düz çatı tasarımını ve bunun bina modeline entegrasyonu (Şekil 3.4)'de görülmektedir. Düz çatılar herhangi bir eğim olmaksızın tasarlanmıştır. Düz çatı belirtilen malzeme ve boyutlara uygundur.



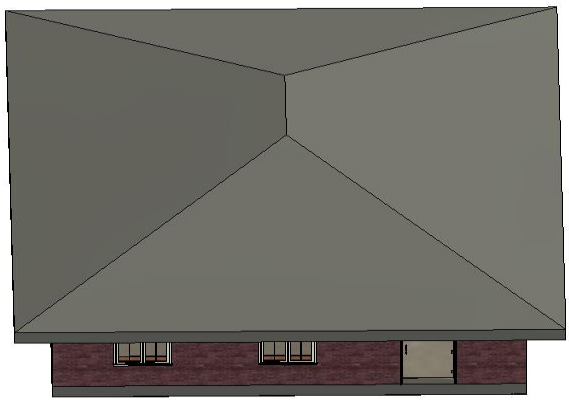
Şekil 3.4. Düz çatı bina model

Beşik çatı modelinde de, düz çatı ile aynı malzemeler kullanır. Ancak beşik çatıda modelinde, her biri 15 derece eğime sahip iki eğimli yüzey bulunmaktadır. Şekil 3.5 açısal eğime sahip beşik çatı tasarımını ve modeldeki uygulamasını göstermektedir.



Şekil 3.5. Beşik çatı bina modeli

Kırma çatıda ise dört eğimli yüzey bulunmakta olup, her biri yataydan 15 derecelik bir açıyla tasarlanmış dört açılı kenara sahiptir. Bu model de, diğer iki çatı tipiyle aynı malzemeleri ve kalınlığı kullanır. Şekil 3.6'de enerji performansını optimize etmek için tasarlanmış olan dört eğimli kırma çatı tasarımı verilmiştir.



Şekil 3.6. Kırma çatı modeli

Analizlerde kullanılan düz, beşik ve kırma çatı modellerinin temel özellikleri Şekil 3.7'de verilmiştir. Üç farklı çatı şeklinin seçilmesinin nedeni, bunların çeşitli bina yönlerinde enerji tüketimi üzerindeki etkilerini analiz etmektir.

Parameter	Value
Construction	
Structure	Edit...
Default Thickness	33.30
Graphics	
Coarse Scale Fill Pattern	
Coarse Scale Fill Color	Black
Analytical Properties	
Heat Transfer Coefficient (U)	0.5861 W/(m²·K)
Thermal Resistance (R)	1.7063 (m²·K)/W
Thermal Mass	438.592000 kJ/(m²·K)
Absorptance	0.700000
Roughness	3
Identity Data	
Type Image	
Keynote	
Model	
Manufacturer	
Type Comments	
URL	

Şekil 3.7. Tasarlanan 3 farklı çatı tipinin Revit ortamında özellikleri

3.6. Enerji Ayarları ve Analiz Metotu

Mimari ve yapısal özelliklere ek olarak, bu analiz için Revit ortamındaki enerji ayarları da gereklidir. Bu nedenle, Revit'teki enerji ayarları için aşağıdaki hususlar dikkate alınmıştır:

EnergyPlus:

Revit, doğal ve yapay aydınlatmayı (elektrik aydınlatma) simüle etmek için gerçek hava koşullarına dayalı olarak çalışır. Bu simülasyon, enerji analizleri için her şehirde bulunan en yakın hava istasyonunun verileriyle oluşturulmuştur [123].

EnergyPlus, binaların enerji performansını modellemek için yaygın olarak kullanılan ayrıntılı bir enerji simülasyon yazılımıdır. EnergyPlus, hava koşullarını hesaba katmak için tipik TMY verilerini içeren hava durumu veri dosyalarına dayanır. EnergyPlus, bina enerji kullanımını etkileyen dış ortam koşullarını simüle etmek için hava durumu veri dosyalarına ihtiyaç duyar. Bu dosyalar, tüm bir yıl için saatlik verileri içeren EPW (EnergyPlus Weather) gibi formatlardadır. Hava durumu dosyaları şunları içermektedir [124]:

a) Sıcaklık: kuru termometre sıcaklığı (hava sıcaklığı), çiğlenme noktası sıcaklığı (nem hesaplamaları için)

b) Güneş radyasyonu: küresel yatay radyasyon, doğrudan normal radyasyon, dağınık yatay radyasyon

c) Rüzgar: rüzgar hızı, rüzgar yönü

d) Nem oranı ve bağıl nem

e) Gökyüzü koşulları: gökyüzü açıklığı (gün ışığı ve güneş ısısı kazancını hesaplamak için kullanılır)

f) Diğerleri (barometrik basınç, yağış (bazı durumlarda), zemin sıcaklığı (toprak ısı transferi modelleri için), zemin sıcaklığı (toprak ısı transferi modelleri için)

EnergyPlus hava durumu dosyaları genellikle uzun süreli hava durumu ölçümlerinden elde edilir. Bu veriler şuradan gelebilir [125]:

a) Meteoroloji istasyonları

b) Uydu gözlemleri

c) İklim modellerine dayalı sentetik veriler

Isıtma sistemi:

Ev için ısıtma sistemi doğal gazlı bir ısıtıcı (kombi) sistem kullanılarak tasarlandı. Uygun bileşenler ve ekipmanlar (petekler ve borular) modele göre seçildi ve bina modeline entegre edildi.

Malzeme termal özellikleri:

Revit, enerji analizinin bir parçası olarak yapı elemanlarındaki ısı transferini ve enerji performansını simüle etmek için malzeme termal özelliklerini kullanmaktadır. Revit'teki her malzemeye, ısıyı nasıl depoladığını ve aktardığını tanımlayan termal iletkenlik, yoğunluk ve özgül ısı gibi termal özellikler atanabilir. Bu malzemeler bina montajlarında (duvarlar, çatılar veya zeminler gibi) kullanıldığında, Revit montajların genel termal direncini (R-değeri) ve termal geçirgenliğini (U-değeri) hesaplar. Bu özellikler daha sonra ısıtma ve

soğutma yükü analizleri gibi enerji simülasyonlarında kullanılarak binanın dış kabuğunun dış ve iç sıcaklık koşullarıyla nasıl etkileşime girdiğini değerlendirir [126]. Çatı ve yön haricindeki yapısal elemanlar, tüm modellerde sabit olarak hesaplanmıştır (temel, duvarlar, pencere çerçeveleri vb.).

Konfor dereceleri:

Binalar için enerji ayarları ısıtma başlangıç noktası 15°C olacak şekilde belirlenmiştir, yani iç ortam sıcaklığı 15°C'ye düştüğünde ısıtma sistemi devreye girecektir. Soğutma ayarı 30°C olarak belirlenmiştir, yani iç ortam sıcaklığı 30°C'ye ulaştığında soğutma sistemi devreye girecektir. Bu ayarlar, Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE) tarafından oluşturulan "ASHRAE el rehberi" kitabında, "*bina sakinlerinin %80'i veya daha fazlası için termal olarak kabul edilebilir olan iç mekan konfor koşullarını belirleyen standartlar*" olarak verilmektedir (ASHRAE handbook, Atlanta, 644) [127]. Genel olarak, bazen 'konfor bölgesi' olarak da adlandırılan bu konfor koşulları kışın 20°C ile 24°C arasında, yazın ise 23°C ile 26°C arasında değişmektedir [128-130].

Termal konfor üzerine yapılan çalışmalarda farklı sıcaklık dereceleri önerilmekle beraber [131], bu çalışmada Türkiye konutları için (ekonomik ve kültürel faktörler nedeniyle), yıllık enerji tüketimindeki hassasiyeti daha doğru yansıtabilmek için ayar noktaları tipik olarak ısıtma için 15°C ve soğutma için ise 30°C olarak kabul edilmiştir.

Evin doluluğu:

Bu ayar, binaların yılda kaç gün dolu olacağına göre belirlenir. Yapılandırmamızda, doluluk tüm yıl boyunca, günde 24 saat olarak ayarlanmıştır. Binalar dört kişilik bir aile için tasarlandığından, ailenin yılın her günü binaları işgal edeceği varsayılmıştır. Gerçekci enerji senaryolarını simüle etmek için Revit yazılımında yapılandırılan enerji ayarları (kullanılan ve tüm binalar ve analizler için geçerli olan enerji ayarları) Şekil 3.8'de gösterilmektedir.

Parameter	Value
Energy Analysis	
Area per Person	105.820 m²
Sensible Heat Gain per person	73.27 W
Latent Heat Gain per person	58.61 W
Lighting Load Density	10.76 W/m²
Power Load Density	10.76 W/m²
Infiltration Airflow per area	0.19 L/(s·m²)
Plenum Lighting Contribution	20.0000%
Occupancy Schedule	Home Occupancy - 24 Hours
Lighting Schedule	Residential Lighting - All Day
Power Schedule	Residential Lighting - All Day
Outdoor Air per Person	2.36 L/s
Outdoor Air per Area	0.30 L/(s·m²)
Air Changes per Hour	0.000000
Outdoor Air Method	by People and by Area
Opening Time	01:00
Closing Time	00:00
Unoccupied Cooling Set Point	30.00 °C
Heating Set Point	15.00 °C
Cooling Set Point	30.00 °C
Humidification Set Point	0.0000%
Dehumidification Set Point	70.0000%

Şekil 3.8. Revit yazılımında kullanılan enerji ayarı

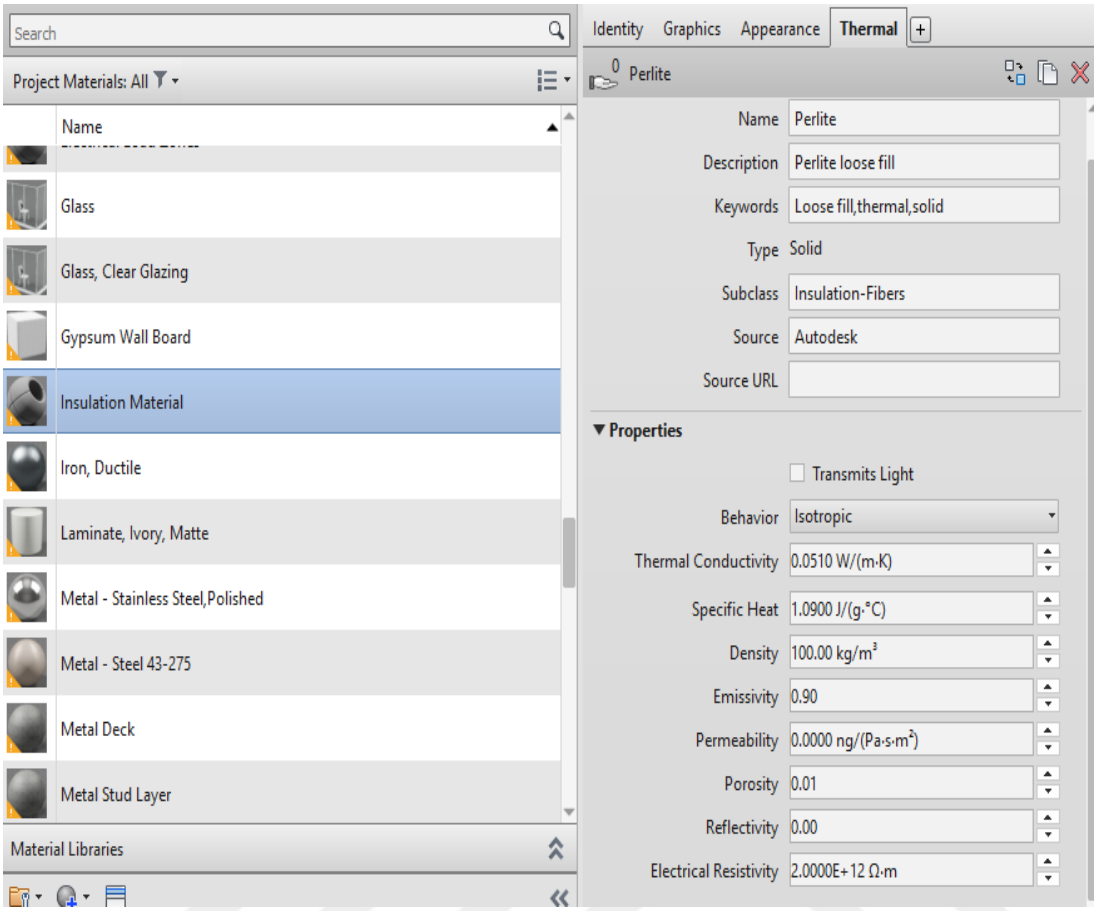
3.7. Yalıtım (Mantolama) Özellikleri

Mevcut ticari ve konut binalarının ısı yalıtımı, düşük maliyetle CO_2 azalımı sağlayarak önemli ekolojik faydalar sunar. Isı yalıtım malzemeleri veya yalıtım sıvaları, binaların yalıtımında kullanılmaktadır. Ayrıca, binaların cephelerini kaplamak için uygun boya seçimi, sadece yaz aylarında değil kış aylarında da enerji tasarrufunu etkileyebilmektedir [132]. Binaların ısı yalıtımı, özellikle kış ve yaz aylarında aşırı sıcaklıklar göz önünde bulundurulduğunda, bina kullanıcılarının ısıl konforunu korumada önemli bir rol oynar. Yalıtım, istenmeyen sıcaklık kayıplarını (kış aylarında) veya aşırı ısıyı (yaz aylarında) azaltırken, ısıtma ve soğutma için enerji talebini de düşürür. Duvarlar ve çatılar için yapılan ısı yalıtımı, iklimlendirme için gerekli gücü azaltırken genel iklimlendirme ihtiyacını da düşürmekte, bu da yıllık enerji maliyetlerini daha da azaltmaktadır. Binaların uygun şekilde yalıtılması, CO_2 emisyonları da dahil olmak üzere kirliliği azaltarak ek faydalar sağlamaktadır [133].

Enerji verimli evler inşa etmek, Avrupa Birliği Direktifleri tarafından desteklenen modern enerji politikalarıyla uyumludur (Direktif 2012/27/EU, Direktif 2002/91/EU, Direktif 2006/32/EU, Direktif 2005/32/EU), binalarda enerji tüketiminin mümkün olduğunca azaltılmasını teşvik eder. Isı yalıtımının getirdiği ekonomik ve ekolojik tasarruf aralığı, binanın tipine, iklim koşullarına ve yalıtım malzemesinin kalınlığı ve konumuna bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu nedenle, yalıtım malzemelerinin kullanımı dünya çapında zaten yaygın bir şekilde kurulmuştur.

Değerlendirme, yalıtım malzemelerinin bina yönelimi ve çatı şekillerinin hassasiyeti üzerindeki etkisini göz önünde bulundurmuş ve yalıtımın enerji tüketimini azaltmadaki sayısız çalışmayla ortaya konan faydalarını kabul etmiştir. Yalıtım malzemelerinin entegre edilmesinin amacı, binalardaki optimize edilmiş yönlendirme modellerinin bunların kullanımıyla değişip değişmeyeceğini değerlendirmektir. Ancak, gerekli kapsamlı analizler nedeniyle, yalıtım malzemeleri yalnızca üç iklim bölgesinde incelenmiştir.

Analiz için 4 cm kalınlığında genleştirilmiş perlitten yapılmış yalıtım malzemeleri kullanılmıştır. Şekil 3.10’da, termal özellikler ve uygulama alanları da dahil olmak üzere kullanılan yalıtım malzemelerinin görsel ayrıntıları Revit ortamında gösterilmektedir. Genişletilmiş perlit (EP), ham perlitin genişletilmesiyle elde edilen gözenekli, düşük yoğunluklu, inci gibi, asidik, volkanik bir camdır. Düşük ısı iletkenliği [134], düşük yoğunluğu, alev almazlığı ve ses yalıtım özellikleri nedeniyle mükemmel bir yalıtım malzemesi olarak hizmet vermektedir [135]. Genleştirilmiş perlitin yoğunluğu 80 ila 150 kg/m3 arasında değişmekte olup, ısı iletkenliği 0,040 ila 0,052 W/m.K ve özgül ısı kapasitesi 0,9 ila 1,0 kJ/kgK'dir [134]. Genişletilmiş perlit yanıcı değildir, yangına dayanıklıdır, dayanıklıdır ve çürümez. Yeniden kullanılabilir ve tuğla ve beton gibi çeşitli malzemelerle kompozit yapılar oluşturmak için kullanılabilir [135]. Mısır, yılda tek hasat veren bir mahsul ve tahıl bitkisidir. Karadeniz'e komşu ülkelerde önemli miktarda mısır üretilmektedir. Bağlayıcı olarak epoksi ve alçı kullanılmakta ve yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmektedir [136].



Şekil 3.9. Yalıtım özellikleri

Analiz, çalışmanın kapsamlı yapısı nedeniyle sadece 8 şehirdeki yalıtımlı binalara odaklanmıştır. Geri kalan şehirler yalıtım malzemesi olmayan binalara göre değerlendirilmiştir. Yalıtımlı binaların dikkate alındığı şehirler arasında Iğdır, Şanlıurfa, Giresun, Rize, Zonguldak, Adıyaman, Ankara ve Konya yer almaktadır.

3.8. Bina Yönü

Çeşitli iklim bölgelerindeki bina modellerinin enerji tüketimini değerlendirmek için, farklı çatı şekillerine sahip üç bina Revit'te 10 derecelik aralıklarla, kuzey yönünden başlayarak (giriş kapı güney yönüne bakmaktadır ve binaya giren insanların yönü kuzey yönünedir), tekrar kuzey yönüne dönene kadar saat yönünde ilerleyerek döndürülmüştür. Bu dönüşüm, farklı yönelimlerin her çatı şekli için enerji tüketimini ve termal konforu nasıl etkilediğini incelemeye imkan sağlamaktadır. Daha önce belirtilen hususlara ek olarak, aşağıdaki faktörler de dikkate alınmıştır:

Simülasyon ve analiz: Bina simülasyonu, Revit'in simülasyon yetenekleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Performans kriterleri olarak enerji tüketimi, termal konfor, ısıtma ve soğutma yükleri yıllık bazda değerlendirildi ve Energy Plus altyapısıyla çeşitli faktörler üzerinde analizler yapıldı. Farklı çatı şekilleri, iklim bölgeleri ve yönelimler arasında karşılaştırmalar yapıldı.

Veri toplama ve yorumlama: Her çatı şekli, iklim bölgesi ve yönelim kombinasyonu için ısıtma ve soğutma ihtiyaçları, iç ortam sıcaklığı ve diğer ilgili ölçümler de dahil olmak üzere enerji performansı verileri toplanmıştır.. Toplanan veriler istatistiksel olarak analiz edildi ve yorumlanarak tek ailelik evlerin enerji performansı üzerinde çatı şekli, iklim bölgesi ve yönelimin etkisi hakkında sonuçlar çıkartıldı.

Enerji analizi: Enerji analizi, Revit ve EnergyPlus kullanılarak bir yılın tamamı için her binayı ve yönü kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlardan üç temel enerji tüketimi belirlenmiştir: elektrik yükü, soğutma yükü ve ısıtma yükü. Tüm yükler “gigajoule (GJ)” cinsinden ölçülmüştür.

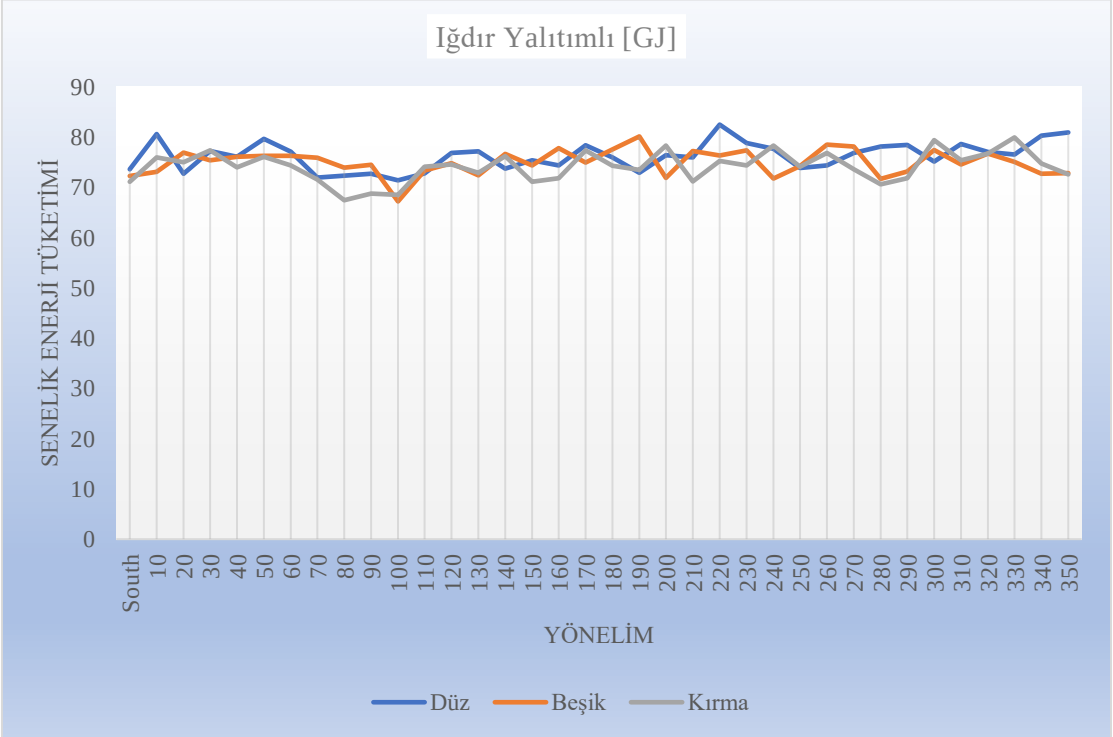
4. ANALİZLER VE BULGULAR

4.1. Çok Kurak İklim Bölgesi

Çok kurak bir bölge olarak (Aydeniz formülüne göre), bu alanda sadece iki şehir bulunmaktadır: Iğdır ve Şanlıurfa. Yalıtım malzemesi sınıflandırmalarına göre, Iğdır üçüncü bölgeye ve Şanlıurfa ikinci bölgeye denk gelmektedir.

4.1.1. Iğdır için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi

Iğdır şehrinde iki farklı bina modeli inşa edilmiş olup, biri yalıtıma sahipken diğeri ise yalıtımı olmayan bir konut modelidir. Bu iki modelin analizleri sonucunda elde edilen veriler elektrik, soğutma ve ısıtma yüklerini belirtmiş ve toplam enerji tüketimi Gigajoule cinsinden sunulmuştur. Yalıtımlı model analizleri Şekil 4.1'de verilmiştir.

