

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**KAMPÜS BİNALARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN
ARTTIRILMASINA YÖNELİK BİR ÇALIŞMA: İNÖNÜ
ÜNİVERSİTESİ**

Hatice ORHAN

Yüksek Lisans Tezi

MİMARLIK ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

KAMPÜS BİNALARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN
ARTTIRILMASINA YÖNELİK BİR ÇALIŞMA: İNÖNÜ
ÜNİVERSİTESİ

Tez Yazarı
Hatice ORHAN

Danışman
Doç. Dr. Nihal Arda AKYILDIZ

HAZİRAN 2022
ELAZIĞ

T.C.
FIRATÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİENSTİTÜSÜ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Kampüs Binalarında Enerji Verimliliğinin Arttırılmasına Yönelik Bir
Çalışma: İnönü Üniversitesi

Yazarı: Hatice ORHAN

İlk Teslim Tarihi: 30.05.2022

Savunma Tarihi: 30.06.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açıklyapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Doç. Dr. Nihal Arda AKYILDIZ Balıkesir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Yusuf YILDIZ Balıkesir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Murat ŞAHİN Fırat Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza
Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Kampüs Binalarında Enerji Verimliliğinin Arttırılmasına Yönelik Bir Çalışma: İnönü Üniversitesi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

30.06.2022

Hatice ORHAN



ÖNSÖZ

‘Kampüs Binalarında Enerji Verimliliğinin Arttırılmasına Yönelik Bir Yaklaşım: İnönü Üniversitesi’ adlı bu çalışma eko-kampüsler, UI GreenMetric Dünya Üniversiteler Sıralaması ve mevcut binaların enerji etkin yenilenmesine dair araştırmaların yer aldığı, son olarak da İnönü Üniversitesindeki referans binaların enerji bazında iyileştirilmesinin hedeflendiği 6 bölümden oluşan bir tez çalışmasıdır.

Çalışma UI GreenMetric ‘Enerji ve İklim Değişikliği’ kategorisi özelinde İnönü Üniversitesi binalarına uygulanan enerji etkin iyileştirme önerilerinin enerji verimliliğini hangi ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. İnönü Üniversitesi kampüs binalarının enerji etkinliğinin artırılması, üniversitenin UI GreenMetric sıralamasının yükselmesi ve dünyanın sayılı üniversiteleri arasında yer alabilmesi adına atılan önemli bir adımdır. Ayrıca kampüs binalarının enerji verimliliği çok sayıda insana teması ve ulusal sermayeye olumlu etkileri açısından oldukça kıymetlidir. Bu tez çalışması, mevcut binaların iyileştirilmesi ve enerji etkin tasarım fenomenlerinin irdelenmesinin yanı sıra ekolojik kampüslerin değerinin anlaşılması açısından oldukça değerli bir çalışma niteliğindedir.

Çalışmam sırasında gece gündüz demeden yardımını ve desteğini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Nihal Arda AKYILDIZ hocama katkı ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

DesignBuilder programının aktif kullanımı ve mevcut enerji tüketimleri kalibrasyonu konusunda yardımlarını esirgemeyen Resul ÖZLÜK’e, akademik yazıma ilişkin verdikleri bilgiler için sayın Doç. Dr. Betül BEKTAŞ EKİCİ, Dr. Öğr. Üyesi Fevziye Deniz GÜNDOĞDU, Esmâ BALALAN ve Büşra GÜL ÖZDİL’e teşekkür ederim.

İnönü Üniversitesi Merkez Kampüsü Fen Edebiyat Fakültesi binalarının mevcut proje, doğalgaz ve malzeme verilerine ulaştığım Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı Şube Müdürü Abdullah AKCAN bey ve Makine Mühendisi Ataman BİLEN beye teşekkür ederim.

Yalnız tez sürecinde değil hayatımın her aşamasında desteklerini hep hissettiğim sevgili annem Gülcan YILDIZ’a ve sevgili babam Bektaş YILDIZ’a ve beni yormadan tez sürecime eşlik eden minik kızıma teşekkür ederim.

Son olarak bu çalışma için çokça zamanını çaldığım en büyük destekçim sevgili eşim Okan ORHAN’a bana olan güveni, gösterdiği özveri ve anlayışı için teşekkür ederim.