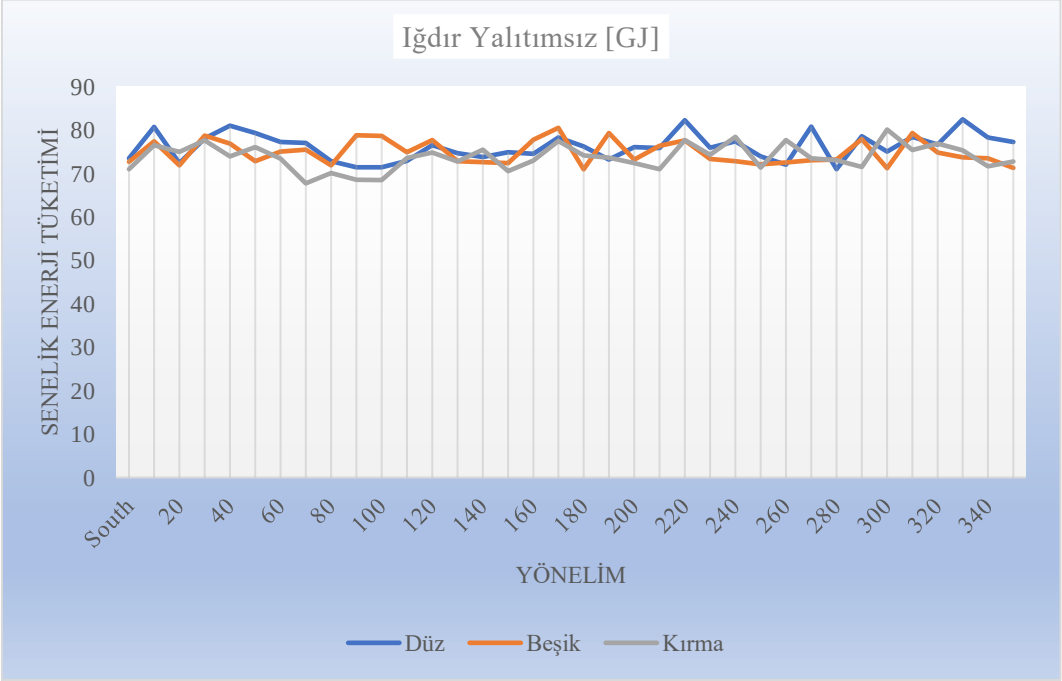


Şekil 4.1. Iğdır şehri yalıtımlı model için enerji tüketim analizi

Buna göre, Iğdır'daki düz, beşik ve kırma çatı modellerinin enerji performansına bakıldığında, bu şehirdeki bina modeli, bir yıl boyunca en yüksek elektrik ve soğutma

yükünü temsil ederken, aynı zamanda ısıtma yükünün diğer modellere kıyasla daha düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, düz çatı ile kıyaslandığında, beşik çatıda ısıtma ve soğutma yükleri birbirine çok yakın gibi görünmektedir. Kırma çatı ve düz çatı bina modellerinde enerji tüketimi, beşik çatıyla karşılaştırıldığında birbirlerine çok benzer davranışlar sergilemektedir. Yıllık ortalama enerji tüketimi düz çatı için 76,180 GJ, beşik çatı için 74,93 GJ ve kırma çatı için 74,93 GJ'dür. Buna ek olarak, standart sapma düz çatı için 2,79, beşik çatı için 2,53 ve kırma çatı için 2,98'dir. Ayrıca, düz çatıda en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketim farkı 11,08 GJ, beşik çatıda ise 12,92 GJ, kırma çatıda ise 12,49 GJ'dir.

Aynı binalar yalıtım mantolaması olmaksızın analiz edilmiş olup, Iğdır'daki "yalıtımsız" düz, beşik ve kırma çatılar için elde edilen enerji tüketim analizi Şekil 4.2'de verilmiştir.



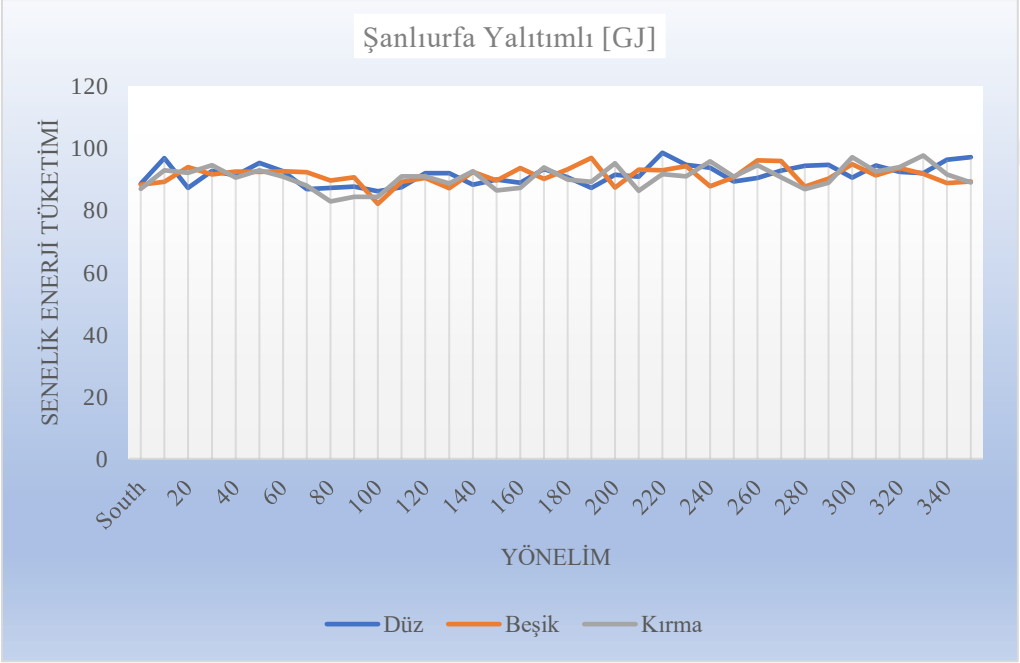
Şekil 4.2. Iğdır şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

Düz çatılarda yalıtımlı ve yalıtımsız model arasındaki fark sadece enerji tüketiminde gözükmektedir. Binanın enerji davranışında önemli bir değişiklik bulunmamaktadır. Beşik çatı modellerinde yalıtım etkisi enerji tüketimi ile doğrudan ilişkili olarak gözükürken, elektrik yükü iki modelde de diğer yüklerden fazladır.

Yıllık ortalama enerji tüketimi, düz çatı için 76,166 GJ, beşik çatı için 74,87 GJ ve kırma çatı için 73,80 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 3,12 GJ, beşik çatı için 2,82 GJ ve kırma çatı için 2,95 GJ'dir. Düz çatıda en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketim farkı 11,48 GJ, beşik çatıda 9,55 GJ, kırma çatıda ise 12,39 GJ'dir.

4.1.2. Şanlıurfa için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi

Şanlıurfa da TS 825 standardına göre ikinci bölge olarak sınıflandırırken bu çalışmada "çok kurak bölge" kategorisinde yer almaktadır. Şanlıurfa bölgesinde yalıtımlı düz çatılar için Iğdır bölgesinden daha farklı olan enerji tüketimi davranışı görülmekte olup, bu durum Şekil 4.3'te verilmiştir. Şanlıurfa bölgesinde en az değeri enerji yükünün oluşturduğu, ısıtma yükü ve elektrik ve soğutma yüklerinin birbirine daha yakın değerlerde olduğu gözlenmektedir.

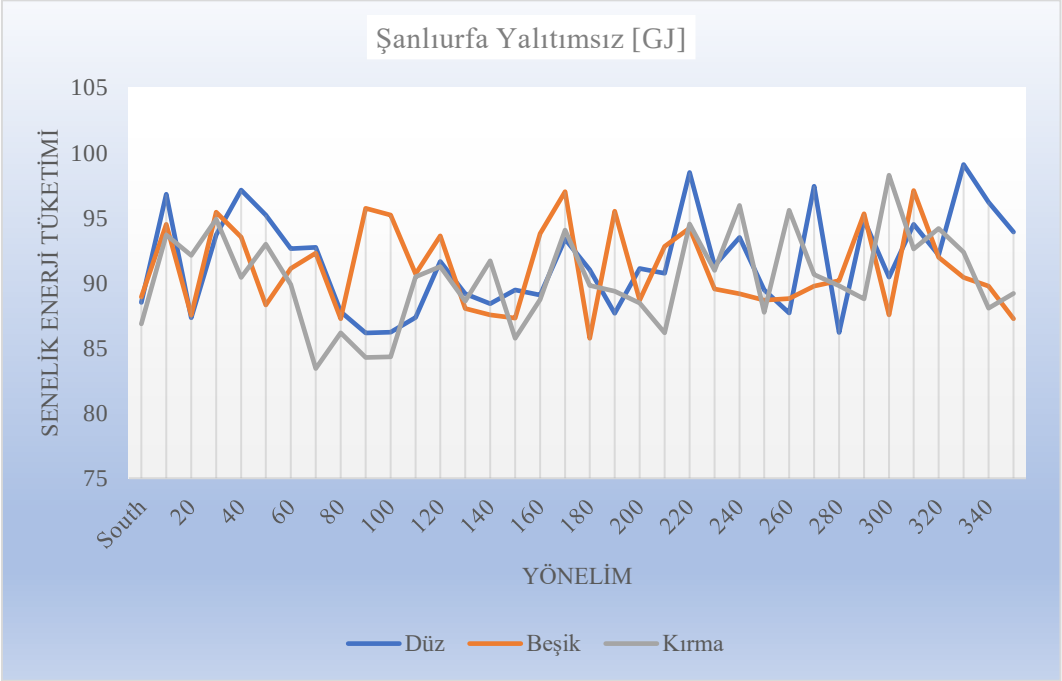


Şekil 4.3. Şanlıurfa şehri yalıtımlı modellerin enerji tüketim analizi

Benzer şekilde; Beşik çatı ve Kırma çatı modellerinde de, ısıtma yükü sıfıra yakın iken elektrik ve soğutma yükleri daha fazladır. Yıllık ortalama enerji tüketimi, düz çatı için 91,54 GJ, beşik çatı için 91,19 GJ ve kırma çatı için 90,65 GJ olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin standart sapmaları ise sırasıyla düz çatı için 3,26 GJ, beşik çatı için 2,98 GJ ve kırma çatı

için 3,58 GJ'dir. Düz çatıda en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketim farkı 12,39 GJ, beşik çatıda 14,81 GJ, kırma çatıda ise 14,80 GJ olarak belirlenmiştir.

Şanlıurfa için yalıtımsız modellerin analizi Şekil 4.4'de verilmiş olup; yalıtımsız modellerde enerji tüketiminde Şanlıurfa bölgesi düz çatı analizinde yalıtımlı model gibi ısıtma yükü en az ve soğutma yükü en yüksektir.



Şekil 4.4. Şanlıurfa şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

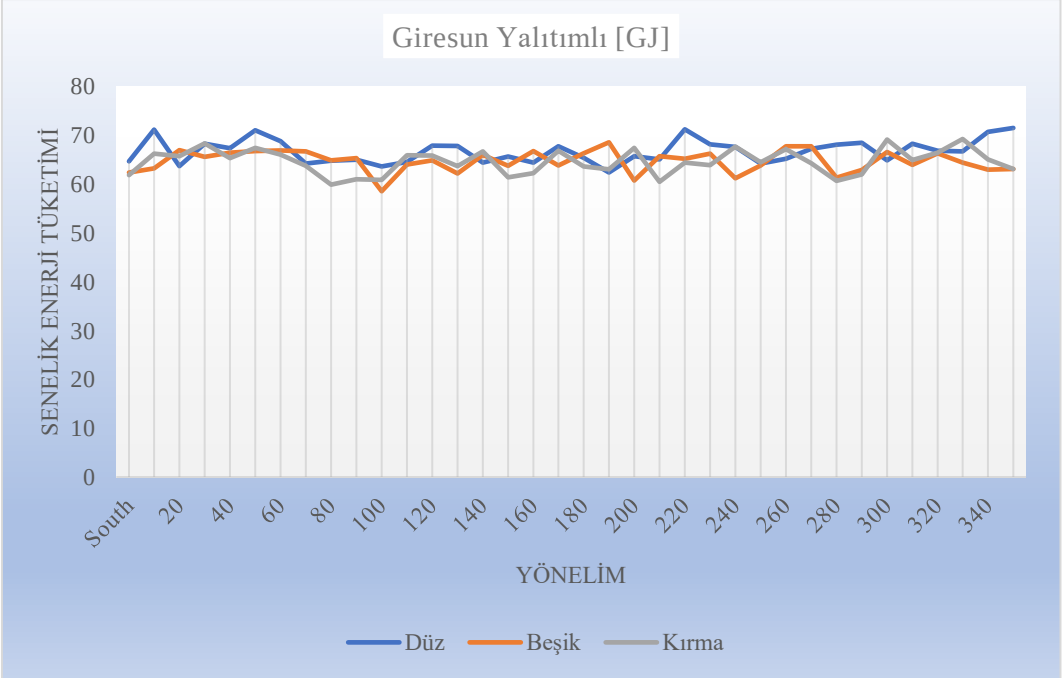
Beşik çatıda aynı düz çatı gibi ısıtma yükünün çok düşük olmasının yanı sıra soğutma yükünün en fazla olduğu elde edilmiştir. Kırma çatı modelinde diğer çatılar gibi yalıtımsız modelin, yalıtımlı modele göre tüm enerji yüklerinde artış gözükmektedir. Yıllık ortalama enerji tüketimi, düz çatı için 91,61 GJ, beşik çatı için 91,10 GJ ve kırma çatı için 90,32 GJ olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 3,70 GJ, beşik çatı için 3,25 GJ ve kırma çatı için 3,53 GJ'dir. Düz çatıda en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketim farkı 12,93 GJ, beşik çatıda 11,34 GJ, kırma çatıda ise 14,84 GJ olarak tespit edilmiştir.

4.2. Çok Nemli İklim Bölgesi

Çok nemli bölgede bu çalışma Giresun, Rize ve Zonguldak olmak üzere 3 şehri modelleme için örnek olarak almıştır.

4.2.1. Giresun için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi

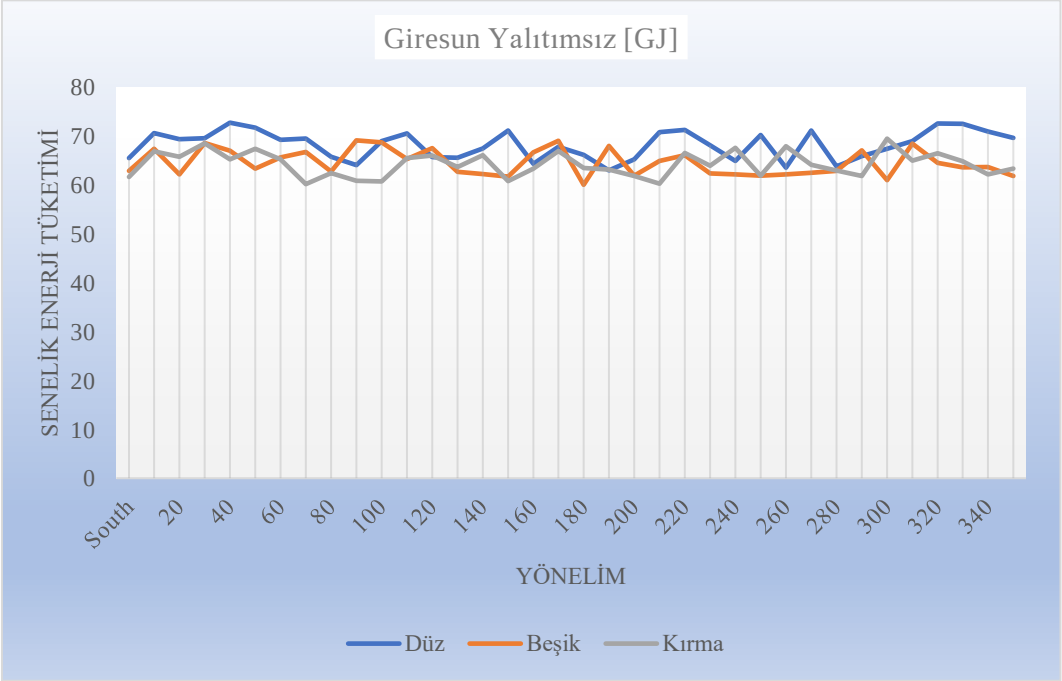
Giresun TS 825 standardına göre ikinci bölge ve bu çalışmada çok nemli iklim olarak sınıflandırılmıştır. Bu şehir için yalıtımlı modeller analizi Şekil 4.5'de verilmiş olup, en yüksek enerji tüketimi elektrik yüküne aittir. Düz çatı ile kıyaslandığında, beşik çatı modelindeki ısıtma ve soğutma yükleri daha yakın olup, soğutma yükü daha düşük bulunmuştur. Kırma çatının enerji tüketim davranışı ise düz çatıya daha yakınken, beşik çatıların enerji tüketimi düz ve kırma çatılardan farklı bir trend izlemiştir.



Şekil 4.5. Giresun şehri yalıtımlı modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi, düz çatı için 66,69 GJ, beşik çatı için 64,66 GJ ve kırma çatı için 64,56 GJ olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 2,43 GJ, beşik çatı için 2,24 GJ ve kırma çatı için 2,55 GJ'dir. Düz çatıda en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketim farkı 9,11 GJ, beşik çatıda 10,01 GJ, kırma çatıda ise 9,34 GJ olarak belirlenmiştir.

Giresun için “yalıtımsız” modellerin analizi ise Şekil 4.6’da sunulmuş olup; yalıtımlı modele göre, yalıtımsız modellerin daha fazla enerji tüketimine sahip olduğu tespit edilmiştir. Kırma çatı ve düz çatı bina modelleri, beşik çatılardan (Şekil 4.6) farklı olarak birbirine benzer enerji tüketimine sahipler. Yalıtımsız modellerin yalıtımlı modeller göre diğer bir farklı davranışı ise yönlere göre daha hassas olmalarıdır. Beşik çatı modelinde, düz çatıyla kıyasen elektrik ve soğutma yüklerinin çok yakın olması şekilde gözükmektedir.



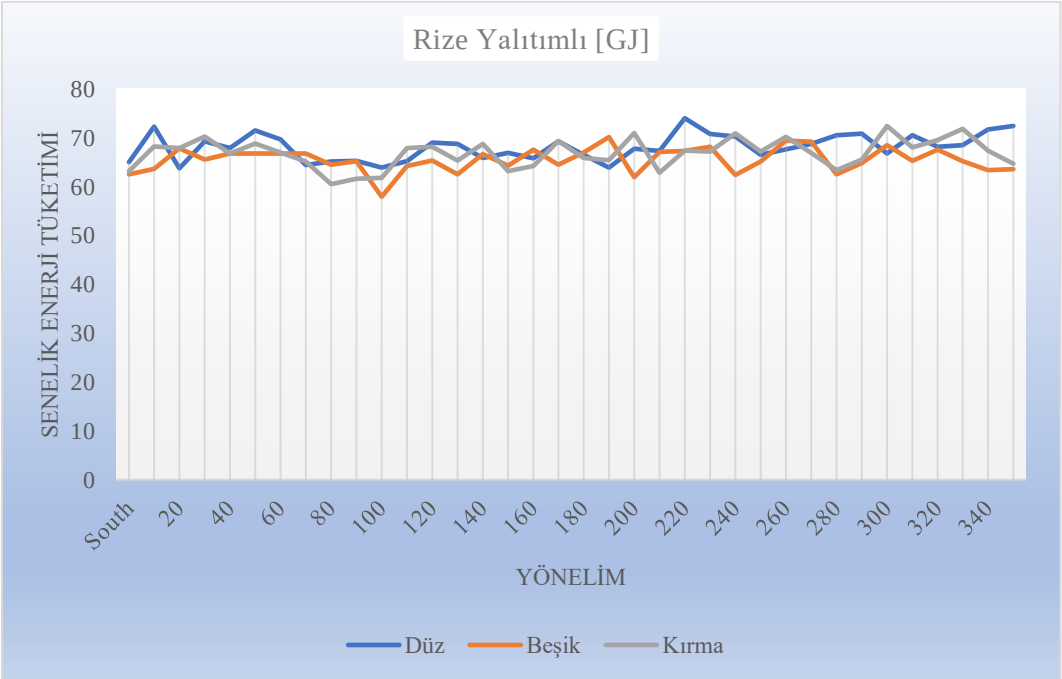
Şekil 4.6. Giresun şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi, çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 68,24 GJ, beşik çatı için 64,60 GJ ve kırma çatı için 64,31 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatıda 2,89 GJ, beşik çatıda 2,69 GJ ve kırma çatıda 2,52 GJ olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketim farkı düz çatı için 9,77 GJ, beşik çatı için 9,09 GJ ve kırma çatı için 9,31 GJ olarak belirlenmiştir.

4.2.2. Rize için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi

Rize şehri Giresun şehrine benzemekte olup, çok nemli sınıfında ve TS 825 standardına göre ikinci bölgede yer almaktadırlar. Yalıtımlı model analizinde (Şekil 4.7), Rize şehrinde yalıtımlı düz çatı bina modelinin Giresun’a göre ısıtma yükünün çok daha az olduğu ortaya çıkmıştır. Elektrik yükünün ise iki şehirde de en yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir.

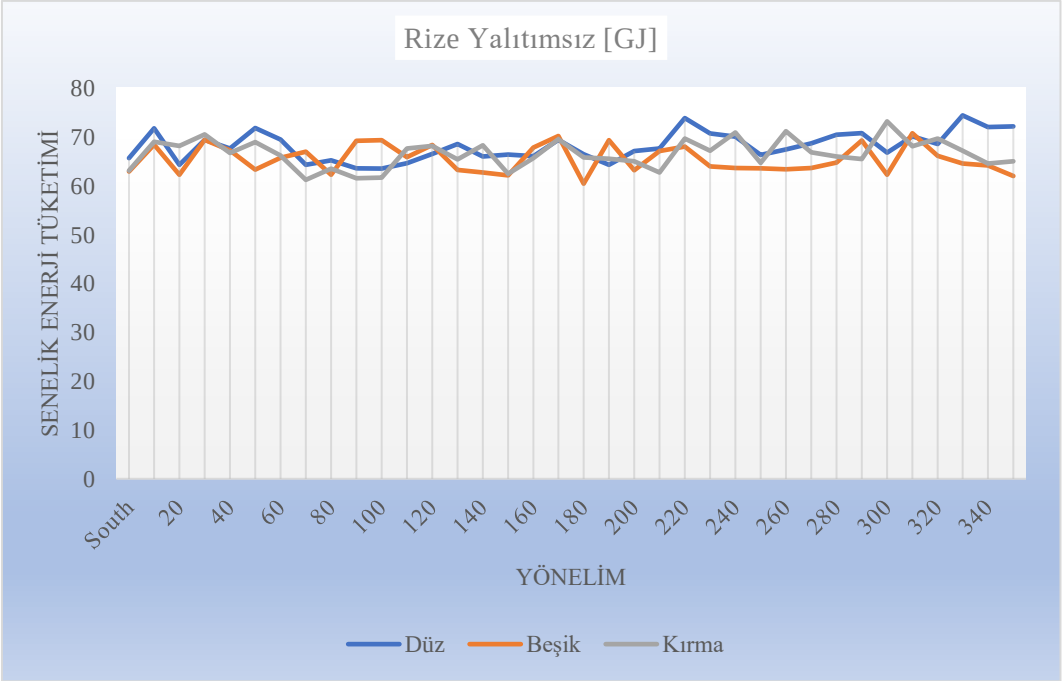
Düz çatı ile kıyaslandığında, beşik çatı bina modelinde soğutma yükü daha az çıkmaktadır. Kırma çatının ise diğer iki çatıya göre ısıtma yükü daha az ve genel olarak daha az enerji tüketmektedir.



Şekil 4.7. Rize şehri yalıtımlı modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi, çatı tiplerine göre şu şekilde belirlenmiştir: düz çatı için 68,06 GJ, beşik çatı için 65,46 GJ ve kırma çatı için 66,78 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 2,69 GJ, beşik çatı için 2,50 GJ ve kırma çatı için 2,97 GJ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketimi farkı, düz çatı için 10,26 GJ, beşik çatı için 12,20 GJ ve kırma çatı için 11,90 GJ olarak tespit edilmiştir.

"Yalıtımsız" modelde ise; Rize şehri için de diğer incelenen şehirlerde olduğu gibi, düz çatı modelinde soğutma yükünün elektrik yükünden daha az ve ısıtma yükünden daha çok enerji tüketimi gözetlenmektedir (Şekil 4.8). Beşik çatı modeli, düz çatıya göre daha düşük soğutma yüküne sahipken, yönlere göre daha fazla hassasiyet göstermektedir. Kırma çatıda ise toplam enerji tüketimi düz çatıya benzerken beşik çatıdan daha farklı bir sonuç göstermektedir.

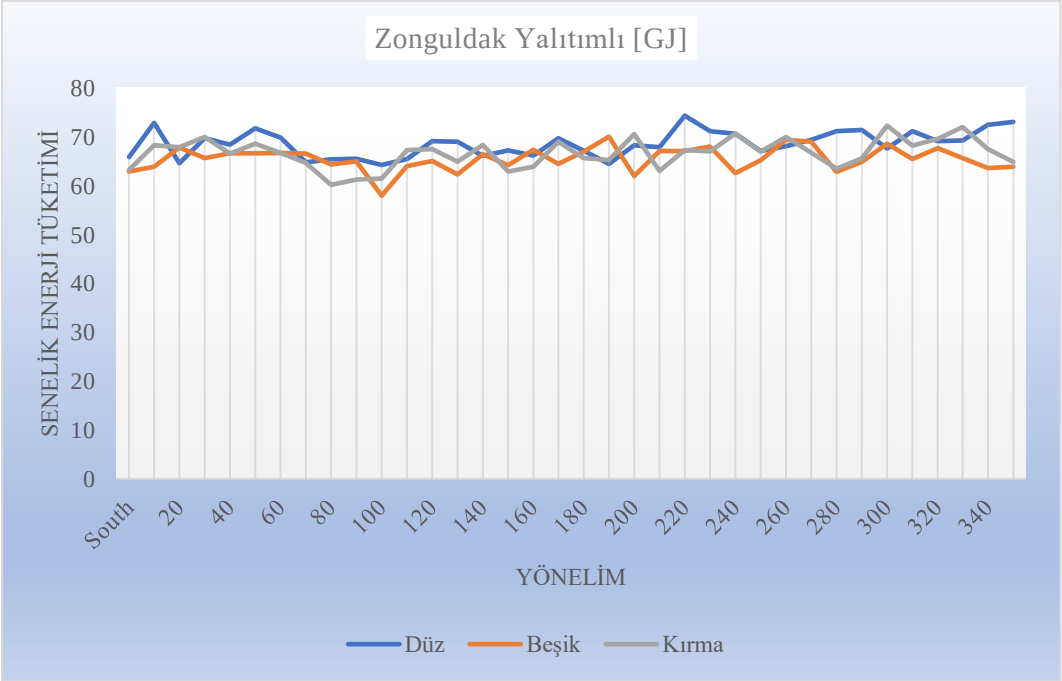


Şekil 4.8. Rize şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi, çatı tiplerine göre şu şekilde belirlenmiştir: düz çatı için 68,05 GJ, beşik çatı için 65,45 GJ ve kırma çatı için 66,52 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 2,93 GJ, beşik çatı için 2,87 GJ ve kırma çatı için 2,92 GJ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketimi farkı, düz çatı için 10,89 GJ, beşik çatı için 10,32 GJ ve kırma çatı için 11,97 GJ olarak tespit edilmiştir.

4.2.3. Zonguldak için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi

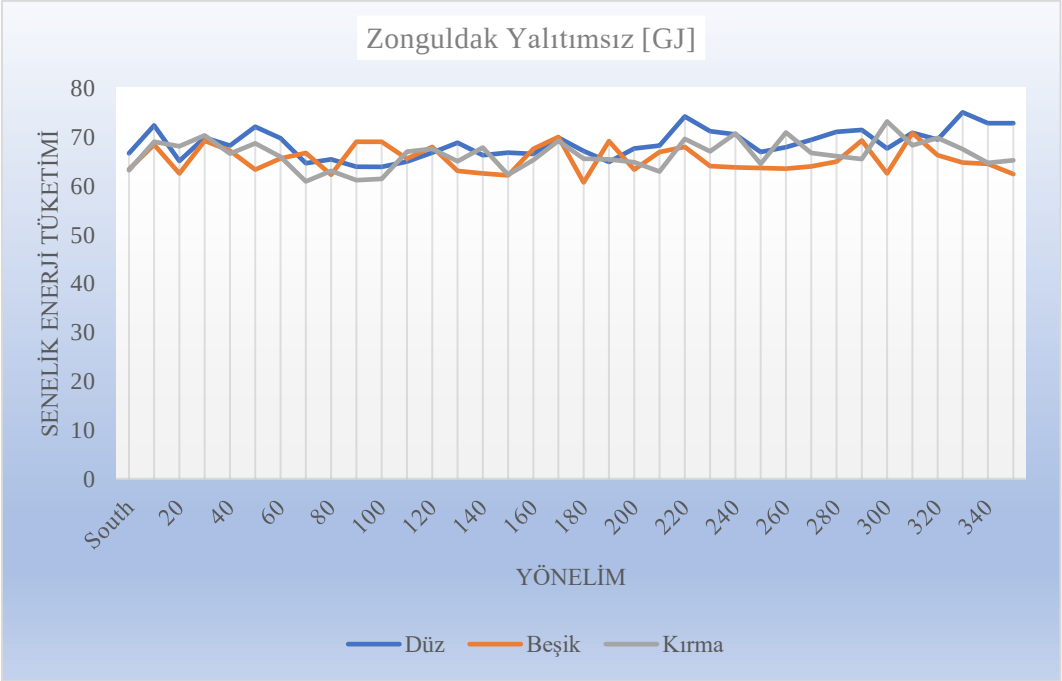
Zonguldak şehri için yalıtımlı modellerin analizi Şekil 4.9'da verilmiş olup, Rize'ye kıyasla daha yüksek bir ısıtma yükü tespit edilmiştir. Soğutma yükü ise her iki şehirde de oldukça benzer sonuçlar göstermiştir. Beşik çatı modelinde, düz çatıya kıyasla soğutma yükü daha düşük olup, toplam enerji tüketimi de ortalama olarak daha azdır. Kırma çatı modeli, diğer çatı tiplerine göre hem ısıtma hem de soğutma yüklerinin daha düşük olduğu ve toplam enerji tüketiminin en az olduğu model olarak öne çıkmıştır.



Şekil 4.9. Zonguldak şehri yalıtımlı modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi, çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 68,58 GJ, beşik çatı için 65,48 GJ ve kırma çatı için 66,63 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 2,71 GJ, beşik çatı için 2,44 GJ ve kırma çatı için 2,99 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketim farkı, düz çatı için 10,09 GJ, beşik çatı için 12,07 GJ ve kırma çatı için 12,14 GJ olarak tespit edilmiştir.

Zonguldak şehrine yönelik "yalıtımsız" modellerin analiz sonuçlarına bakıldığında, Şekil 4.10'da sunulduğu üzere tüm kategorilerde yalıtımlı modellere kıyasla daha yüksek enerji tüketimine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, kırma çatı modeli, diğer iki çatı tipine göre daha düşük bir ısıtma yükü sergilemektedir. Ancak, soğutma yükü açısından kırma çatı, beşik çatıya kıyasla daha yüksek bir değere sahiptir.



Şekil 4.10. Zonguldak şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 68,60 GJ, beşik çatı için 65,46 GJ ve kırma çatı için 66,37 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları ise sırasıyla düz çatı için 2,96 GJ, beşik çatı için 2,74 GJ ve kırma çatı için 2,94 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketim farkı, düz çatı için 11,16 GJ, beşik çatı için 10,10 GJ ve kırma çatı için 12,28 GJ olarak tespit edilmiştir.

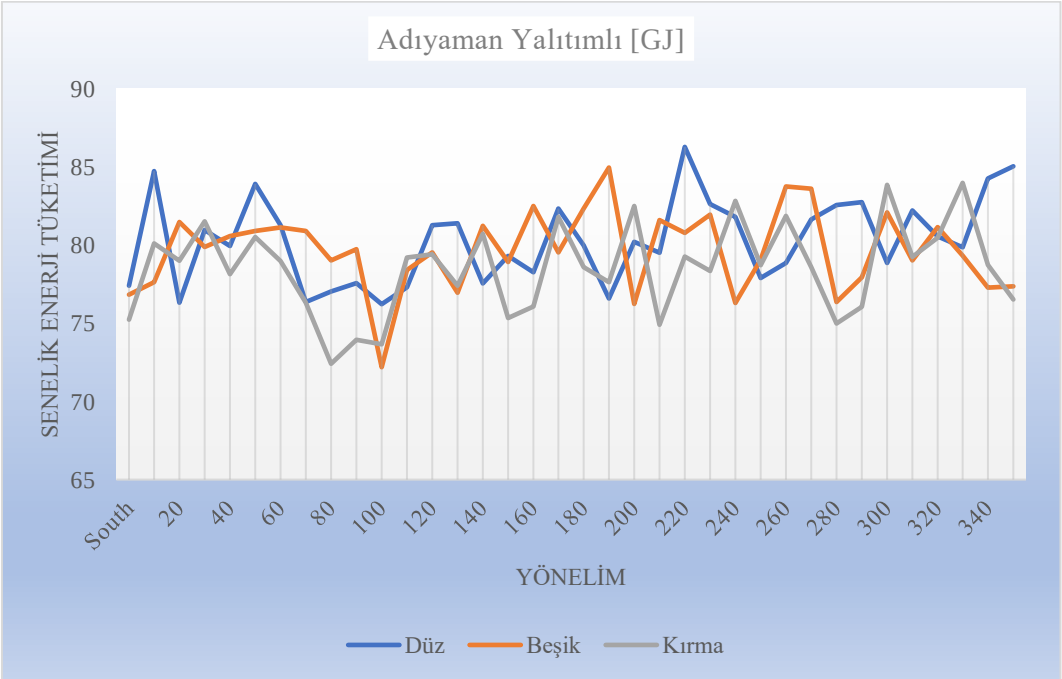
4.3. Kurak İklim Bölgesi

Kurak bölge için (Aydeniz'e göre) Adıyaman, Ankara ve Konya olmak üzere üç şehir incelemeye alınmıştır.

4.3.1. Adıyaman için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi

Adıyaman, TS 825 standardına göre ikinci bölge olarak sınıflandırılmıştır. Bu şehirde yalıtımlı modeller üzerine yapılan analizlerin sonuçları Şekil 4.11'de sunulmuştur. Yalıtımlı düz çatı modelinde, kurak bölge olan Adıyaman'da ısıtma yükü, çok nemli şehirlere kıyasla daha yüksek olup, genel olarak diğer enerji yüklerinin de daha yüksek olduğu görülmektedir. Beşik çatı modelinde, düz çatıya kıyasla soğutma yükünün daha düşük olduğu tespit

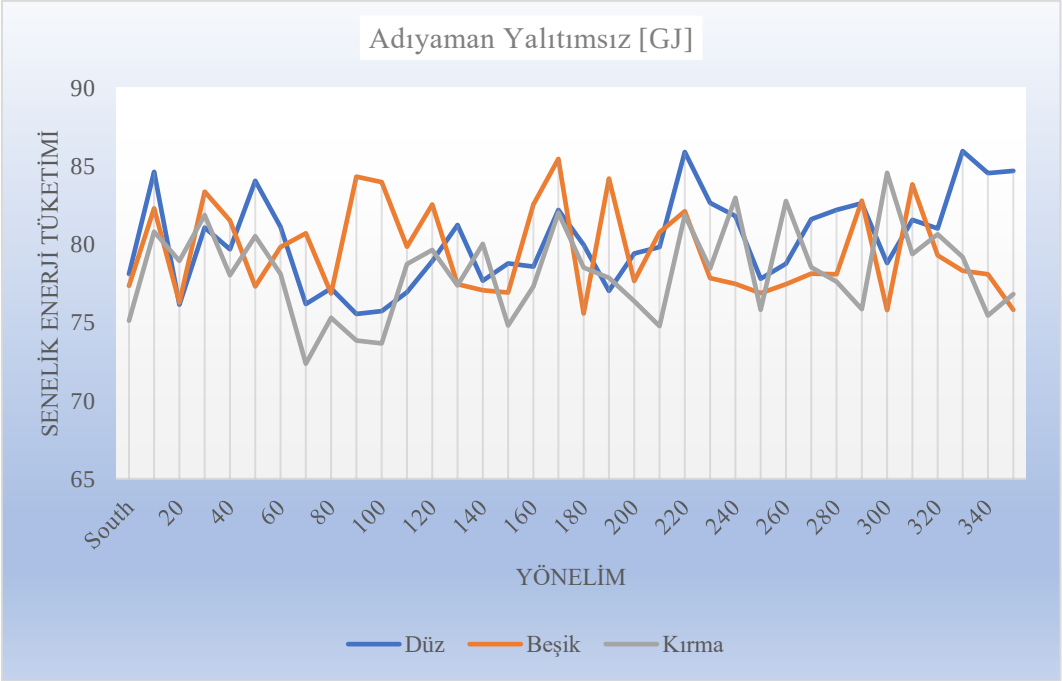
edilmiştir. Kırma çatı modelinde ise düz çatıya benzer bir enerji tüketim davranışı gözlemlenmiştir; ısıtma yükü daha düşük, ancak soğutma yükü beşik çatı modeline göre daha fazladır.



Şekil 4.11. Adıyaman şehri yalıtımlı modellerin enerji analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi, çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 80,29 GJ, beşik çatı için 79,67 GJ ve kırma çatı için 78,52 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 2,72 GJ, beşik çatı için 2,57 GJ ve kırma çatı için 2,89 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketim farkı, düz çatı için 10,06 GJ, beşik çatı için 12,77 GJ ve kırma çatı için 11,57 GJ olarak tespit edilmiştir.

Adıyaman şehri için "yalıtımsız" modellerin analiz sonuçları Şekil 4.12'de verilmiş olup; yalıtımsız model, yalıtımlı modele kıyasla tüm kategorilerde daha yüksek enerji tüketimine sahiptir. Beşik çatı modelinde, düz çatıya göre daha düşük bir soğutma yükü gözlemlenirken, yalıtımsız modelde enerji tüketiminin belirgin şekilde daha yüksek olduğu görülmektedir. Kırma çatı modeli ise, diğer şehirlerde olduğu gibi düz ve beşik çatılara kıyasla daha az enerji tüketimi sergilemektedir.

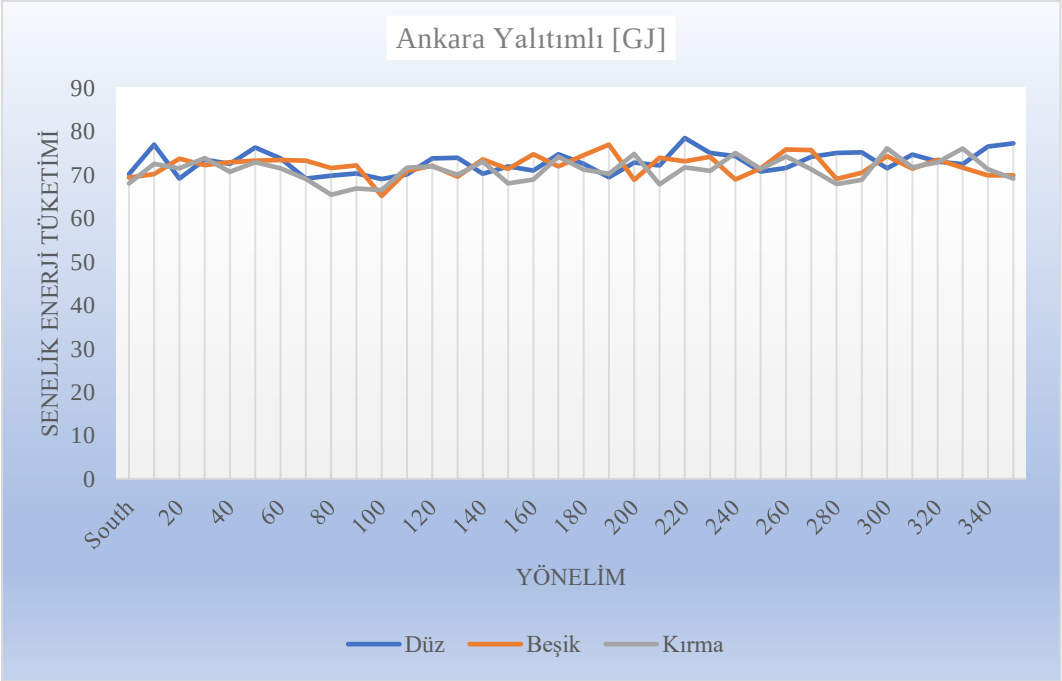


Şekil 4.12. Adıyaman şehri yalıtımsız modellerinin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 80,27 GJ, beşik çatı için 79,57 GJ ve kırma çatı için 78,21 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları ise sırasıyla düz çatı için 2,93 GJ, beşik çatı için 2,93 GJ ve kırma çatı için 2,89 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketimi farkı, düz çatı için 10,42 GJ, beşik çatı için 9,89 GJ ve kırma çatı için 12,21 GJ olarak tespit edilmiştir.

4.3.2. Ankara için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi

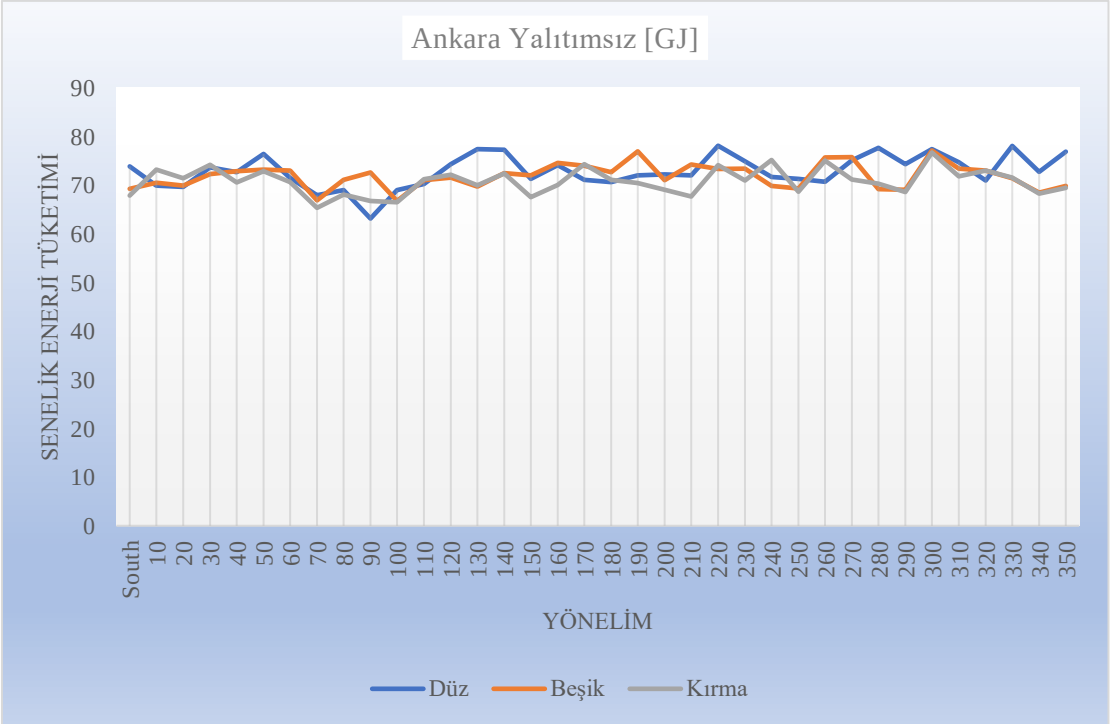
Ankara, Aydeniz sınıflandırmasına göre kurak bölge ve TS 825 standardına göre üçüncü bölge olarak sınıflandırılmaktadır. Ankara için yalıtımlı modellerin analiz sonuçlarına göre (Şekil 4.13) düz çatı modeli, Adıyaman'daki düz çatıya kıyasla daha yüksek ısıtma yükü ve daha düşük soğutma yükü göstermektedir. Beşik çatı, düz çatıya göre daha az soğutma yükü sergilemektedir. Kırma çatı ise, soğutma yükü açısından beşik çatıdan daha düşük bir değere sahiptir.



Şekil 4.13. Ankara şehri yalıtımlı modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 72,84 GJ, beşik çatı için 72,06 GJ ve kırma çatı için 71,07 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 2,54 GJ, beşik çatı için 2,39 GJ ve kırma çatı için 2,68 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketimi farkı, düz çatı için 9,44 GJ, beşik çatı için 11,83 GJ ve kırma çatı için 10,68 GJ olarak tespit edilmiştir.

Ankara şehri için "yalıtımsız" modellerin analiz sonuçlarına göre (Şekil 4.14) düz çatılı Ankara modeli ile yalıtımlı model arasındaki enerji tüketimi arasında belirgin bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. Beşik çatı modelinin, düz çatıya kıyasla daha yüksek bir ısıtma yükü olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Ankara ve Adıyaman şehirlerinin enerji tüketim davranışlarının benzerlik gösterdiği görülmektedir.

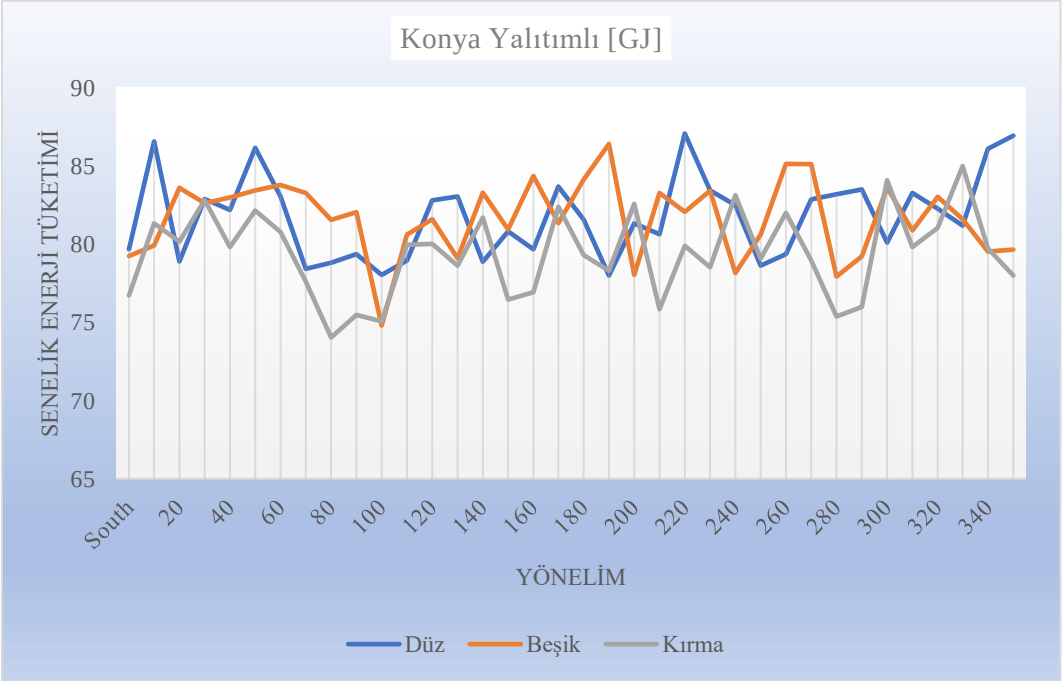


Şekil 4.14. Ankara şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi, çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 72,89 GJ, beşik çatı için 71,88 GJ ve kırma çatı için 70,79 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 3,33 GJ, beşik çatı için 2,54 GJ ve kırma çatı için 2,68 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketim farkı, düz çatı için 14,97 GJ, beşik çatı için 10,36 GJ ve kırma çatı için 11,36 GJ olarak hesaplanmıştır.

4.3.3. Konya için yalıtımlı ve yalıtımsız model analizi

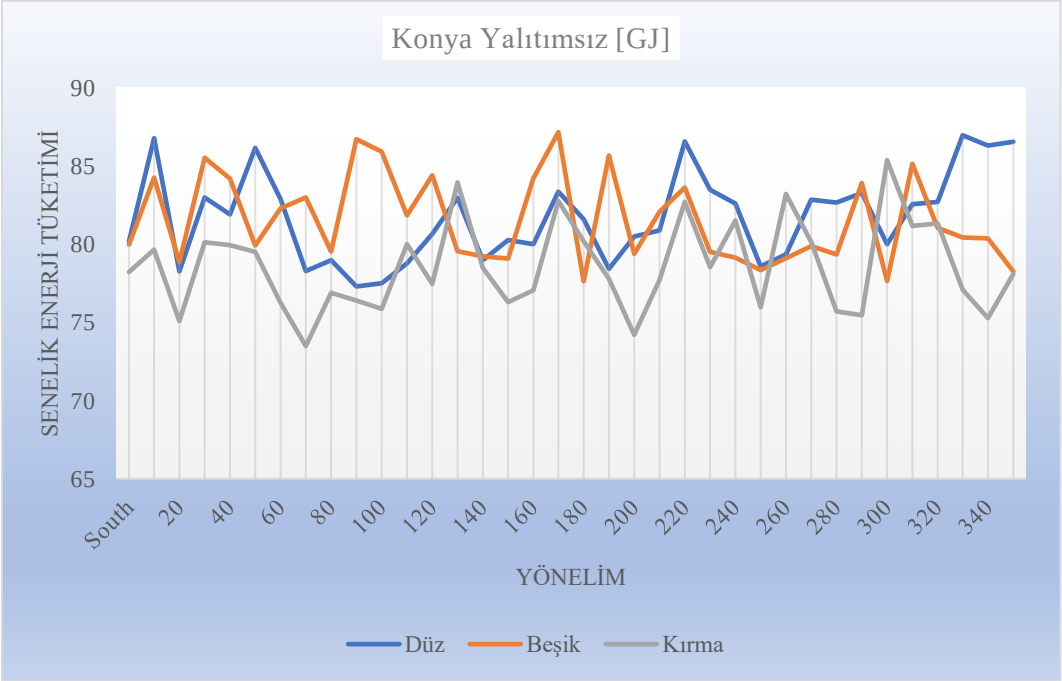
Konya, tıpkı Ankara gibi Aydeniz sınıflandırmasına göre kurak bölge ve TS 825 standardına göre üçüncü bölge olarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 4.15'de bu şehir için yapılan analiz sonuçlarını sunulmuştur. Buna göre düz çatı modelinde, Ankara ve Adıyaman şehirlerinden farklı olarak Konya şehrindeki ısıtma yükünün soğutma yükünden daha fazla olduğu grafikten izlenmektedir (Şekil 4.15). Beşik çatı modelinde düz çatıya göre daha fazla ısıtma yükü gözükmektedir ve aynı zamanda soğutma yükü düz çatıdan daha düşüktür. Kırma çatı modeli ise düz çatıya benzerken, beşik çatıdan daha farklı enerji tüketimi olmaktadır.



Şekil 4.15. Konya şehri yalıtımlı modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 81,77 GJ, beşik çatı için 81,68 GJ ve kırma çatı için 79,41 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 2,65 GJ, beşik çatı için 2,45 GJ ve kırma çatı için 2,73 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketimi farkı, düz çatı için 9,08 GJ, beşik çatı için 11,62 GJ ve kırma çatı için 10,96 GJ olarak hesaplanmıştır.

Konya şehri için "yalıtımsız" modelin enerji tüketimi, her zaman yalıtımlı modellere göre daha yüksek çıkmaktadır (Şekil 4.16). Beşik çatı modeli, düz çatıya kıyasla daha düşük bir soğutma yüküne sahiptir. Kırma çatı modelleri ise genellikle düz çatı modellerine yakın benzerlik göstermektedir. Konya şehri, diğer iki kurak şehir modelinden farklı bir sonuç ortaya koymaktadır.



Şekil 4.16. Konya şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 81,72 GJ, beşik çatı için 81,56 GJ ve kırma çatı için 78,58 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 2,84 GJ, beşik çatı için 2,83 GJ ve kırma çatı için 2,89 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketimi farkı, düz çatı için 9,67 GJ, beşik çatı için 9,54 GJ ve kırma çatı için 11,89 GJ olarak hesaplanmıştır.

Geri kalan şehir analizlerinde sadece "yalıtımsız" modeller verilmiştir. Çünkü yapılan modellemelerden genel olarak yalıtımlı modellerin daha az enerji tüketimine yol açtığı ortaya çıkmıştır.

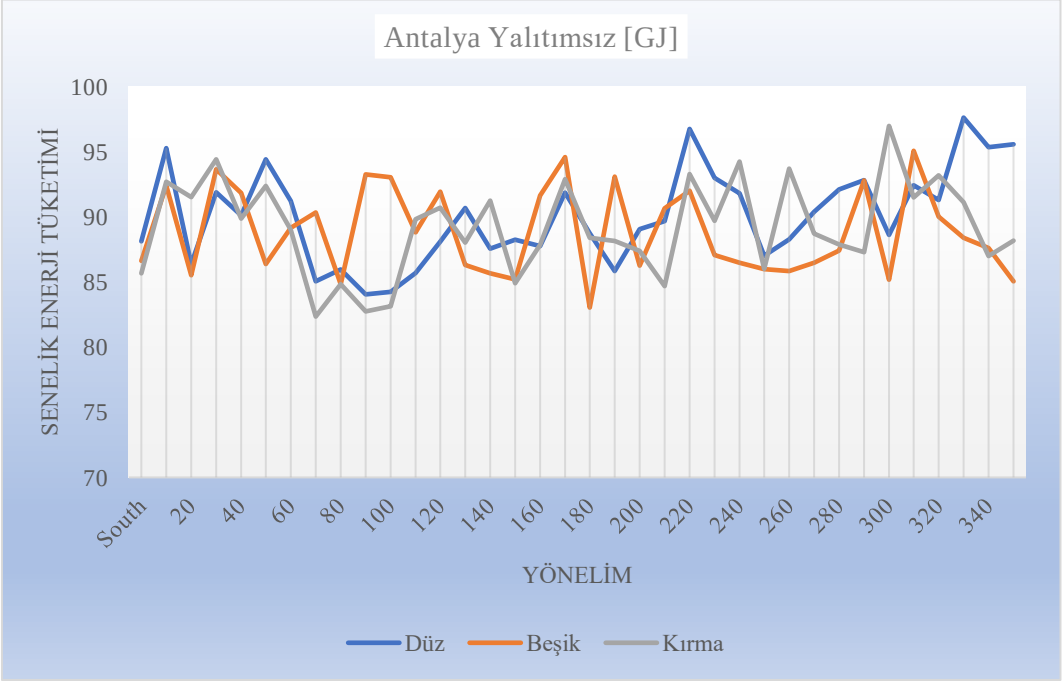
4.4. Yarı Nemli İklim Bölgesi

Yarı nemli sınıfında Antalya, Bursa ve Erzurum şehirleri incelenmiştir.

4.4.1. Antalya için yalıtımsız model analizi

Antalya şehri, Aydeniz sınıflandırmasına göre yarı nemli ve TS 825 standardına göre birinci bölge olarak sınıflandırılmıştır. Antalya modelinde yapılan enerji analizlerine göre (Şekil

4.17) ısıtma yükü sıfır olup, diğer şehirlerden farklı olarak soğutma yükünün elektrik yükünden daha fazla olduğu görülmektedir. Beşik çatı modeli, düz çatı modeline göre daha düşük bir soğutma yüküne sahiptir. Isıtma yükü beşik çatı modelinde de sıfır olarak hesaplanmıştır. Kırma çatı modelinde ise enerji tüketimi, düz çatı modeline benzer bir şekilde seyretmektedir; ancak beşik çatı modellerinden farklı sonuçlar elde edilmiştir. Kırma çatı modelinde, düz çatı modeline benzer şekilde soğutma yükü elektrik yükünden daha yüksek olup, ısıtma yükü sıfır çıkmaktadır.

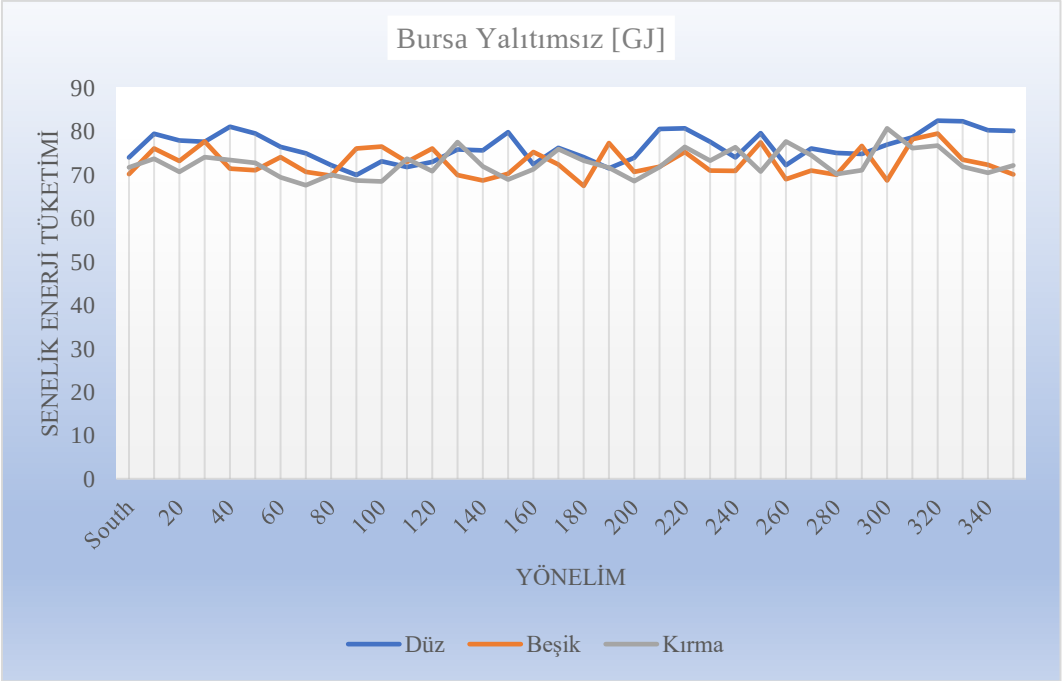


Şekil 4.17. Antalya şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 90,08 GJ, beşik çatı için 88,87 GJ ve kırma çatı için 89,20 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 3,57 GJ, beşik çatı için 3,35 GJ ve kırma çatı için 3,58 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketimi farkı, düz çatı için 13,57 GJ, beşik çatı için 12,03 GJ ve kırma çatı için 14,63 GJ olarak hesaplanmıştır.

4.4.2. Bursa için yalıtımsız model analizi

Bursa şehri Aydeniz sınıflandırmasına göre yarı nemli ve TS 825 standardına göre ikinci bölge olarak sınıflandırılmıştır.



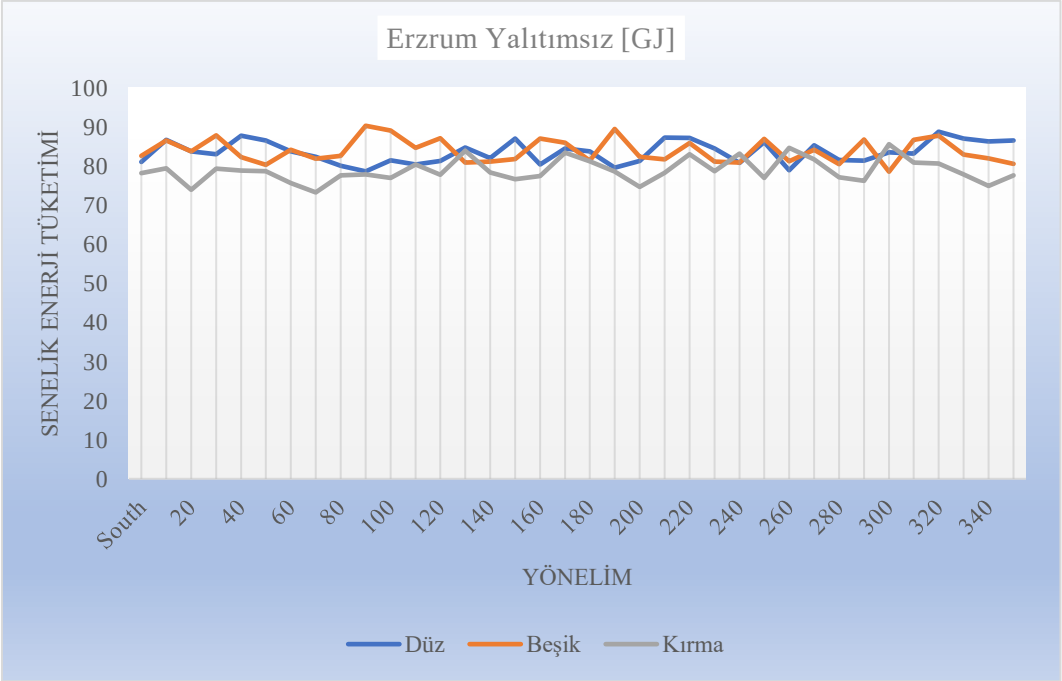
Şekil 4.18. Bursa şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

Yalıtımsız analize göre (Şekil 4.18), Bursa şehri için ısıtma yükü sıfır olmamakta ve toplam enerji tüketimi Antalya şehrinden daha düşük çıkmaktadır. Ayrıca, soğutma yükü elektrik yükünden daha azdır, bu değer ise Antalya için farklılık göstermektedir. Beşik çatı modelinde, soğutma yükü düz çatıya göre daha düşük olup, ısıtma yükü ise düz çatı modeline kıyasla ortalama olarak daha yüksektir. Kırma çatı modelinde ise, beşik çatıya göre daha düşük ısıtma yükü ve daha yüksek soğutma yükü gözlemlenmektedir; düz çatıyla karşılaştırıldığında ise benzer bir enerji tüketim davranışı sergilenmektedir.

Yıllık ortalama enerji tüketimi çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 76,43 GJ, beşik çatı için 72,85 GJ ve kırma çatı için 72,60 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 3,38 GJ, beşik çatı için 3,22 GJ ve kırma çatı için 3,06 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketimi farkı sırasıyla, düz çatı için 12,52 GJ, beşik çatı için 12,05 GJ ve kırma çatı için 13,10 GJ olarak hesaplanmıştır.

4.4.3. Erzurum için yalıtımsız model analizi

Erzurum, Aydeniz sınıflandırmasına göre yarı nemli iklim tipine sahip olup, TS 825 standardına göre dördüncü bölgede yer almaktadır.



Şekil 4.19. Erzurum şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

Analizler incelendiğinde (Şekil 4.19), Erzurum şehri diğer iki yarı nemli şehirden tamamen farklı bir enerji tüketim davranışı sergilemektedir. Düz çatı modelinde, ısıtma yükünün ilk kez soğutma yükünden daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Beşik çatı analizinde ise, düz çatıya kıyasla daha düşük bir soğutma yükü ve aynı zamanda daha yüksek bir ısıtma yükü olduğu görülmektedir. Kırma çatı modelinde ise, beşik çatıya göre daha yüksek bir soğutma yükü ve daha düşük bir ısıtma yükü tespit edilmiştir. Genel olarak, toplam ortalama enerji tüketimi kırma çatı modellerinde düz ve beşik çatıya göre daha düşük çıkmıştır.

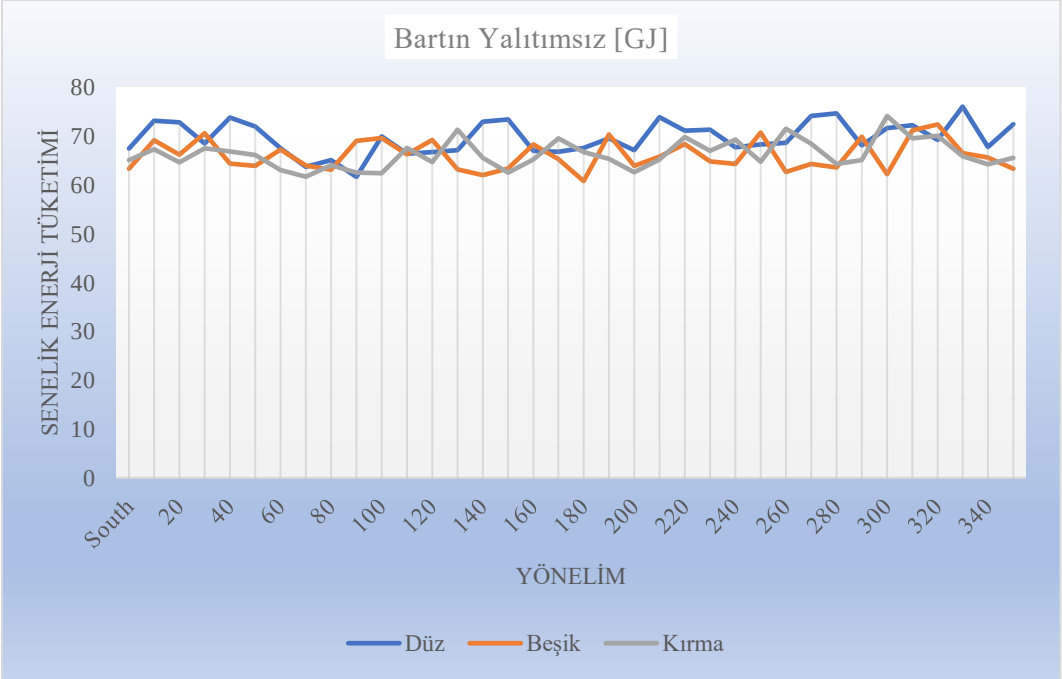
Yıllık ortalama enerji tüketimi çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 83,58 GJ, beşik çatı için 83,92 GJ ve kırma çatı için 78,88 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 2,82 GJ, beşik çatı için 3,06 GJ ve kırma çatı için 2,99 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketimi farkı sırasıyla düz çatı için 10,15 GJ, beşik çatı için 11,75 GJ ve kırma çatı için 12,33 GJ olarak hesaplanmıştır.

4.5. Nemli İklim Bölgesi

Nemli iklim bölgesi kategorisinde üç şehir olarak Bartın, İstanbul ve Samsun analize alınmıştır.

4.5.1. Bartın için yalıtımsız model analizi

Bartın, Aydeniz sınıfında nemli iklim ve TS 825 standardına göre ikinci bölge olarak sınıflandırılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçlarına bakıldığında (Şekil 4.20) Bartın şehrinin yalıtımsız düz çatı bina modelinde ısıtma yükü diğer yüklerden daha düşük, elektrik yükü ise en yüksek değer olarak tespit edilmiştir. Beşik çatı modeli, düz çatı modeline kıyasla daha düşük bir soğutma yüküne sahiptir. Bununla birlikte, ısıtma yükü, düz çatı modelinden yalnızca küçük bir farkla daha yüksektir. Kırma çatı modelinde ise, diğer iki modele göre daha düşük enerji tüketimi gözlemlenmiştir.



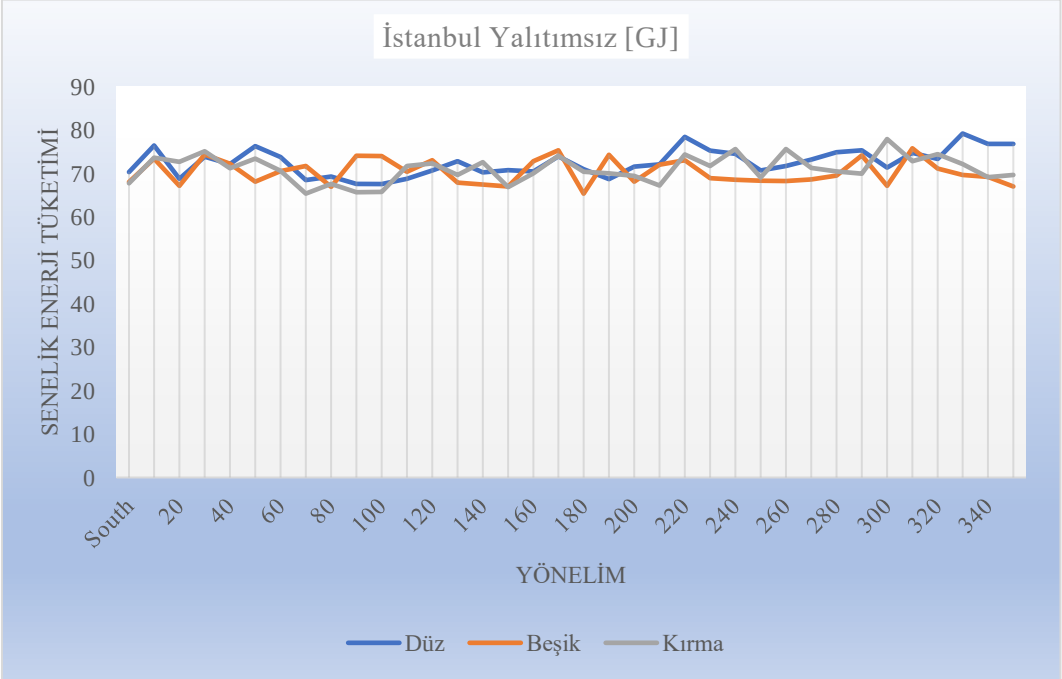
Şekil 4.20. Bartın şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 69,59 GJ, beşik çatı için 66,03 GJ ve kırma çatı için 66,25 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 3,35 GJ, beşik çatı için 3,09 GJ ve kırma çatı için 2,91 GJ olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelim arasındaki enerji tüketimi farkı sırasıyla düz çatı için 14,37 GJ, beşik çatı için 11,60 GJ ve kırma çatı için 12,44 GJ olarak hesaplanmıştır.

4.5.2. İstanbul için yalıtımsız model analizi

İstanbul şehrinin Bartın şehrine benzer bir sınıflandırması vardır. Her iki şehir "TS 825" standardına göre ikinci bölge olarak ve Aydeniz sınıflandırmasına göre ise nemli bölge olarak sınıflandırmıştır.

İstanbul için yapılan analizlerin sonuçlarına göre (Şekil 4.21) (iki şehir aynı sınıflarda yer almasına rağmen), düz çatı bina modelinde İstanbul'un Bartın'a kıyasla daha düşük ısıtma yükü ve daha yüksek soğutma yükü olduğu görülmektedir. Beşik çatı modelinde ise, diğer şehirlerde olduğu gibi daha düşük soğutma yükü ve daha yüksek ısıtma yükü tespit edilmiştir. Kırma çatı modelinin enerji tüketimi düz çatı modeline benzer bir eğilim göstermektedir.

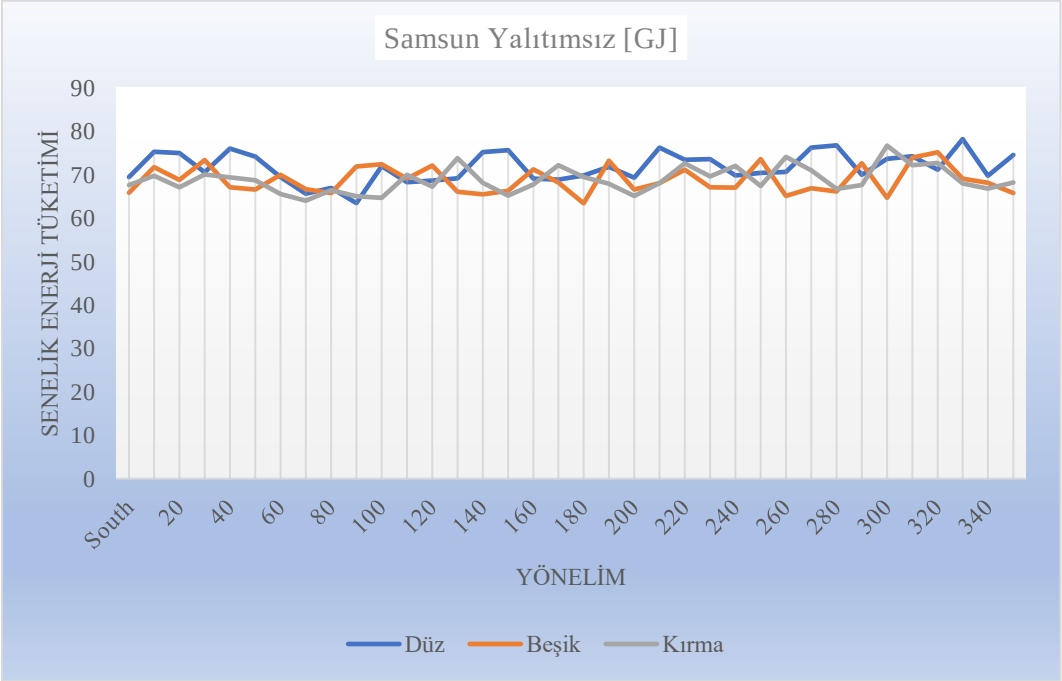


Şekil 4.21. İstanbul şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi, çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 72,55 GJ, beşik çatı için 70,38 GJ ve kırma çatı için 71,04 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 3,07 GJ, beşik çatı için 2,89 GJ ve kırma çatı için 3,04 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelimler arasındaki enerji tüketimi farkı sırasıyla düz çatı için 11,63 GJ, beşik çatı için 10,45 GJ ve kırma çatı için 12,56 GJ olarak hesaplanmıştır.

4.5.3. Samsun için yalıtımsız model analizi

Samsun şehri de iki diğer nemli sınıfındaki şehirler gibi TS 825 standardına ikinci bölgede yer almaktadır. Samsun şehri için düz çatı bina modeli, Bartın'a kıyasla çok az farklılık gösterirken, İstanbul'un düz çatı modeliyle benzer bir enerji tüketim davranışı sergilemektedir (Şekil 4.22). Beşik çatı modeli, düz çatıya göre daha düşük bir soğutma yüküne sahiptir. Kırma çatı modelinde ise, ısıtma yükü diğer iki modelden daha düşük, soğutma yükü ise beşik çatı modelinden yüksek ancak düz çatı modelinden daha düşüktür.



Şekil 4.22. Samsun şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

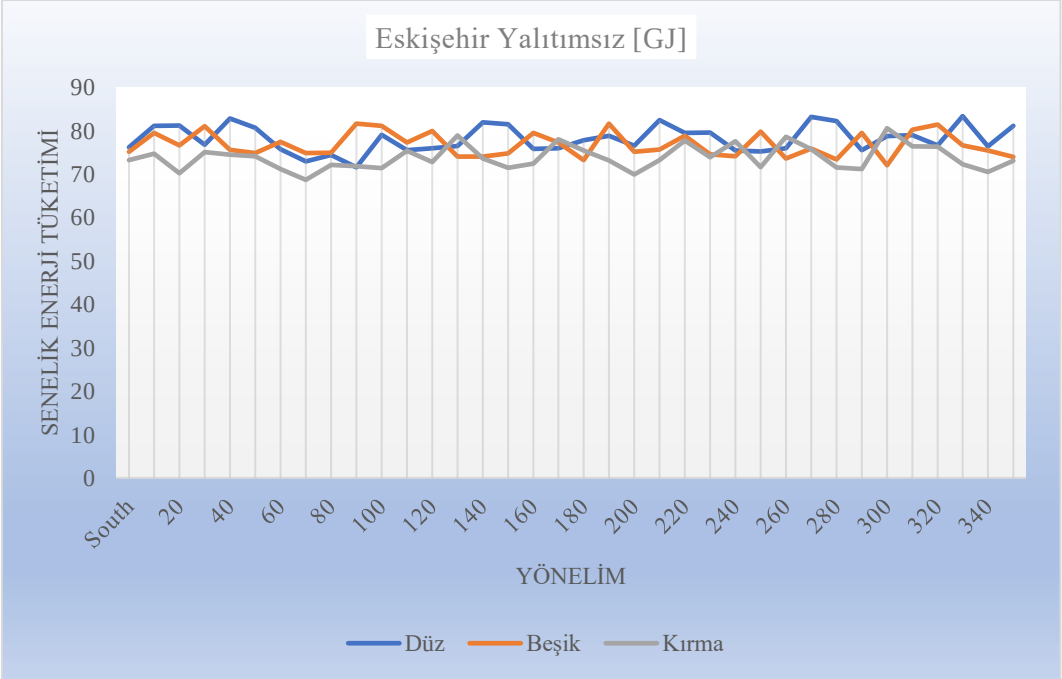
Yıllık ortalama enerji tüketimi çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 71,72 GJ, beşik çatı için 68,77 GJ ve kırma çatı için 68,84 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları ise sırasıyla düz çatı için 3,44 GJ, beşik çatı için 3,15 GJ ve kırma çatı için 2,96 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelimler arasındaki enerji tüketimi farkı, düz çatı için 14,74 GJ, beşik çatı için 11,74 GJ ve kırma çatı için 12,69 GJ olarak hesaplanmıştır.

4.6. Yarı Kurak İklim Bölgesi

Yarı kurak iklim bölgesi sınıfında Eskişehir, Adana ve İzmir şehirleri örneklenmiştir.

4.6.1. Eskişehir için yalıtımsız model analizi

Eskişehir Aydeniz sınıfına göre yarı kurak ve TS 825 standardına göre üçüncü bölgede yer almaktadır. Eskişehir için yapılan analizlerin sonuçları Şekil 4.23'de verilmiş olup, düz çatı bina modelinde birçok modelden farklı olarak ikinci kez ısıtma yükü soğutma yükünden daha fazla çıkmaktadır. Beşik çatı bina modeli düz çatıya göre daha az soğutma yükü ve daha yüksek ısıtma yüküne sahiptir. Kırma çatı modelinde ise (Şekil 4.23), ısıtma yükü beşik çatıdan daha azken soğutma yükü çok az farkla yüksektir ve toplam kullanılan enerji beşik çatıdan daha azdır.

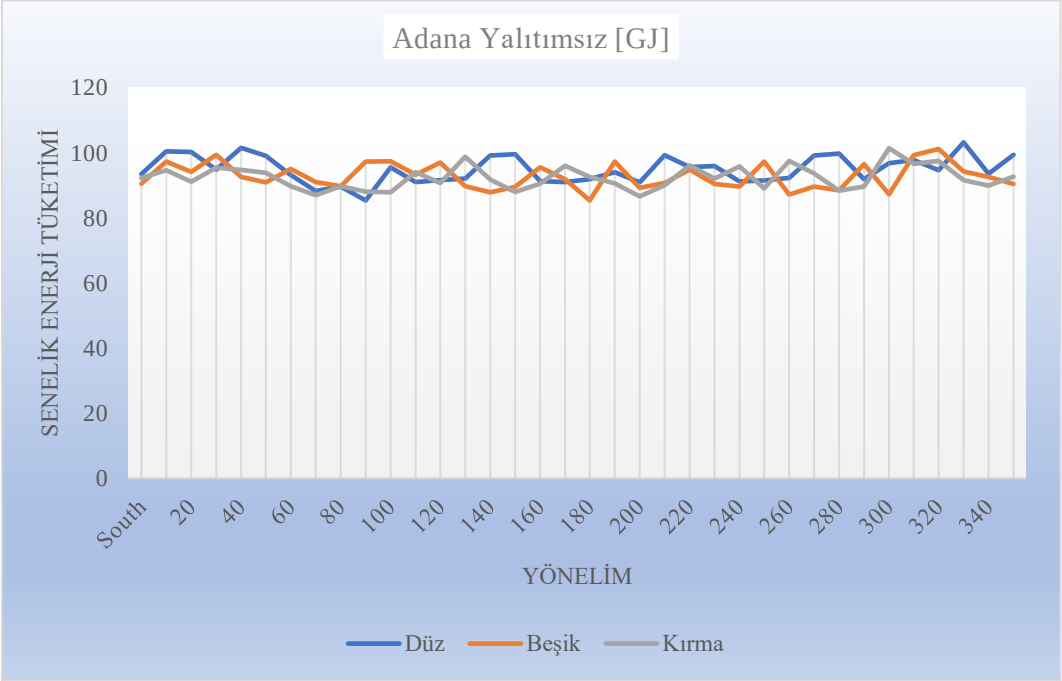


Şekil 4.23. Eskişehir şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 78,07 GJ, beşik çatı için 76,73 GJ ve kırma çatı için 73,78 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 3,07 GJ, beşik çatı için 2,84 GJ ve kırma çatı için 2,83 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelimler arasındaki enerji tüketimi farkı, düz çatı için 11,78 GJ, beşik çatı için 9,58 GJ ve kırma çatı için 11,90 GJ olarak hesaplanmıştır.

4.6.2. Adana için yalıtımsız model analizi

Adana şehri Aydeniz'e göre yarı kurak ve TS 825 standardına göre birinci bölgede yer almakta olup, Adana şehrinde düz çatı bina modeli (Şekil 4.24) Eskişehir şehrine göre neredeyse sıfır ısıtma yüküne sahiptir ve soğutma yükü diğer tüm yüklerden yüksektir. Bu bakımdan Eskişehir'den tamamen farklı bir enerji davranışı sergilemektedir.

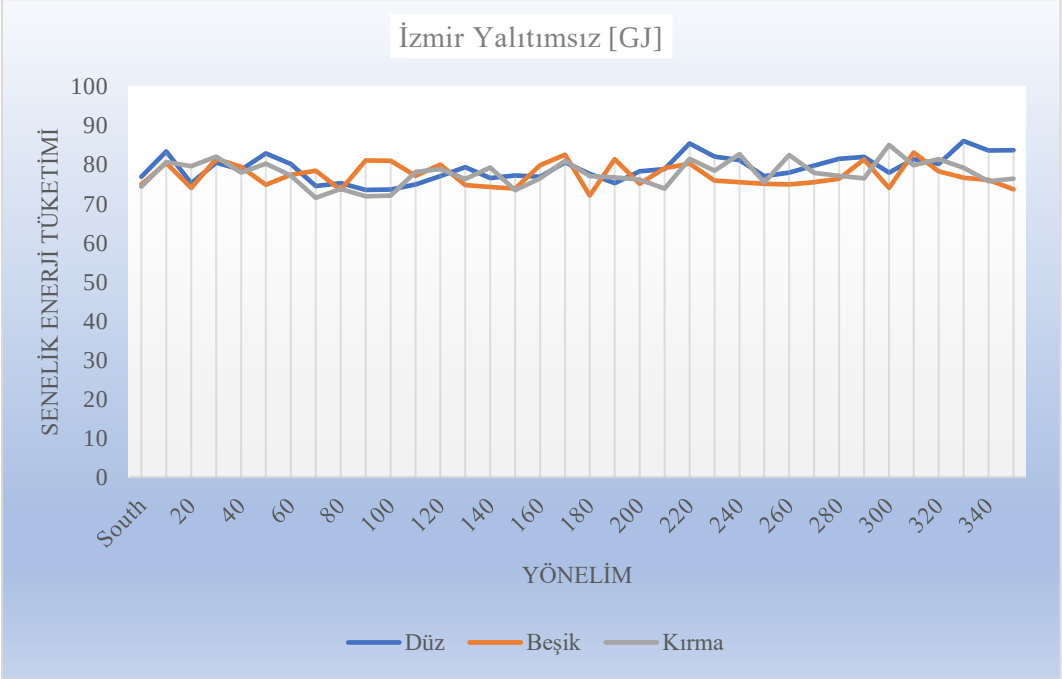


Şekil 4.24. Adana şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

Beşik çatı modelinde, soğutma yükü düz çatıya göre daha düşüktür. Kırma çatı modelinde ise ısıtma yükü sıfır çıkarken, soğutma yükü beşik çatı modelinden daha yüksektir. Yıllık ortalama enerji tüketimi çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 94,81 GJ, beşik çatı için 92,73 GJ ve kırma çatı için 92,31 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 4,21 GJ, beşik çatı için 4,00 GJ ve kırma çatı için 3,59 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelimler arasındaki enerji tüketimi farkı, düz çatı için 17,83 GJ, beşik çatı için 15,80 GJ ve kırma çatı için 14,78 GJ olarak hesaplanmıştır.

4.6.3. İzmir için yalıtımsız model analizi

İzmir şehri sınıflandırılması Adana şehrine gibi Aydeniz'e göre yarı kurak ve TS 825 standardına göre birinci bölgededir. Şekil 4.25'de İzmir'deki yalıtımsız modeller için yapılan enerji tüketim analizi sunulmuştur. İzmir'deki düz çatı bina modeli, Adana şehrine kıyasla çok az miktarda ısıtma yükü göstermekte ve soğutma yükü de Adana'ya göre daha düşük, ayrıca elektrik yükünden daha azdır. Beşik çatı modelinde, düz çatıya kıyasla daha az soğutma yükü ve sadece küçük bir farkla daha yüksek ısıtma yükü gözlemlenmektedir. Kırma çatı modelinde ise, tıpkı düz çatı gibi sıfıra yakın ısıtma yükü ve beşik çatıya göre daha yüksek bir soğutma yükü gözükmektedir.



Şekil 4.25. İzmir şehri yalıtımsız modellerin enerji tüketim analizi

Yıllık ortalama enerji tüketimi çatı tiplerine göre şu şekilde hesaplanmıştır: düz çatı için 79,02 GJ, beşik çatı için 77,25 GJ ve kırma çatı için 77,67 GJ. Bu değerlerin standart sapmaları sırasıyla düz çatı için 3,28 GJ, beşik çatı için 3,03 GJ ve kırma çatı için 3,26 GJ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en verimli ve en verimsiz yönelimler arasındaki enerji tüketimi farkı, düz çatı için 12,51 GJ, beşik çatı için 11,01 GJ ve kırma çatı için 13,53 GJ olarak hesaplanmıştır.

4.7. Yalıtımsız Modeller Sonuçlar Analizi

4.7.1. Çok kurak iklim bölgesi sonuç analizi

Çok kurak iklimleri deneyimleyen iki şehrin (Iğdır ve Şanlıurfa) incelendiği çalışma bağlamında yapılan analizler binaların enerji verimliliği açısından düz ve kırma çatılara yönelik optimal yönlendirme konusunda dikkate değer bir benzerlik ortaya koymaktadır.

Çok kuru iklimli şehirlerde yalıtımlı ve yalıtımsız modeller için enerji tüketim sonuçları (elektrik, ısıtma, soğutma) Çizelge 4.1'de verilmiştir. Veriler, çatı tiplerine (düz, beşik ve kırma) göre ayrılmıştır. Her iki şehirde de düz ve kırma çatılı binaların en düşük enerji tüketimini, sırasıyla 280, 100, 90 ve 70 derecede yönlendirildiklerinde sergilendiği görülmektedir. Ancak, beşik çatılı binalarda ilginç bir fark ortaya çıkmaktadır. Her iki şehirde de beşik çatılar için en uygun yönlendirmelerin 180, 300, 350 ve 80 derece olduğu tespit edilmiştir. Bu optimal yönelimlerdeki farklar, çok kuru iklim koşullarında enerji verimliliğini artırmak için çatı tipinin önemli bir faktör olduğunu vurgulamaktadır.

Çizelge 4.1.Çok kurak şehirlerin analiz sonuçları

Şehir	Çatı	En iyi yön	2. en iyi yön	3. en iyi yön	En kötü yön	2. en kötü yön
Iğdır	Düz	70,99/ 280	71,41/ 100	71,45/ 90	82,47/ 330	82,3/ 220
	Beşik	70,96/ 180	71,18/ 300	71,28/ 350	80,51/ 170	79,32/ 310
	Kırma	67,73/ 70	68,45/ 100	68,59/ 90	80,12/ 300	78,41/ 240
Şanlıurfa	Düz	86,15/ 90	86,19/ 280	86,22/ 100	99,08/ 330	98,47/ 220
	Beşik	85,74/ 180	87,24/ 80	87,24/ 350	97,08/ 310	96,99/ 170
	Kırma	83,42/ 70	84,26/ 90	84,31/ 100	98,26/ 300	95,94/ 240

4.7.2. Kurak İklim Bölgesi Sonuç Analizi

Analizler, kurak iklim koşulları altındaki üç şehire (Adıyaman, Ankara, Konya) odaklandığında Çizelge 4.2'de görüleceği üzere; düz çatılı binaları incelediğimizde, maksimum enerji verimliliğine ulaşmak için üç şehrin de ortak optimal yönlendirmenin 90 derece olduğu açık hale gelmektedir. Benzer şekilde, kırma çatılar için, tüm şehirlerde en verimli yönlendirme 70 derece olarak bulunmuştur. Ayrıca, düz ve kırma çatılar için, 100, 20, 70, 80 ve 200 derecelerdeki yönelimler dikkate değer düzeyde yüksek enerji verimliliği

sergilemektedir. Beşik çatılara sahip binalara döndüğümüzde, şehirlerin ikisi benzer optimal yönelimleri göstermektedir, özellikle de 180, 300 ve 350 derece. Ancak, Ankara şehri, beşik çatılara yönelik olarak 100, 70 ve 340 derecelerde üstün enerji verimliliği sergileyerek kendini farklı kılmaktadır. Bu farklılık, kurak iklimlerde bina yönlendirmelerini enerji verimliliği açısından optimize etme konusunda konum özgü düşüncelerin önemini vurgulamaktadır.

Çizelge 4.2. Kurak şehirlerin analiz sonuçları

Şehir	Çatı	En iyi yön	2. en iyi yön	3. en iyi yön	En kötü yön	2. en kötü yön
Adıyaman	Düz	75,54/ 90	75,72/ 100	76,14/ 20	85,96/330	85,9/ 220
	Beşik	75,57/ 180	75,79/ 300	75,80/ 350	85,46/ 170	84,33/ 90
	Kırma	72,36/ 70	73,65/ 100	73,84/ 90	84,57/ 300	82,97/ 240
Ankara	Düz	63,15/ 90	67,97/ 70	68,98/ 80	78,12/ 220	78,11/ 330
	Beşik	66,78/ 100	66,91/ 70	68,50/ 340	77,14/ 300	76,98/ 190
	Kırma	65,35/ 70	66,48/ 100	66,76/ 90	76,71/ 300	75,18/ 240
Konya	Düz	77,30/ 90	77,50/ 100	78,27/ 20	86,97/ 330	86,78/ 10
	Beşik	77,63/ 180	77,64/ 300	78,26/ 350	87,17/ 170	86,71/ 90
	Kırma	73,49/ 70	74,22/ 200	75,10/ 20	85,38/ 300	83,95/ 130

Yukarıdaki çizelge, kuru iklimlerdeki şehirler için enerji performansı ölçümlerini özetlemekte ve çatı tipinin enerji yükleri ile tüketim modelleri üzerindeki etkilerini ayrıntılı bir şekilde ortaya koymaktadır. Çizelgede görüldüğü üzere, en verimli yönelimler düz çatılar için 90 derece, beşik çatılar için 100 ve 180 derece, kırma çatılar için ise 70 derece olarak belirlenmiştir

4.7.3. Yarı kurak iklim bölgesi sonuç analizi

Çizelge 4.3'de sunulan bulgulara göre, yarı-kurak iklim koşullarında bulunan üç şehir için (Eskişehir, İzmir, Adana); düz ve kırma çatıların neredeyse aynı optimal yönelim sergilediği açıktır. Bu ortak yönelimeler, 100, 90, 70, 80, 200 ve 20 dereceyi içermektedir. Benzer şekilde, beşik çatılar da üç şehirde de benzer bir dizi optimal yönelimleri paylaşmakta olup bunlar, sırasıyla 300, 180, 280, 80, 350 ve 260 derecedir. Bu tutarlı eğilimler, belirtilen yarı-kurak iklim bağlamında bu seçimlerin dayanıklılığını vurgulamaktadır.

Çizelge 4.3. Yarı-kurak şehirlerin analiz sonuçları

Şehir	Çatı	En iyi yön	2. en iyi yön	3. en iyi yön	En kötü yön	2. en kötü yön
Eskişehir	Düz	71,51/ 90	72,88/ 70	74,37/ 80	83,29/ 330	83,13/ 270
	Beşik	71,98/ 300	73,20/ 180	73,33/ 280	81,56/ 190	81,55/ 90
	Kırma	68,62/ 70	69,83/ 200	70,13/ 20	80,52/ 300	78,81/ 130
İzmir	Düz	73,47/ 90	73,55/ 100	74,45/ 70	85,98/ 330	85,37/ 220
	Beşik	72,03/ 180	73,44/ 80	73,63/ 350	83,04/ 310	82,46/ 170
	Kırma	71,45/ 70	71,82/ 90	71,98/ 100	84,98/ 300	82,62/ 240
Adana	Düz	85,28/ 90	88,22/ 70	89,57/ 80	103,11/ 330	101,41/ 40
	Beşik	85,29/ 180	87,05/ 260	87,21/ 300	101,09/ 320	99,32/ 30
	Kırma	86,54/ 200	86,92/ 70	87,80/ 100	101,32/ 300	98,73/ 130

Yukarıdaki çizelge, yarı kurak iklim bölgelerine ait enerji analizi verilerini sunmaktadır. Çizelgeden anlaşılacağı üzere, yarı kurak iklim koşullarında en verimli yönelimler; düz çatılar için 90 derece, beşik çatılar için 180 ve 300 derece, kırma çatılar için ise 200 ve 70 derece olarak belirlenmiştir.

4.7.4. Nemli iklim bölgesi sonuç analizi

Samsun ve Bartın şehirlerinin tüm çatı şekilleri için Çizelge 4.4 incelendiğinde; aynı optimal yönelimleri vermektedir. Özellikle, düz ve kırma çatılar için bu iki şehir tutarlı bir şekilde aynı sonuçları göstermekte olup, üç şehirde de aynı olan 90, 70, 80, 100 ve 150 derecelerde yönelimleri sergilemektedirler. Buna karşılık, beşik çatılar, düz ve kırma çatıların gözlemlenen eğilimlerinden farklılaşmakta olup, üç şehirde de farklı optimal yönelimler ortaya çıkmıştır. Bu farklı yönelimler, sırasıyla 180, 300, 260, 80, 350 ve 140 derecelerdir.

Çizelge 4.4. Nemli şehirlerin analiz sonuçları

Şehir	Çatı	En iyi yön	2. en iyi yön	3. en iyi yön	En kötü yön	2. en kötü yön
Samsun	Düz	63,45/ 90	65,58/ 70	66,95/ 80	78,19/ 330	76,78/ 280
	Beşik	63,41/ 180	64,66/ 300	65,07/ 260	75,15/ 320	73,93/ 310
	Kırma	64,00/ 70	64,66/ 100	65,00/ 90	76,69/ 300	74,12/ 260
Istanbul	Düz	67,57/ 100	67,58/ 90	68,46/ 70	79,20/ 330	78,46/ 220
	Beşik	65,35/ 180	66,96/ 80	67,01/ 350	75,80/ 310	75,32/ 170
	Kırma	65,37/ 70	65,69/ 90	65,77/ 100	77,93/ 300	75,67/ 260
Bartin	Düz	61,61/ 90	63,63/ 70	65,01/ 80	75,98/ 330	74,62/ 280
	Beşik	60,74/ 180	61,99/ 140	62,16/ 300	72,34/ 320	71,14/ 310
	Kırma	61,63/ 70	62,32/ 100	62,50/ 150	74,07/ 300	71,48/ 260

Yukarıdaki çizelge, nemli iklim bölgesine ilişkin enerji analizlerini özetlemektedir. Verilere göre, düz çatılar için en verimli yönelimler 90 ve 100 derece olarak belirlenmiştir. Beşik çatılar için 180 derece, kırma çatılar için ise 70 derece en uygun yönelimler olarak öne çıkmaktadır.

4.7.5. Yarı nemli iklim bölgesi sonuç analizi

Yarı-nemli kategorisinde, Çizelge 4.5'de belirtildiği gibi, üç şehir de (Antalya, Bursa, Erzurum) (bazı benzerliklere rağmen) oldukça farklı sonuçlar sergilemektedir. Örneğin, Antalya şehrinde, düz ve kırma çatılar için optimal yönelimler 90, 100 ve 70 derece olduğu bulunurken, bu şehirde beşik çatılar için tercih edilen yönelimler 180, 80 ve 350 derece olarak belirlenmiştir. Bursa şehrinde ise, üç çatı şekli de farklı optimal yönelimler vermektedir, bu da şehir içinde benzersiz enerji verimliliği trendlerini işaret etmektedir. Benzer şekilde, Erzurum şehrinde de üç farklı çatı şekli için sonuçlar farklılık göstermektedir.

Çizelge 4.5. Yarı-nemli şehirlerin analiz sonuçları

Şehir	Çatı	En iyi yön	2. en iyi yön	3. en iyi yön	En kötü yön	2. en kötü yön
Antalya	Düz	84,05/ 90	84,24/ 100	85,05/ 70	97,62/ 330	96,76/ 220
	Beşik	83,04/ 180	84,84/ 80	85,05/ 350	95,07/ 310	94,59/ 170
	Kırma	82,35/ 70	82,75/ 90	83,14/ 100	96,98/ 300	94,41/ 30
Bursa	Düz	69,94/ 90	71,47/ 190	71,77/ 110	82,46/ 320	82,32/ 330
	Beşik	67,44/ 180	68,66/ 140	68,71/ 300	79,49/ 320	78,18/ 310
	Kırma	67,59/ 70	68,49/ 100	68,53/ 200	80,69/ 300	77,68/ 260
Erzurum	Düz	78,65/ 90	78,90/ 260	79,63/ 190	88,80/ 320	87,82/ 40
	Beşik	78,57/ 300	80,31/ 50	80,49/ 280	90,32/ 90	89,48/ 190
	Kırma	73,27/ 70	73,97/ 20	74,71/ 200	85,60/ 300	84,64/ 260

Yukarıdaki çizelge, yalnızca en verimli yönelim dikkate alındığında (üç verimli yönelim yerine yalnızca en uygun olanına odaklanıldığında), düz çatılar için 90 derece, beşik çatılar için 180 ve 300 derece, kırma çatılar için ise 70 derece olduğunu ortaya koymaktadır.

4.7.6. Çok nemli iklim bölgesi sonuç analizi

Çizelge 4.6'da yer alan bulgulara göre, çok nemli iklim koşullarında tüm şehirlerin (Giresun, Rize, Zonguldak) düz ve kırma çatılar için benzer optimal yönelimler sergilediği dikkat çekmektedir. Bu yönelimler 100°, 90° ve 70° olarak öne çıkmaktadır. Öte yandan, beşik çatılar açısından değerlendirildiğinde, özellikle 180° ve 150° yönelimlerinde belirgin benzerlikler gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.6. Çok nemli şehirlerin analiz sonuçları

Şehir	Çatı	En iyi yön	2. en iyi yön	3. en iyi yön	En kötü yön	2. en kötü yön
Giresun	Düz	63,01/ 100	63,54/ 90	63,84/ 70	72,78/ 330	72,59/ 220
	Beşik	60,06/ 180	61,00/ 300	61,73/ 150	69,15/ 90	69,1/ 170
	Kırma	60,2/ 70	60,27/ 210	60,75/ 100	69,51/ 300	68,53/ 30
Rize	Düz	63,49/ 100	63,55/ 90	64,23/ 70	74,38/ 330	73,86/ 220
	Beşik	60,40/ 180	61,99/ 350	62,11/ 150	70,72/ 310	70,14/ 170
	Kırma	61,18/ 70	61,49/ 90	61,65/ 100	73,15/ 300	71,13/ 260
Zonguldak	Düz	63,84/ 100	63,85/ 90	64,60/ 70	75,00/ 330	74,18/ 220
	Beşik	60,66/ 180	62,09/ 150	62,24/ 80	70,76/ 310	69,97/ 170
	Kırma	60,86/ 70	61,14/ 90	61,35/ 100	73,14/ 300	70,89/ 260

Yukarıdaki çizelge, çok nemli iklim koşullarında en verimli ve en verimsiz yönelimlere dair analizleri sunmaktadır. Sonuçlar, düz çatılar için en verimli yönelimin 100°, beşik çatılar için 180°, kırma çatılar için ise 70° olduğunu ortaya koymaktadır.

4.8. Yalıtımlı Modeller Sonuç Analizi

Yalıtım modelli binalar açısından analizlerin çok zaman alması nedeniyle, yalnızca 8 şehir (Iğdır, Şanlıurfa, Giresun, Rize, Zonguldak, Adıyaman, Ankara ve Konya) değerlendirilmiş olup, diğer şehirlerde için ise yalnızca yalıtım malzemesi bulunmayan binalar analiz edilmiştir.

4.8.1. Çok nemli iklim bölgesi sonuç analizi

Çok nemli iklim bölgesindeki analiz edilen üç şehirde, düz çatılı binalar için aynı optimum yönelimler belirlenmiştir: 190°, 100° ve 20° (Çizelge 4.7). Bu düz çatı modelleri, aynı zamanda en kötü yönelimlerde de ortak özellik göstermektedir: 220°, 350° ve 10°. Beşik çatı modelleri açısından ise her üç şehir de aynı optimum ve en kötü yönelimlere sahiptir. Optimum yönelimler 100°, 200° ve 240° iken, en kötü yönelimler 190°, 260° ve 270° olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7. Çok nemli şehirlerin (yalıtımlı modeller) analiz sonuçları

Şehir	Çatı	En iyi yön	2. en iyi yön	3. en iyi yön	En kötü yön	2. en kötü yön
Rize	Düz	63,71/ 20	63,84/ 190	63,88/ 100	73,97/ 220	72,37/ 350
	Beşik	57,91/ 100	61,88/ 200	62,35/ 240	70,11/190	69,40/ 260
	Kırma	60,48/ 80	61,60/ 90	61,77/ 100	72,38/ 300	71,77/ 330
Zonguldak	Düz	64,23/ 100	64,49/ 190	64,60/ 20	74,32/ 220	73,06/ 350
	Beşik	57,95/ 100	62,00/ 200	62,28/ 130	70,02/ 190	69,39/ 260
	Kırma	60,15/ 80	61,24/ 90	61,45/ 100	72,29/ 300	72,00/ 330
Giresun	Düz	62,34/ 190	63,54/ 100	63,61/ 20	71,45/ 350	71,17/ 220
	Beşik	58,50/ 100	60,68/ 200	61,17/ 240	68,51/ 190	67,70/ 260
	Kırma	59,85/ 80	60,43/210	60,63/280	69,19/ 330	69,09/ 300

Yukarıdaki çizelge, yalıtımlı modeller için en verimli ve en verimsiz yönelimlerle birlikte bu yönelimlere ait enerji tüketim analizlerini detaylı şekilde sunmaktadır. Çizelgeye göre, düz çatılar için en verimli yönelimler 20°, 100° ve 190° olarak tespit edilmiştir. Beşik çatılar için en verimli yönelim 100° iken, kırma çatılarda ise 80° en verimli yönelim olarak belirlenmiştir.

4.8.2. Çok kurak iklim bölgesi sonuç analizi

Çok kurak iklime sahip bir bölgede, iki şehirde (Iğdır ve Şanlıurfa) yapılan analizler, düz, kırma ve beşik çatı tipleri arasında en uygun ve en verimsiz yönelimler açısından benzer modeller ortaya koymaktadır (Çizelge 4.8). Her ne kadar çatı tipleri arasında küçük farklılıklar gözlemlense de, bu bulgular enerji performansı optimizasyonunda yönelim stratejilerinin iklim koşullarına bağlı olarak daha evrensel prensiplerle şekillenebileceğini düşündürmektedir.

Çizelge 4.8. Çok kurak şehirlerin (yalıtımsız modeller) analiz sonuçları

Şehir	Çatı	En iyi yön	2. en iyi yön	3. en iyi yön	En kötü yön	2. en kötü yön
İğdır	Düz	71,35/ 100	71,92 / 70	72,27/ 80	82,43/ 220	80,90 / 350
	Beşik	67,16 / 100	71,62 / 280	71,71 / 240	80,08 / 190	78,43 / 260
	Kırma	67.39/ 80	68.47/ 100	68.69/ 90	79.88/ 330	79.31/ 300
Şanlıurfa	Düz	86,17/ 100	86,79/ 70	87,19/ 190	98,56/ 220	97,11/ 350
	Beşik	82,10/ 100	87,15/ 130	87,31/ 200	96,91/ 190	96,07 /260
	Kırma	82,88/ 80	84,36/ 100	84,36/ 90	97,68/ 330	97,16/ 300

Yukarıdaki çizelge, çok kurak iklimlerde yalıtımlı modellerin enerji tüketim performansını ve çatı tasarımlarına bağlı değişimleri detaylı olarak analiz etmektedir. Düz ve beşik çatılar için en uygun yönelimler sırasıyla 100°, 70°, 80°, 90° ve 190° açıları olarak belirlenirken, her iki şehirde de düz çatıların en verimsiz yönelimleri 220°, 350° ve 10°, kırma çatıların ise 330°, 300°, 200° ve 240° olarak tespit edilmiştir. Yalnızca en verimli yönelimlere odaklanıldığında, düz çatılar için 100°, beşik çatılar için 100° ve kırma çatılar için 80° açıları en yüksek enerji verimliliği sağlamaktadır.

4.8.3. Kurak iklim bölgesi sonuç analizi

Kurak iklim bölgesindeki analiz sonuçlarına göre (Çizelge 4.9'da ayrıntılandırıldığı üzere), Adıyaman ve Ankara tüm çatı tiplerinde aynı optimum yönelimlere sahiptir: düz çatılar için 100°, 20° ve 70°; beşik çatılar için 100°, 200° ve 240°; kırma çatılar için ise 80°, 100° ve 90°. Benzer şekilde, her iki şehirde en kötü performans gösteren yönler de örtüşmektedir: düz çatılar için 220°, 350° ve 10°; beşik çatılar için 190°, 260° ve 270°; kırma çatılar için 330°, 300° ve 240°.

Çizelge 4.9. Kurak şehirlerin (yalıtımlı modeller) analiz sonuçları

Şehir	Çatı	En iyi yön	2. en iyi yön	3. en iyi yön	En kötü yön	2. en kötü yön
Adıyaman	Düz	76,22/ 100	76,31/ 20	76,35/ 70	86,28/ 220	85,03/ 350
	Beşik	72,19/ 100	76,23/ 200	76,30/ 240	84,96/ 190	83,76/ 260
	Kırma	72,41/ 80	73,66/ 100	73,94/ 90	83,98/ 330	83,85/ 300
Ankara	Düz	69,02/ 100	69,12/ 20	69,13/ 70	78,46/ 220	77,23/ 350
	Beşik	65,12/ 100	68,81/ 200	68,93/ 240	76,95/ 190	75,86/ 260
	Kırma	65,41/ 80	66,48/ 100	66,85/ 90	76,09/ 300	76,04/ 330
Konya	Düz	78,00/ 190	78,03/ 100	78,42/ 70	87,08/ 220	86,94/ 350
	Beşik	74,80/ 100	77,94/ 280	78,04/ 200	86,42/ 190	85,14/ 260
	Kırma	74.04/80	75.07/ 100	75.37/ 280	85,00/ 330	84.10/ 300

Yukarıdaki çizelge, kurak iklimlerde yalıtımlı binaların enerji tüketimi sonuçlarını sunarak farklı çatı konfigürasyonlarının performanslarını karşılaştırmaktadır. Analizlere göre, en yüksek enerji verimliliği düz çatılarda 100° ve 190°, beşik çatılarda 100° ve kırma çatılarda 80° yönelim açılarında kaydedilmiştir.

Konya için, en kötü yönelimler (aynı yönler) açısından Adıyaman ve Ankara ile bazı benzerlikler gösterse de, optimum yönelimler farklılık göstermekte ve bu şehir için farklı bir modele işaret etmektedir. "Kurak iklimlerde" yalıtım malzemeleri bazen çeşitli faktörler nedeniyle enerji tüketimini artırabilir:

Gündüz-gece sıcaklık değişimleri: Kurak iklimlerde genellikle gece ve gündüz arasında önemli sıcaklık değişimleri yaşanır. Yalıtım, gün boyunca ısıyı bina içinde hapsederek geceleri soğutmayı zorlaştırabilir ve soğutma sistemlerinin daha fazla kullanılmasına yol açabilir.

Termal kütle etkisi: Kurak iklimlerde, yüksek termal kütleye sahip binalar (taş veya kerpiçten yapılmış olanlar gibi), gün boyunca ısıyı emerek ve geceleri serbest bırakarak iç mekan sıcaklıklarını doğal olarak düzenleyebilir. Yalıtım bu doğal sürece müdahale ederek termal kütlenin etkinliğini azaltabilir ve yapay soğutmaya olan bağımlılığı artırabilir.

İklim odaklı olmayan yalıtım tasarımı: Yalıtım belirli bir iklim için doğru şekilde tasarlanmamışsa, ters etki yaratabilir. Örneğin, kurak bir iklimde aşırı yalıtım doğal soğutma ve havalandırmayı engelleyerek klima için daha yüksek enerji kullanımına yol açabilir.

Radyan ısı: Kurak bölgelerde güneşin radyan ısısı yoğundur. Yalıtım malzemeleri uygun şekilde yansıtıcı değilse veya radyan bariyer içermiyorsa, daha fazla ısı emebilir ve tutabilir, bu da bina üzerindeki soğutma yükünü artırır.

Havalandırma sorunları: Kurak iklimlerde ısı birikimini gidermek için uygun havalandırma çok önemlidir. Yalıtım bazen havalandırma etkinliğini azaltarak daha yüksek iç ortam sıcaklıklarına ve soğutma için daha fazla enerji tüketimine yol açabilir.

4.9. Sonuçların Karşılaştırma Analizi

Yüksek miktarda veri, seçilen şehirler ve çizilgeler nedeniyle, aşağıdaki temel bilgileri sunmak için kapsamlı bir analiz yapılmıştır:

En verimli yönelim: Seçilen şehirlerdeki çeşitli çatı tipleri için en enerji verimli yönelimin belirlenmesi.

Ortalama enerji tüketimi: Her senaryo için ortalama enerji tüketim değerlerinin hesaplanması ve karşılaştırılması.

Enerji tüketim aralığı: Yönelimlerin etkisinin daha net anlaşılması için en yüksek enerji tüketimi (en kötü yönelim) ile en düşük enerji tüketimi (en verimli yönelim) arasındaki farkın değerlendirilmesi.

Yalıtım malzemelerinin etkisi: Yalıtımlı ve yalıtımsız modellerin enerji tüketimindeki farklılıkların analizi, yalıtımın yönelim performansı üzerindeki etkisini vurgulanması.

Yalıtımdan sağlanan enerji tasarrufu: Yalıtım yoluyla elde edilen potansiyel enerji tasarrufunun ölçülmesi.

Elde edilen bulgular, sonuçların yapılandırılmış ve kapsamlı bir görünümünü sunan Çizelge 4.10'da özetlenmiş olup, seçilen tüm şehirler ve çatı şekilleri için en uygun yönelimi göstermektedir. Düz çatılar için elde edilen sonuçlara göre, kurak, nemli ve yarı nemli iklim bölgeleri için en uygun yönelim 90 derecedir. Ancak, çok nemli iklim bölgesi için en uygun yönelim 100 dereceye kaymaktadır. Özellikle, İstanbul'da da en uygun yönelimin 100 derece olması, şehrin nemli iklim bölgesinden ziyade çok nemli iklim bölgesi altında sınıflandırılması gerektiğini göstermektedir. Beşik çatı için, üç şehir hariç tüm şehirler 180 derecelik aynı verimli yönelim paylaşmaktadır. Eskişehir ve Erzurum 300 derecelik bir verimli yönelime sahipken, Ankara 100 derecelik bir verimli yönelim göstermektedir. Düz çatılar açısından bu şehirler için optimal yönelimler benzerlik gösterse de, beşik çatı söz konusu olduğunda farklı optimal yönelimler sergilemektedirler. Kırma çatılar için ise, Adana dışındaki tüm şehirler 70 derecelik bir optimal yönelime sahiptir. Ancak, Adana 200 derecelik bir optimum yönelim göstermektedir.

Çizelge 4.10. En verimli yönelimler (yalıtımsız modeller) karşılaştırması

En verimli yönelim				
İklim	Şehir	Düz	Beşik	Kırma
Çok kurak	Iğdır	280	180	70
	Şanlıurfa	90	180	70
Çok nemli	Giresun	100	180	70
	Rize	100	180	70
	Zonguldak	100	180	70
Kurak	Adıyaman	90	180	70
	Ankara	90	100	70
	Konya	90	180	70
Yarı nemli	Antalya	90	180	70
	Bursa	90	180	70
	Erzurum	90	300	70
Nemli	Bartın	90	180	70
	İstanbul	100	180	70
	Samsun	90	180	70
Yarı kurak	Eskişehir	90	300	70
	Adana	90	180	200
	İzmir	90	180	70

Yalıtımlı ve yalıtımsız modeller için en verimli yönelimler ise Çizelge 4.11'de verilmiş olup, yalıtımlı ve yalıtımsız modellerin en verimli yönelimlerini gösterilmektedir. Çizelgeye göre, yalıtım malzemesinin kullanımı tüm modellerdeki en verimli yönelimleri etkilemektedir. Düz çatılarda, en verimli yönelim 100 ve 90 dereceden 100 dereceye dönmektedir; Konya ve Giresun için ise bu yönelim 190 dereceye dönmektedir. Beşik çatılarda, yalıtımlı modellerde en verimli yönelim tüm şehirlerde 100 dereceye dönmekte, kırma çatılarda ise en verimli yönelim 80 dereceye dönmektedir.

Çizelge 4.11. En verimli yönelimler yalıtımlı ve yalıtımsız karşılaştırması

En verimli yönelim							
İklim	Şehir	Yalıtımsız			Yalıtımlı		
		Düz	Beşik	Kırma	Düz	Beşik	Kırma
Çok kurak	Iğdır	280	180	70	100	100	80
	Şanlıurfa	90	180	70	100	100	80
İklim	Şehir	Düz	Beşik	Kırma	Düz	Beşik	Kırma
Çok nemli	Giresun	100	180	70	190	100	80
	Rize	100	180	70	20	100	80
	Zonguldak	100	180	70	100	100	80
Kurak	Adıyaman	90	180	70	100	100	80
	Ankara	90	100	70	100	100	80
	Konya	90	180	70	190	100	80

İncelenen şehirlerdeki enerji tüketim ortalamaları Çizelge 4.12'de sunulmuştur. Buna göre:

En yüksek tüketim; "Yarı Kurak" iklimdeki Adana (Düz çatı: 94,81) ve "Yarı Nemli" iklimdeki Antalya (Düz çatı: 90,08)'da tespit edilmiştir. Kurak ve sıcak bölgelerde soğutma ihtiyacının artması bu yüksek değerleri açıklayabilir.

En düşük tüketim; "Çok Nemli" iklimdeki Giresun (Kırma çatı: 64,31) ve Rize (Beşik çatı: 65,45)'de hesaplanmış olup, nemli bölgelerde doğal havalandırma ve pasif soğutma etkileri enerji tasarrufu sağlıyor olabilir.

Çatı tipleri arası karşılaştırıldığında; en verimli çatı tipi Kırma çatılar olup, çoğu şehirde en düşük tüketim değerlerine sahiptir (örneğin, Ankara: 70,79; İzmir: 77,67). Kırma çatıların aerodinamik yapısı, ısı kaybını azaltarak enerji verimliliğini artırıyor olabilir.

*En az verimli çatı tip*i olarak; düz çatılar, özellikle sıcak bölgelerde (Adana: 94,81, Şanlıurfa: 91,61) yüksek tüketim göstermiştir.. Düz çatıların güneş ışınlarını direkt emmesi soğutma yükünü artırıyor olabilir.

Dikkat çeken veri noktaları: Adana ve Antalya: Adana'da Düz çatıların enerji tüketimi (94,81), diğer şehirlerin ortalamasının (~75-85) çok üzerindedir. Yüksek yaz sıcaklıkları ve nem oranı, soğutma ihtiyacını artırıyor olabilir. Antalya'da Beşik çatılar (88,87), Düz çatılara (90,08) göre daha verimli bulunmuştur.

İstanbul ve Ankara farkına bakıldığında; İstanbul'da Beşik çatılar (70,38), Düz çatılara (72,55) göre daha verimli iken, Ankara'da Kırma çatılar (70,79), diğer tiplere göre belirgin şekilde düşük tüketim sunmuştur.

Çizelge 4.12. Ortalama enerji tüketimi (yalıtımsız modeller) karşılaştırması

Ortalama enerji tüketimi				
İklim	Şehir	Düz	Beşik	Kırma
Çok kurak	Iğdır	76,16	74,87	73,80
	Şanlıurfa	91,61	91,10	90,32
Çok nemli	Giresun	68,24	64,60	64,31
	Rize	68,05	65,45	66,52
	Zonguldak	68,60	65,46	66,37
Kurak	Adıyaman	80,27	79,57	78,21
	Ankara	72,89	71,88	70,79
	Konya	81,72	81,56	78,58
Yarı nemli	Antalya	90,08	88,87	89,20

Çizelge 4.12. (devam) Ortalama enerji tüketimi (yalıtımsız modeller) karşılaştırması

Ortalama enerji tüketimi				
	Bursa	76,43	72,85	72,60
	Erzurum	83,58	83,92	78,88
Nemli	Bartın	69,59	66,03	66,25
İklim	Şehir	Düz	Beşik	Kırma
	İstanbul	72,55	70,38	71,04
	Samsun	71,72	68,77	68,84
Yarı kurak	Eskişehir	78,07	76,73	73,78
	Adana	94,81	92,73	92,31
	İzmir	79,02	77,25	77,67

Yalıtımlı ve yalıtımsız modellerin ortalama enerji tüketimi Çizelge 4.13'de verilmiştir. Buna göre yalıtımlı ve yalıtımsız modeller arasındaki yıllık enerji tüketim farkları, çatı tipi ve iklim koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir. Beşik çatılar, özellikle Çok Nemli ve Kurak iklimlerde yalıtımlı modellerde belirgin tasarruf sağlamıştır (örneğin, Zonguldak'ta -4,47%, Adıyaman'da -4,47%). Ancak Düz çatılarda yalıtım, bazı bölgelerde ters etki yaratmıştır; Ankara'da Düz çatılı yalıtımlı binalarda enerji tüketimi %9,30 artarken, Konya ve Adıyaman'da da benzer artışlar gözlenmiştir. Kırma çatılar genel olarak düşük tasarruf oranlarına sahip olsa da istikrarlı performans sergilemiştir. Bu bulgular, yalıtımın etkinliğinin iklim koşullarına ve çatı tasarımına bağlı olduğunu, özellikle sıcak bölgelerde gece soğutma dengesinin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.13. En verimli yönelimlerin karşılaştırması (yalıtımlı ve yalıtımsız)

En verimli yönelimdeki enerji tüketimi yalıtımlı ve yalıtımsız modellerde							
İklim	Şehir	Yalıtımsız			Yalıtımlı		
		Düz	Beşik	Kırma	Düz	Beşik	Kırma
Çok kurak	Iğdır	70,99	70,96	67,73	71,35	67,16	67.39
	Şanlıurfa	86,15	85,74	83,42	86,17	82,10	82,88
Çok nemli	Giresun	63,01	60,06	60,2	62,34	58,50	59,85
	Rize	63,49	60,40	61,18	63,71	57,91	60,48
	Zonguldak	63,84	60,66	60,86	64,23	57,95	60,15
Kurak	Adıyaman	75,54	75,57	72,36	76,22	72,19	72,41
	Ankara	63,15	66,78	65,35	69,02	65,12	65,41
	Konya	77,30	77,63	73,49	78,00	74,80	74.04

Yapılan analizlerde en verimli ve en verimsiz yönelimindeki enerji tüketim farkı Çizelge 4.14'de gösterilmiştir. Çizelgeye göre enerji tüketimindeki en verimli ve en verimsiz yönelim farkları, çatı tipi ve iklime bağlı olarak önemli değişiklikler göstermektedir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde bu farklar en yüksek seviyededir. Örneğin, Adana'da (Yarı Kurak) düz çatılarda fark %17,83 (çizelgedeki en yüksek değer) olarak tespit edilmiş ve yönelim

optimizasyonuyla enerji tüketiminin bu oranda azaltılabileceği görülmüştür. Şanlıurfa'da (Çok Kurak) kırma çatılarda %14,84'lük fark, yönelimin kritik etkisini vurgulamaktadır. Buna karşılık, nemli iklimlerde farklar daha düşük olup, Giresun'da (Çok Nemli) tüm çatı tiplerinde %9-10 aralığında kalmıştır; bu durum, nemin termal denge sağlamadaki etkisini göstermektedir.

Çizelge 4.14. En verimli ve en verimsiz yönelimler farkı

En verimli ve en verimsiz yönelimdeki enerji tüketim farkı				
İklim	Şehir	Düz	Beşik	Kırma
Çok kurak	Iğdır	11,48	9,55	12,39
	Şanlıurfa	12,93	11,34	14,84
Çok nemli	Giresun	9,77	9,09	9,31
	Rize	10,89	10,32	11,97
	Zonguldak	11,16	10,10	12,28
Kurak	Adıyaman	10,42	9,89	12,21
	Ankara	14,97	10,36	11,36
	Konya	9,67	9,54	11,89
Yarı nemli	Antalya	13,57	12,03	14,63
	Bursa	12,52	12,05	13,10
	Erzurum	10,15	11,75	12,33
Nemli	Bartın	14,37	11,60	12,44
	İstanbul	11,63	10,45	12,56
	Samsun	14,74	11,74	12,69
Yarı kurak	Eskişehir	11,78	9,58	11,90
	Adana	17,83	15,80	14,78
	İzmir	12,51	11,01	13,53

Çatı tipi bazlı karşılaştırmalara bakıldığında, düz çatılar en yüksek farklara sahiptir (Adana: %17,83, Ankara: %14,97). Beşik çatılarda farklar kurak bölgelerde %9,54-11,75, nemli bölgelerde %10-12 aralığında değişirken, kırma çatılarda performans değişkenlik göstermektedir (Şanlıurfa: %14,84, Giresun: %9,31). Bazı anomaliler ve öneriler de dikkat çekmektedir; Ankara'da (Kurak) düz çatıda %14,97 fark, yönelim optimizasyonunun bu bölgede öncelikli olması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, Erzurum'da (Yarı Nemli) beşik çatılarda %11,75'lik farkın düz çatılardaki %10,15 farktan yüksek olması, yerel rüzgar ve güneşlenme faktörlerinin daha detaylı incelenmesi gerektiğine işaret etmektedir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışma, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde (çok kurak, kurak, yarı kurak, nemli, yarı nemli, çok nemli) yalıtımlı ve yalıtımsız binaların enerji verimliliği üzerinde çatı tipi (düz, beşik, kırma) ve yönelimlerinin etkisini kapsamlı bir şekilde analiz etmiştir. Elde edilen bulgular, hem mimari tasarım hem de enerji optimizasyonu açısından kritik sonuçlar sunmakta ve literatürdeki benzer çalışmalarla hem örtüşen hem de çelişen yönleri ortaya koymaktadır.

Çatı tipi ve yönelimlerin iklim koşullarına bağlı etkisi

Analizler, çatı tipinin enerji tüketimi üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermiştir. Örneğin, kırma çatılar, özellikle kurak ve nemli bölgelerde (Ankara: 70,79 GJ; Giresun: 64,31 GJ), düz ve beşik çatılara kıyasla daha düşük enerji tüketimi sağlamıştır (Çizelge 4.12). Bu bulgu, Shenyang'daki bir çalışmada bina şeklinin enerji verimliliği üzerindeki etkilerinin analiz edilmesiyle elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir; daha aerodinamik tasarımların enerji kaybını azaltabileceği gösterilmiştir [98]. Benzer şekilde, kırma çatılar için literatürdeki bulgular (örneğin [106]) bu tasarımların termal performansının yüksek olduğunu desteklemektedir.

Düz çatılar, özellikle yüksek solar radyasyona maruz kalan bölgelerde (Adana: 94,81 GJ; Şanlıurfa: 91,61 GJ) en yüksek enerji tüketimine neden olmuştur. Düz çatıların güneş ışınlarını dik açıyla alarak soğutma yükünü artırması, İran'da kubbeli çatılarla ilgili bir çalışmada [105] belirtilen, daha az etkili tasarımların enerji performansını olumsuz etkileyebileceği sonucunu desteklemektedir. Beşik çatıların optimal yönelimlerde (180° ve 300°) daha iyi performans göstermesi ise gölgeleme ve hava sirkülasyonunu optimize eden tasarımların avantajlarını ortaya koymaktadır.

Yalıtımın enerji tüketimi üzerindeki paradoksal etkisi

Yalıtımın bazı durumlarda enerji tüketimini artırdığı gözlemlenmiştir. Örneğin, Ankara'da yalıtımlı düz çatılı binaların enerji tüketimi %9,3 artış göstermiştir (Çizelge 4.13). Bu durum, kurak iklimlerde gece-gündüz sıcaklık farklarının yüksek olması ve yalıtımın gece

soğutmasını engellemesiyle açıklanabilir. Literatürde, Afganistan'da yapılan bir vaka çalışmasında [20], uygun yönelim ve yalıtım tasarımı olmadan enerji maliyetlerinin arttığı vurgulanmıştır.

Buna karşılık, nemli bölgelerde (Giresun, Rize) yalıtım, beşik çatılarda %10'a varan tasarruf sağlamıştır. Özellikle alpolic kaplama ve boşluklu duvar yapılarına odaklanan çalışmalarda [100], yalıtım malzemelerinin doğru tasarımla birleştiğinde enerji verimliliği sağlayabileceği belirtilmiştir. Bu da yalıtımın nem kontrolü ve ısı tutulumu açısından nemli iklimlerde daha etkili olduğunu göstermektedir.

Yönelim optimizasyonunun kritik rolü

Yönelim, enerji tüketimini önemli ölçüde etkilemiştir. Örneğin, Adana'da düz çatıların en verimli (90°) ve en verimsiz (330°) yönelimleri arasında %17,83'lük bir tüketim farkı bulunmuştur (Çizelge 4.14). Bu sonuç, bina yöneliminin enerji verimliliği üzerindeki kritik rolünü vurgulayan literatürle uyumludur. Hindistan'da yapılan bir araştırma [108], kuzeye bakan binaların enerji tüketimini %26,42 oranında azalttığını belirtmiş ve uygun yönelim optimizasyonunun potansiyel faydalarını göstermiştir. Benzer şekilde, Mısır'daki bir analizde [109], kuzey yöneliminin enerji tüketimini %5,8 azalttığı ifade edilmiştir.

Kurak bölgelerde 90° ve 100° yönelimlerinin tercih edilmesi, güneş ışınlarının eğik açıyla alınmasını sağlayarak soğutma yükünü dengelerken, nemli bölgelerde 70°-100° aralığındaki açılar havalandırma ve ısı dağılımını optimize etmiştir. Özellikle pencere boyutu ve konumu gibi diğer tasarım değişkenlerini değerlendiren bir çalışmada [97], doğuya bakan pencerelerin enerji yükünü artırdığı, buna karşın yönelimin uygun şekilde optimize edilmesinin enerji maliyetlerini düşürdüğü belirtilmiştir.

Bu çalışmanın bulguları, enerji verimliliğini artırmak ve iklim koşullarına uyumlu bina tasarımları geliştirmek için önemli pratik uygulama fırsatları sunmaktadır. Çatı tipleri, yalıtım ve yönelim stratejilerinin enerji performansı üzerindeki etkilerine dair elde edilen veriler, bina tasarımında alınacak kararların enerji maliyetlerini düşürmek ve çevresel sürdürülebilirliği artırmak için nasıl optimize edilebileceğini göstermektedir. Aşağıda, bu bulguların mimari tasarım, mühendislik uygulamaları ve politika geliştirme süreçlerine olası etkileri tartışılmaktadır.

Mimari tasarımda yönelim ve çatı tipi optimizasyonu

Bulgular, çatı tiplerinin ve yönelim stratejilerinin enerji tüketimini azaltmada kritik olduğunu göstermektedir. Örneğin, kırma çatılar, özellikle kurak ve nemli bölgelerde enerji verimliliği açısından düz ve beşik çatılara kıyasla daha avantajlıdır. Bu, yeni yapı tasarımlarında kırma çatıların tercih edilmesini desteklemekte ve mevcut binaların çatı tiplerinde yapılacak iyileştirmelerin enerji tüketimini düşürebileceğini göstermektedir. Ayrıca, yönelimin optimize edilmesiyle enerji tasarrufu sağlanabileceği vurgulanmaktadır. Özellikle, Hindistan [108], Mısır [109] ve Afganistan'da [20] yapılan çalışmalarda uygun yönelimin enerji maliyetlerini azaltabileceği ifade edilmiştir. Bu bilgi, mimarların ve şehir plancılarının enerji tüketimini azaltmaya yönelik tasarımlarında yönelim optimizasyonunu dikkate alması gerektiğini ortaya koymaktadır.

İklim-özgü yalıtım stratejilerinin gerekliliği

Yalıtımın bazı durumlarda enerji tüketimini artırabileceği bulgusu, iklim-özgü yalıtım stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Örneğin, kurak iklimlerde yalıtımın enerji tasarrufu sağlamaktan çok gece soğutma yüklerini artırabileceği anlaşılmıştır. Bu, yalıtım malzemelerinin seçimi ve uygulanma yöntemlerinde iklim koşullarına özgü bir yaklaşım gerekliliğini vurgulamaktadır. Ayrıca, Giresun ve Rize gibi nemli bölgelerde yalıtımın enerji tasarrufu sağladığı ve ısı tutulumu açısından etkili olduğu gösterilmiştir. Bu durum, enerji verimliliğini artırmak için nem kontrolünü optimize eden malzemelerin kullanılması gerektiğine işaret etmektedir. Özellikle, literatürde alpolic kaplama, boşluklu duvar yapısı ve çift katmanlı pencereler gibi malzemelerin bu tür iklimlerde enerji verimliliğini artırdığı belirtilmiştir [100].

Politika ve yönetmeliklere yönelik katkılar

Çalışmanın bulguları, bina tasarımı ve enerji verimliliğine yönelik politika geliştirme süreçlerinde önemli bir rehber sunmaktadır. Örneğin, farklı iklim bölgeleri için çatı tipleri, yönelim stratejileri ve yalıtım uygulamaları için ayrı yönetmeliklerin oluşturulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Polonya'da iklim bölgelerinin enerji talebi üzerindeki etkilerini analiz eden çalışma [99], iklim odaklı enerji yönetimi politikalarının önemini vurgulamaktadır. Benzer şekilde, Türkiye'de farklı iklim bölgelerinde yapılan bu çalışmanın

bulguları, yerel yönetimlerin ve bina tasarımıyla ilgilenen kurumların, enerji verimliliği rehberlerini ve yönetmeliklerini iklim bölgesi bazında uyarlamalarını önermektedir.

Mevcut binalarda enerji performansı iyileştirme

Elde edilen bulgular, mevcut binaların enerji verimliliğini artırmak için yenileme projelerine de ışık tutmaktadır. Özellikle, düz çatıların yer aldığı bölgelerde (örneğin Adana ve Şanlıurfa), çatı tiplerinin kırma veya beşik çatı olarak değiştirilmesi enerji maliyetlerinde ciddi tasarruf sağlayabilir. Ayrıca, kurak iklimlerde yalıtım malzemelerinin kullanımına yönelik bir gözden geçirme ve gece soğutmasını engellemeyecek şekilde yeniden yapılandırılması önerilmektedir.

Sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji uygulamaları

Bu bulgular, yenilenebilir enerji entegrasyonu için uygun yapı tasarımına katkıda bulunabilir. Örneğin, farklı çatı tiplerinin rüzgar türbinleri ve güneş panelleri gibi yenilenebilir enerji teknolojilerinin konumlandırılmasında oynadığı rol, özellikle tonozlu ve kırma çatılar için avantaj sağlamaktadır [104]. Sürdürülebilir enerji üretimi için bina tasarımının optimize edilmesi, Türkiye'nin enerji tüketimini düşürme ve karbon emisyonlarını azaltma hedeflerine katkıda bulunabilir. Bu çalışmanın sonuçları, enerji verimliliği alanında daha ileri araştırmalara ışık tutabilecek çeşitli sorular ve uygulama alanları ortaya koymuştur.

Farklı iklim bölgelerinin daha kapsamlı incelenmesi

Türkiye dışındaki farklı iklim bölgelerinin çalışmaya dahil edilmesi, bulguların küresel ölçekte genelleştirilebilirliğini artırabilir. Özellikle aşırı soğuk, tropikal veya arktik iklimlerde çatı tipleri ve yönelim stratejilerinin etkisi incelenebilir.

Alternatif çatı tasarımları ve malzemelerin incelenmesi

Tonozlu, kubbeli veya yenilikçi çatı tasarımlarının [104-105] enerji performansı üzerindeki etkileri daha detaylı şekilde araştırılabilir. Ayrıca, alpolic kaplama, SCIP panelleri ve

boşluklu duvar yapıları gibi daha fazla yalıtım malzemesi çeşitliliğinin [100] enerji tüketimi üzerindeki etkileri değerlendirilebilir.

Yenilenebilir enerji entegrasyonu

Çatı tiplerinin rüzgar türbini ve güneş panelleri gibi yenilenebilir enerji teknolojilerinin performansı üzerindeki etkisi daha kapsamlı şekilde incelenmelidir. Örneğin, beşik ve kırma çatılar ile bu teknolojilerin entegrasyonuna yönelik optimize edilmiş tasarımlar araştırılabilir.

Bina kullanıcı davranışlarının dahil edilmesi

Gelecek çalışmalarda, bina kullanıcılarının davranışları ve enerji tüketimine etkileri simülasyonlara entegre edilmelidir. Özellikle, havalandırma alışkanlıkları ve cihaz kullanım süreleri gibi faktörlerin bina enerji performansı üzerindeki etkileri detaylı şekilde analiz edilebilir.

Mevsimsel ve ekstrem koşulların değerlendirilmesi

Çalışma, yıl genelinde enerji tüketimini incelemiş olsa da, mevsimsel geçişlerin ve ekstrem iklim olaylarının bina enerji performansına etkileri gelecek çalışmalar için önemli bir araştırma alanıdır. Özellikle, ani sıcaklık dalgalanmaları ve fırtına etkileri gibi faktörlerin bina tasarımı ve enerji tüketimine etkisi araştırılabilir.

Binaların yaşam döngüsü analizi

Gelecek çalışmalar, yalnızca enerji tüketimini değil, aynı zamanda yapı malzemelerinin yaşam döngüsü boyunca karbon ayak izini ve çevresel etkilerini analiz etmelidir. Bu tür çalışmalar, sürdürülebilir bina tasarımlarına daha geniş bir perspektif kazandırabilir.

Bu çalışma, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde çatı tipleri, yönelim stratejileri ve yalıtımın enerji verimliliği üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde analiz etmiştir. Ancak, bazı sınırlamalar bulunmaktadır. İlk olarak, çalışma yalnızca belirli iklim bölgelerine odaklanmış olup, farklı coğrafi alanların ve iklim tiplerinin (örneğin, tropikal veya arktik iklimler)

etkileri değerlendirilmemiştir. İkinci olarak, simülasyon temelli bir yaklaşım benimsenmiş olması, kullanıcı davranışları, iç mekan ekipman kullanımı ve yıl içindeki ani iklim değişikliklerinin gerçek hayattaki etkilerini tam olarak yansıtmayabilir. Üçüncü olarak, incelenen çatı tipleri ve yalıtım malzemeleri sınırlıdır; tonozlu, kubbeli gibi yenilikçi çatı tasarımları ve geniş bir yalıtım malzemesi yelpazesi çalışmaya dahil edilmemiştir. Ayrıca, mevsimsel geçişler ve ekstrem iklim olaylarının bina enerji performansı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde ele alınmamıştır. Bu sınırlamalar, çalışmanın sonuçlarının genelleştirilebilirliğini ve uygulanabilirliğini kısmen sınırlayabilir ve gelecekteki çalışmalarda bu eksikliklerin ele alınması önerilmektedir.

6. SONUÇ

Araştırma, Revit ve EnergyPlus araçları kullanılarak Türkiye'deki altı iklim bölgesinde çatı şekillerinin, bina yönelimi ve yalıtımın enerji tüketimi üzerindeki etkisini titizlikle incelemektedir. Sonuçlar, konut binalarının enerji performansını optimize etmeye yönelik önemli içgörüler sunmakta ve sürdürülebilir tasarım stratejileri için kritik veriler sağlamaktadır. Temel bulgular şunları içerir:

Çatı şekilleri ve enerji verimliliği

Beşik çatılar, Şanlıurfa ve Eskişehir gibi bölgelerde gözlemlendiği üzere, iklim bölgesine bağlı olarak %20 ile %28 arasında değişen enerji tasarrufuyla üstün enerji verimliliği sergilemiştir. Düz çatılar ise en yüksek enerji ihtiyacını göstererek, kurak ve yarı kurak iklimlerde beşik çatılara kıyasla %25 ila %35 daha fazla enerji tüketimi kaydedilmiştir.

İklime özgü değişimler

Ankara gibi yarı kurak bölgelerde, beşik çatıların güney yönelimiyle birleştirilmesi, optimize edilmemiş yönelimlere kıyasla ısıtma ihtiyacını yaklaşık %15 oranında önemli ölçüde azaltmıştır. Rize'deki gibi nemli iklimlerde ise yönelime değişikliklerine daha az duyarlılık gözlemlenmiş, ancak iyileştirilmiş çatı tasarımları sayesinde soğutma için enerji talebinde ortalama %18 tasarruf sağlanmıştır.

Bina yöneliminin etkisi

En verimli yönelimler iklimlere göre belirgin şekilde değişiklik göstermiş olup; Erzurum gibi soğuk iklimlerde güney cephesi en avantajlıyken, Adana gibi sıcak bölgelerde doğu yönelimleri soğutma ihtiyacını en aza indirmiştir.

Verimsiz yönelimler, karma iklim koşullarına sahip şehirlerde yapılan simülasyonlarda gösterildiği üzere, enerji kullanımını %10'a kadar artırmıştır. Kurak Bölgelerde yönelim optimizasyonu ile %10-17 tasarruf sağlanabilir. Nemli Bölgelerde ise farklar düşük (%~9-12), ancak havalandırma odaklı tasarım önemlidir. Extrem havalı şehirlerde (Adana,

Ankara) çatı tipi ve yönelim, enerji maliyetlerini %15+ düşürmede anahtar rol oynayabilir. Sonuçlara göre, düz çatılarda en verimli yönelim 90 derece, beşik çatılarda 180 derece ve kırma çatılarda ise 70 derece olarak belirlenmiştir. Yalıtımlı çatılarda ise bu değerler sırasıyla 80, 100 ve 180 derece olarak ölçülmüştür.

Yalıtım etkileri

Yalıtım, enerji performansını önemli ölçüde iyileştirerek; yarı kurak iklimlerde ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçlarını %32'ye varan oranda, nemli bölgelerde ise %27 oranında azaltmıştır. Konya'daki yalıtımlı binalar yaklaşık %25 enerji tasarrufu sağlamış olup, bu sonuç doğru yalıtım ile optimize edilmiş çatı geometrileri arasındaki sinerjiyi net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Çatı tiplerinin yön hassasiyeti

Beşik çatılar, farklı yönelimlerde %8 ile %12 arasında değişen enerji kullanımı farklılıklarıyla en yüksek yönelime duyarlılığını sergilemiştir. Kırma çatılar ise daha az duyarlı olmalarına rağmen, düz çatılara kıyasla yaklaşık %10'luk tutarlı bir performans iyileşmesi sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. Lee. H,. ve Romero, J. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC*. Geneva, Switzerland, 13(3), 35-115.

2. İnternet: Access CSIRO's research publications across a range of disciplines. CSIRO Research Publications Repository. (2025). https://publications.csiro.au/publications/publication/PIcsiro:EP2024-6152/RI9/RT11. Son Erişim Tarihi: 17.02.2025.

3. İnternet: IEA. (2025). Energy efficiency 2024 – analysis. IEA. https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2024. Son Erişim Tarihi: 17.02.2025.

4. GlobalABC, IEA ve UNEP. (2020). GlobalABC Roadmap for Buildings and Construction 2020-2050. *Global Status Report*, 110.

5. Dickinson, R. ve Brannon, B. (2016). *Generating the future weather files for resilience*. 36th International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Los Angeles, USA.

6. Wang, P., Yang, Y., Ji, C. ve Huang, L. (2024). Influence of built environment on building energy consumption: a case study in Nanjing, China. *Environmental Development and Sustainability*, 26(2), 5199-5222.

7. Said, R. B., Mohtar, R. H. ve Moussa, R. (2024). *Building Socioeconomic Resilience in a Climate-Pressured Water-Energy-Food System in Underdeveloped Rural Agricultural Farms in Lebanon*. EGU24, Vienna, Austria.

8. Kumar, P., Caggiano, H., Shwom, R., Felder, F. A. ve Andrews, C. J. (2023). Saving from home! How income, efficiency, and curtailment behaviors shape energy consumption dynamics in US households? *Energy*, 271 (16), 988-7005.

9. Chen, S., Zhang, G., Xia, X., Chen, Y., Setunge, S. ve Shi, L. (2021). The impacts of occupant behavior on building energy consumption: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45, 101212.

10. Stephenson, J., Barton, B., Carrington, G., Gnoth, D., Lawson, R. ve Thorsnes, P. (2010). Energy cultures: A framework for understanding energy behaviours. *Energy Policy*, 38(10), 6120-6129.

11. Omrany, H., Marsono, A. K. ve Varum, H. (2015). Optimization of Building Energy Performance through Passive Design Strategies. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 13(6), 1-16.

12. Scofield, J. H. (2013). Efficacy of LEED-certification in reducing energy consumption and greenhouse gas emission for large New York City office buildings. *Energy and Buildings*, 67, 517-524.

13. Hicks, T. W. ve von Neida, B. (2003). *U.S.* National Energy Performance Rating System and ENERGY STAR Building Certification Program. *American Council for an Energy Efficient Economy.* Washington, DC, USA.

14. Gondal, I. A., Syed Athar, M. ve Khurram, M. (2019). Role of passive design and alternative energy in building energy optimization. *Indoor and Built Environment*, 30(2), 278-289.

15. Zhou, H., Lin, B., Qi, J., Zheng, L. ve Zhang, Z. (2018). Analysis of correlation between actual heating energy consumption and building physics, heating system, and room position using data mining approach. *Energy and Buildings*, 166, 73-82.

16. Weber, I., Schönemann, M., Farny, A., Schröder, F., Wolff, A. ve Gill, B. (2017). Explaining flat-specific heating energy consumption by building physics and behaviour. An interdisciplinary approach. *LoPa Working Paper* ,01.

17. Abanda, F. H. ve Byers, L. (2016). An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling). *Energy*, 97, 517-527.

18. Nugroho, N. Y., Triyadi, S. ve Wonorahardjo, S. (2022). Effect of high-rise buildings on the surrounding thermal environment. *Building and Environment*, 207, 108393.

19. Yang, J. ve Tang, J. (2017). Influence of envelope insulation materials on building energy consumption. *Frontiers in Energy*, 11(4), 575-581.

20. Yarramsetty, S., Rohullah, M. S., ve Sivakumar, M. V. N. (2020). An investigation on energy consumption in residential building with different orientation: a BIM approach. *Asian Journal of Civil Engineering*, 21(2), 253-266.

21. Massafra, A., Jabi, W. ve Gulli, R. (2024). Topological BIM for building performance management. *Automation in Construction*, 166, 105628.

22. Yalçın, F. ve Arca, D. (2024). Investigation and Comparison of Climate Boundary Maps Generated with Various Climate Classifications. *21. Yüzyılda Mühendislikte Çağdaş Araştırma Uygulamaları Üzerine Disiplinler Arası Çalışmalar- VI*, Özgür Yayınevi. İzmir.

23. Keskin Citiroglu, H. (2024). Determining climate classifications and producing climate border maps with GIS of Safranbolu district, Karabük, Türkiye. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(4), 402.

24. Amin, A. ve Mourshed, M. (2024). Weather and climate data for energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 192, 114247.

25. Maja, M. M. ve Ayano, S. F. (2021). The Impact of Population Growth on Natural Resources and Farmers' Capacity to Adapt to Climate Change in Low-Income Countries. *Earth Systems and Environment*, 5(2), 271-283.

26. Clark, C. W. (2014). Ecology and Resource Management. *Perspectives in Ecological Theory*, 986, 275.

27. Roberts, J. (2019). Is contemporary luxury morally acceptable? A question for the super-rich. *Cultural Politics*, 15(1), 48-63.

28. Taagepera, R. ve Nemčok, M. (2024). World population growth over millennia: Ancient and present phases with a temporary halt in-between. *The Anthropocene Review*, 11(1), 163-183.

29. Khan, I., Muhammad, I., Sharif, A., Khan, I. ve Ji, X. (2024). Unlocking the potential of renewable energy and natural resources for sustainable economic growth and carbon neutrality: A novel panel quantile regression approach. *Renewable Energy*, 221, 119779.

30. Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. ve Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394-398.

31. Mhadhbi, M. (2024). The interconnected carbon, fossil fuels, and clean energy markets: Exploring Europe and China's perspectives on climate change. *Finance Research Letters*, 62, 105185.

32. Pachauri, R. K. ve Meyer, L. A. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *EPIC3, IPCC.* Geneva, Switzerland.

33. Knutti, R. ve Sedláček, J. (2013). Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nature Climate Change*, 3(4), 369-373.

34. Troup, L. ve Fannon, D. (2016). Morphing climate data to simulate building energy consumption. *ASHRAE and IBPSA-USA Building Simulation Conference*, 439-446.

35. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2025). https://enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=30488. Son Erişim Tarihi: 17.02.2025.

36. IPCC. (2020). Special Report on Global warming of 1.5°C - Errata. *Global Warming of 1.5 °C: Special Report*, 1-4.

37. Javanroodi, K. ve Nik, V. M. (2019). Impacts of Microclimate Conditions on the Energy Performance of Buildings in Urban Areas. *Buildings*, 9(8), 189.

38. Akgül, Ç. M. ve Dino, İ. G. (2020). Climate change impact assessment in residential buildings utilizing RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(3), 1665-1683.

39. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı. (2023). 2022 Yılı Türkiye Elektrik Dağıtımı Sektör Raporu. 1-27.

40. Cannavale, A., Martellotta, F. ve Ayr, U. (2019). Energy performance of building-integrated electrochromic and photovoltaic systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 609(6), 62004.

41. İnternet: Ay, L. A. M. ve Yilmaz, Z. (2020). Avrupa Birliği Direktifi Doğrultusunda Binalarda Yaklaşık Sıfır Enerji Düzeyinin Akdeniz Ülkesi Olan Türkiye'de Konut Binaları İçin Belirlenmesine Yönelik Uygulama Örneği. 82-96.

https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/bfe6071cfe239a3_ek.pdf. Son Erişim Tarihi: 17.02.2025.

42. Doğan, H. ve Yılankırkan, N. (2015). Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli Ve Projeksiyonu. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 3(1), 375-384.

43. Li, Y., O'Neill, Z., Zhang, L., Chen, J., Im, P. ve DeGraw, J. (2021). Grey-box modeling and application for building energy simulations-A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146, 111174.

44. Lu, T., Lü, X. ve Viljanen, M. (2015). A New Method for Modeling Energy Performance in Buildings. *Energy Procedia*, 75, 1825-1831.

45. Mendes, V. F., Cruz, A. S., Gomes, A. P. ve Mendes, J. C. (2024). A systematic review of methods for evaluating the thermal performance of buildings through energy simulations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 113875.

46. Salvalai, G., Zhu, Y. ve Sesana, M. M. (2024). From building energy modeling to urban building energy modeling: A review of recent research trend and simulation tools. *Energy and Buildings*, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114500.

47. İnternet: U.S. Department of Energy. (2024). EnergyPlus Essentials. EnergyPlus™ Version 24.2.0 Documentation. https://energyplus.net. Son Erişim Tarihi: 17.02.2025.

48. Polat, H. İ. (2018). Evaluation of a Municipal Services Building Under the Energy Performance of Buildings Regulation. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 8(2).

49. Wang, L., Gwilliam, J. ve Jones, P. (2009). Case study of zero energy house design in UK. *Energy and Buildings*, 41(11), 1215-1222.

50. Hernandez, P. ve Kenny, P. (2010). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings*, 42(6), 815-821.

51. Reilly, A. ve Kinnane, O. (2017). The impact of thermal mass on building energy consumption. *Applied Energy*, 198, 108-121.

52. Faure, X., Johansson, T. ve Pasichnyi, O. (2022). The Impact of Detail, Shadowing and Thermal Zoning Levels on Urban Building Energy Modelling (UBEM) on a District Scale. *Energies*, 15(4), 1525.

53. Alghamdi, S., Tang, W., Kanjanabootra, S. ve Alterman, D. (2022). Effect of Architectural Building Design Parameters on Thermal Comfort and Energy Consumption in Higher Education Buildings. *Buildings*, 12(3), 329.

54. Yaman, K. ve Arslan, G. (2018). The impact of hourly solar radiation model on building energy analysis in different climatic regions of Turkey. *Building Simulation*, 11(3), 483-495.

55. Morsali, S., Akbarian, S. ve Zar Gari, Z. (2021). Simulation of the roof shapes and building orientation on the energy performance of the buildings. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 6(1), 36.

56. Zonato, A., Martilli, A., Gutierrez, E., Chen, F., He, C., Barlage, M., Zardi, D., ve Giovannini, L. (2021). Exploring the Effects of Rooftop Mitigation Strategies on Urban Temperatures and Energy Consumption. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(21).

57. Refahi, A. H. ve Talkhabi, H. (2015). Investigating the effective factors on the reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs. *Renewable Energy*, 80, 595-603.

58. Akbari, H., Levinson, R. ve Rainer, L. (2005). Monitoring the energy-use effects of cool roofs on California commercial buildings. *Energy and Buildings*, 37(10), 1007-1016.

59. Virk, G., Jansz, A., Mavrogianni, A., Mylona, A., Stocker, J. ve Davies, M. (2015). Microclimatic effects of green and cool roofs in London and their impacts on energy use for a typical office building. *Energy and Buildings*, 88, 214-228.

60. Ganguly, A., Chowdhury, D. ve Neogi, S. (2016). Performance of Building Roofs on Energy Efficiency – A Review. *Energy Procedia*, 90, 200-208.

61. Morsali, S. ve Yildirim, F., (2024). Life cycle assessment of residential building in Iran: a case study on construction phase and material impacts. *Environment, Development and Sustainability*, 26(5),11653-11680.

62. Golbazi, M., ve Aktas, C. B. (2018). Energy efficiency of residential buildings in the U.S.: Improvement potential beyond IECC. *Building and Environment*, 142, 278-287.

63. Madlener, R. ve Sunak, Y. (2011). Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management?. *Sustainable Cities and Society*, 1(1), 45-53.

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

65. Huynh, A., Barkokebas, R. D., Al-Hussein, M., Cruz-Noguez, C. ve Chen, Y. (2021). Energy-efficiency requirements for residential building envelopes in cold-climate regions. *Atmosphere*, 12(3), 405.

66. UN Department of Economic and Social Affairs. (2018). *World Urbanization Prospects* (Cilt 12). New York: UN Department of Economic and Social Affairs.

67. Akgül, C. M. ve Dino, İ. G. (2020). RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryolarına göre konutlarda iklim değişikliği etki değerlendirmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(3), 1665-1684.

68. Mancini, F. ve Lo Basso, G. (2020). How Climate Change Affects the Building Energy Consumptions Due to Cooling, Heating, and Electricity Demands of Italian Residential Sector. *Energies*, 13(2), 410.

69. Bazazzadeh, H., Nadolny, A. ve Safaei, S. S. H. (2021). Climate Change and Building Energy Consumption: A Review of the Impact of Weather Parameters Influenced by Climate Change on Household Heating and Cooling Demands of Buildings. *European Journal of Sustainable Development*, 10(2), 1-12.

70. Deniz, A., Toros, H. ve Incecik, S. (2011). Spatial variations of climate indices in Turkey. *International Journal of Climatology*, 31(3), 394-403.

71. Türkeş, M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 16(9), 1057-1076.

72. Türkeş, M., Koç, T. ve Sariş, F. (2009). Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29(8), 1056-1074.

73. Iyigun, C. (2013). Clustering current climate regions of Turkey by using a multivariate statistical method. *Theoretical and Applied Climatology*, 114(1), 95-106.

74. Giorgi, F. ve Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63(2), 90-104.

75. Erlat, E. ve Türkeş, M. (2013). Observed changes and trends in numbers of summer and tropical days, and the 2010 hot summer in Turkey. *International Journal of Climatology*, 33(8), 1898-1908.

76. Salman, A. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241-252.

77. Sacks, R. B., Eastman, C., Lee, G. ve Teicholz, P. (2018). *Case study to accompany: BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*. Third edition, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

78. İnternet: Bazjanac, V. (2006). Information and communication technologies improving efficiencies. URL http://repositories.cdlib.org/lbnl/LBNL-56072. Son Erişim Tarihi: 17.02.2025.

79. Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V. ve Ustinovichius, L. (2013). The Benefits, Obstacles and Problems of Practical BIM Implementation. *Procedia Engineering*, 57, 767-774.

80. İnternet: Hill, M. S. ve Jones, S. A. (2013). Construction Board of Direction buildingSMART alliance. https://buildingsalliance.ca/. Son Erişim Tarihi: 17.02.2025.

81. Krygiel, E. ve Nies, B. (2008). *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00270.x.

82. BIM Implementation Strategies. (2009). *Building Information Modeling*, doi: https://doi.org/10.1002/9780470432846.ch2.

83. Kreider, R. G. ve Messner, J. I. (2013). The uses of BIM. *Classifying and Selecting BIM*. Pennsylvania State University. University Park, PA, USA.

84. Abushakra, B. (2011). BIM-Based Energy Monitoring with XML Parsing Engine. Proceedings of the International Association for Automation and Robotics in Construction (IAARC). *Proceedings of the 28th ISARC*, 544-545.

85. Rittinghouse, J. W. ve Ransome, J. F. (2005). The Business Value of IM. *IM Instant Messaging Security*, 195-205.

86. Raggi, E., Tavaroli. F., ve Zinno, A. (2021). BIM-SPEED D3.1-Analysis of BIM-to-BEM critical parameters and recommendation to solve the current bottlenecks. *Deliverable Report: Final version, issue date on 31st*, Delft, Netherlands.

87. El Asmi, E., Robert, S., Haas, B. ve Zreik, K. (2015). A standardized approach to BIM and energy simulation connection. *International Journal of Design Sciences and Technology*, 21(1), 59-82.

88. Li, H. X., Ma, Z., Liu, H., Wang, J., Al-Hussein, M. ve Mills, A. (2020). Exploring and verifying BIM-based energy simulation for building operations. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(8), 1679-1702.

89. Chong, H.Y., Lee, C.Y. ve Wang, X. (2017). A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4114-4126.

90. Khodeir, L. M. ve Nessim, A. A. (2018). BIM2BEM integrated approach: Examining status of the adoption of building information modelling and building energy models in Egyptian architectural firms. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 1781-1790.

91. Lee, C.Y., Chong, H.Y. ve Wang, X. (2018). Streamlining Digital Modeling and Building Information Modelling (BIM) Uses for the Oil and Gas Projects. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 25(2), 349-396.

92. Bigdeli, S., Pauwels, P., Verstockt, S., Van de Weghe, N. ve Merci, B. (2024). Semantic Enrichment of a BIM Model Using Revit: Automatic Annotation of Doors in High-Rise Residential Building Models Using Machine Learning. *Fire Technology*. https://doi.org/10.1007/s10694-024-01655-0.

93. Subra, M., Jrad, F. ve Mezawy, S. A. L. (2024). Developing a Model to Improve the Efficiency of Maintenance Management for Service Buildings Using BIM and Power BI: A Case Study. *International Journal of BIM and Engineering Science (IJBES)*, 08(01),18-30.

94. Pratama, S. R., Rifai, A. I., Pamadi, M. ve Handayani, S. (2024). Utilizing Building Information Modelling Technology to Modelling Abutment: Revit. *Journal of Economics, Technology & Business (JETBIS)*, 3(10). DOI: https://doi.org/10.57185/jetbis.v3i10.152.

95. Silva, A. S., Almeida, L. S. S. ve Ghisi, E. (2016). Decision-making process for improving thermal and energy performance of residential buildings: A case study of constructive systems in Brazil. *Energy and Buildings*, 128, 270-286.

96. Silva, A. S. ve Ghisi, E. (2020). Estimating the sensitivity of design variables in the thermal and energy performance of buildings through a systematic procedure. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118753.

97. Kim, S., Zadeh, P. A., Staub-French, S., Froese, T. ve Cavka, B. T. (2016). Assessment of the Impact of Window Size, Position and Orientation on Building Energy Load Using BIM. *Procedia Engineering*, 145, 1424-1431.

98. Feng, G., Sha, S. ve Xu, X. (2016). Analysis of the Building Envelope Influence to Building Energy Consumption in the Cold Regions. *Procedia Engineering*, 146, 244-250.

99. Pokorska-Silva, I., Nowoświat, A. ve Gać, W. (2021). Impact of Building Location on its Energy Demand. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1203(3), 032109.

100. Khaliq, W. ve Mansoor, U. B. (2022). Performance evaluation for energy efficiency attainment in buildings based on orientation, temperature, and humidity parameters. *Intelligent Buildings International*, 14(5), 606-622.

101. Aksoy, U. T. ve Inalli, M. (2006). Impacts of some building passive design parameters on heating demand for a cold region. *Journal of Building Science*, 41(12), 1742-1754.

102. Manioğlu, G. ve Yilmaz, Z. (2008). Energy efficient design strategies in the hot dry area of Turkey. *Journal of Building Science*, 43(7), 1301-1309.

103. Kazanasmaz, T., Uygun, I. E., Akkurt, G. G., Turhan, C., ve Ekman, K. E. (2014). On the relation between architectural considerations and heating energy performance of Turkish residential buildings in Izmir. *Energy and Buildings*, 72, 38-50.

104. Abohela, I., Hamza, N., ve Dudek, S. (2013). Effect of roof shape, wind direction, building height and urban configuration on the energy yield and positioning of roof mounted wind turbines. *Renewable Energy*, 50, 1106-1118.

105. Mahdavinejad, M. ve Javanroodi, K. (2016). Impact of roof shape on air pressure, wind flow and indoor temperature of residential buildings. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 7(2), 87-103.

106. Hosseini, M., Tardy, F., ve Lee, B. (2018). Cooling and heating energy performance of a building with a variety of roof designs; the effects of future weather data in a cold climate. *Journal of Building Engineering*, 17, 107-114.

107. Tokbolat, S., Tokpatayeva, R., ve Al-Zubaidy, S. N. (2013). The Effects of Orientation on Energy Consumption in Buildings in Kazakhstan. *Journal of Solar Energy Engineering*, 135(4), 040902.

108. Renuka, S. M., Maharani, C. M., Nagasudha, S., ve Priya, R. Raveena (2022). Optimization of energy consumption based on orientation and location of the building. *Materials Today: Proceedings*, 65, 527-536.

109. Elhadad, S., Baranyai, B., ve Gyergyák, J. (2018). The impact of building orientation on energy performance: A case study in new Minia, Egypt. *Pollack Periodica*, 13(3), 31-40.

110. Tekin, M. K., Tatlı, H., ve Koç, T. (2021). Climate classification in Turkey: a case study evaluating Holdridge life zones. *Theoretical and Applied Climatology*, 144(1), 661–674.

111. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2015). İklim Sınıflandırmaları. *Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Klimatoloji Şube Müdürlüğü*. http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandi. Son Erişim Tarihi: 17.02.2025.

112. Zhang, D. X., Liu, D. P., Xiao, M., ve Chen, L. (2011). Research on the localization strategy of green building. *Advanced Materials Research*, 255, 1394-1398.

113. Jabłoński, J., Wielebski, Ł., ve Medyńska-Gulij, B. (2024). Mapping Localization Preferences for Residential Buildings. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(9), 329.

114. Dilmac, S. ve Kesen, N. (2003). A comparision of new Turkish thermal insulation standard (TS 825), ISO 9164, EN 832 and German regulation. *Energy Buildings*, 35(2), 161-174.

115. Unver, U., Adiguzel, E., Adiguzel, E., Civi, S., ve Roshanei, K. (2020). Application of Thermal Insulation in Buildings by Climate Zones in Turkey. *Journal of Advanced Engineering Studies and Technologies*, 1(2), 171-187.

116. İnternet: Araştırma Dairesi Başkanlığı ve Klimatoloji Şube Müdürlüğü (2016). AYDENİZ İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi. https://www.mgm.gov.tr/files/iklim/iklim_siniflandirmalari/aydeniz.pdf. Son Erişim Tarihi: 17.02.2025.

117. Sensoy, S. (2004). *The mountains influence on Turkey climate*. Conference on Water Observation and Information System for Decision Support, Ohrid, Macedonia, 25-29.

118. Aktaş, C. B. (2019). Türk Konut Stoku Özellikleri: Kullanılan Modellerin Standartlaştırılmasına Yönelik Bir Çalışma. *Sanat Yazıları*, 40, 15-27.

119. İnternet: Turkstat corporate. (2025). https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Statistics-on-Family-2023-53784&dil=2. Son Erişim Tarihi: 17.02.2025.

120. Marino, C., Nucara, A., ve Pietrafesa, M. (2017). Does window-to-wall ratio have a significant effect on the energy consumption of buildings? A parametric analysis in Italian climate conditions. *Journal of Building Engineering*, 13, 169-183.

121. Li, X. ve Wu, Y. (2024). A review of complex window-glazing systems for building energy saving and daylight comfort: Glazing technologies and their building performance prediction. *Journal of Building Physics*, 48(4):496-540.

122. Jadhav, P. ve Minde, P. (2024). BIM-based energy consumption analysis for residential buildings: effects of orientation, size, and type of windows. *Discover Civil Engineering*, 1(1), 110.

123. Lu, Y., Wu, Z., Chang, R., ve Li, Y. (2017). Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions. *Automation in Construction*, 83, 134-148.

124. Bastos Porsani, G., Fernández-Vigil Iglesias, M., Echeverría Trueba, J. B., ve Fernández Bandera, C. (2024). Infiltration Models in EnergyPlus: Empirical Assessment for a Case Study in a Seven-Story Building. *Buildings*, 14(2), 421.

125. Amin, A. ve Mourshed, M. (2024). Weather and climate data for energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 192, 114247.

126. Veerendra, G. T. N. (2024). Material estimation and energy analysis for a domestic building using Revit architecture and insight: a sustainable approach. *Asian Journal of Civil Engineering*, 25, 3431–3447.

127. Long, N., Bonnema, E., Field, K., ve Torcellini, P. (2010). ANSI/ASHRAE/USGBC/IES Standard 189.1-2009. *Evaluation*.

128. Holopainen, R., Tuomaala, P., Hernandez, P., Häkkinen, T., Piira, K., ve Piippo, J. (2014). Comfort assessment in the context of sustainable buildings: Comparison of simplified and detailed human thermal sensation methods. *Building and Environment*, 71, 60-70.

129. Halawa, E. ve van Hoof, J. (2012). The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. *Energy and Buildings*, 51, 101-110.

130. Gyalistras, D. ve Gwerder, M. (2009). Use of weather and occupancy forecasts for optimal building climate control (OptiControl): Two years progress report. *Terrestrial Systems Ecology ETH Zurich*, Building Technologies Division, Switzerland.

131. Dino, I. G. ve Akgül, C. M. (2019). Impact of climate change on the existing residential building stock in Turkey: An analysis on energy use, greenhouse gas emissions and occupant comfort. *Renewable Energy*, 141, 828-846.

132. Azemati, A. A., Shirkavand Hadavand, B., Hosseini, H., ve Salemi Tajarrod, A. (2013). Thermal modeling of mineral insulator in paints for energy saving. *Energy and Buildings*, 56, 109-114.

133. Füchsl, S., Rheude, F., ve Röder, H. (2022). Life cycle assessment (LCA) of thermal insulation materials: A critical review. *Cleaner Materials*, 5, 100119.

134. Arslan, M. A. ve Aktaş, M. (2018). İnşaat Sektöründe Kullanılan Yalıtım Malzemelerinin Isı ve Ses Yalıtımı Açısından Değerlendirilmesi". *Journal of Polytechnic*, doi: 10.2339/politeknik.407257.

135. Karakütük, E., Çinka, Z. E., Kaçar, Y., Uzun, M., Çağman, S., ve Ünver, Ü. (2024). A Review for Comparison of Unconventional Insulation Materials. *2024 9th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, 1-4, doi: 10.23919/SpliTech61897.2024.10612448.

136. Pinto, J. (2011). Corn’s cob as a potential ecological thermal insulation material. *Energy and Buildings*, 43(8), 1985-1990.



Gazili olmak ayrıcalıktır