Hatice ORHAN

ELAZIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLOLAR LİSTESİ	xii
SİMGELER	xiii
KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı.....	2
1.2. Çalışmanın Amacı	3
1.3. Çalışmanın Kapsamı.....	3
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Üniversitelerin Ekolojik Değeri ve Eko-kampüsler.....	5
2.2. Üniversite Değerlendirmelerinde Ekoloji Ölçütü: GreenMetric.....	9
2.2.1. GreenMetric	10
2.2.2. GreenMetric Amaç ve Hedefleri	10
2.2.3. GreenMetric Kriterleri, Göstergeleri ve Puanlama Sistemi.....	11
2.3. İnönü Üniversitesi ve Eko-Kampüs Çalışmaları	12
2.3.1. İnönü Üniversitesi Tarihçesi	12
2.3.2. İnönü Üniversitesinin Eko-kampüs Çalışmaları.....	14
3. MEVCUT BİNALARIN ENERJİ ETKİN YENİLENMESİ VE ISIL KONFOR.....	26
3.1. Mevcut Binaların Enerji Etkin Yenilenmesinin Önemi.....	26
3.2. Mevcut Kampüs Binalarının Enerji Etkin Yenilenmesinin Önemi	30
3.3. Mevcut Binalarda Enerji Etkin Yenileme Yöntemleri.....	30
3.4. Bina Kabuğunun Enerji Etkin Yenilenmesi.....	33
3.4.1. Duvar Konstrüksiyonu İyileştirme	34
3.4.2. Pencere Konstrüksiyonu İyileştirme.....	36
3.4.3. Çatı Konstrüksiyonu İyileştirme	37
3.4.4. Pencere-Duvar Oranına Bağlı İyileştirme	38
3.4.5. Gölgeleme Elemanı Kullanımına Bağlı İyileştirme	38
3.5. Isıl Konforun Sağlanması	39
3.6. Literatür Araştırması.....	41
4. MATERYAL VE METOT	47
4.1. Yöntem	47
4.2. Referans Binalar ve Uygulama Alanı	49
4.2.1. Referans Binaların Genel Özellikleri	51
4.2.2. Uygulama Alanı	58
4.3. Anahtar Performans Göstergeleri	60
4.4. DesignBuilder Programı	61
4.5. Binaların Modellenmesi ve Performans Simülasyonu.....	62
4.5.1. Binaların Modellenmesi	62

4.5.2. Isıl Bölgeleme	63
4.5.3. Binalara Ait Veriler	66
4.5.4. Enerji Simülasyonu Kalibrasyonu	69
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	71
5.1. Bina Performans Simülasyonu	71
5.1.1. Referans Binaların Mevcut Enerji Tüketim Değerleri.....	72
5.1.2. Bina Yönlendiğinde Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi	72
5.1.3. Kullanıcı Yoğunluğunda Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi	76
5.1.4. Dış Duvar Ana Malzemesinde Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi	79
5.1.5. Dış Duvar Isı Yalıtım Malzeme Konumunun Enerji Tüketimine Etkisi	83
5.1.6. Duvar Isı Yalıtım Malzemelerinde Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi	87
5.1.7. Çatı Isı Yalıtım Malzemelerinde Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi	91
5.1.8. Saydam Yüzey Elemanlarında Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi	97
5.1.9. Pencere Çerçevelerinde Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi.....	101
5.1.10.Çatı Işıklık Malzemelerinde Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi.....	105
5.1.11.Gölgeleme Elemanı Türünde Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi	109
5.1.12.Gölgeleme Elemanı Çıkma Uzunluklarının Enerji Tüketimine Etkisi	114
5.1.13.Cephelerdeki Saydam Yüzey Oranlarının Enerji Tüketimine Etkisi	117
5.1.14.Referans Binalar İçin Alternatif Bir Yenileme Senaryosu	120
5.1.15.GreenMetric Enerji ve İklim Değişikliği Kategorisi ve Çalışma Sonuçları	126
5.1.16. Tartışma.....	129
6. SONUÇLAR.....	135
ÖNERİLER	140
KAYNAKLAR.....	141
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Kampüs Binalarında Enerji Verimliliğinin Arttırılmasına Yönelik Bir Çalışma: İnönü Üniversitesi

Hatice ORHAN

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mimarlık Anabilim Dalı

Haziran 2022, Sayfa: xiv +147

Tıpkı bir kent gibi çeşitli katmanlara, yapılar ve yasalara sahip olan üniversiteler, barındırdıkları toplumsal çeşitlilik sayesinde, sürdürülebilirlik ve ekoloji çalışmalarının önemli uygulanma alanlarıdır. Küresel iklim kriziyle birlikte artan sürdürülebilirlik çalışmaları, zaman içerisinde, üniversiteleri daha yenilikçi ve daha rekabetçi ortamlar olmaya itmiştir. Böylece ekolojik bir üniversitenin ne olduğu hakkında daha fazla çalışma yapılmış ve oluşan rekabet ortamı, sıralama ölçütlerinin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Bu anlamda düzenlenen sıralama sistemlerinden biri olan *UI GreenMetric*, küresel çapta çok sayıda katılımcıya ulaşmayı başarmıştır. GreenMetric sıralamasında yer alan ve eko-kampüs niteliği ile öne çıkan İnönü Üniversitesi'nin saygın üniversitelerin seviyesine yükselebilmesi, eko-kampüs olma yolunda ilerlemesi ve ulusal sermayenin korunması adına seçilen kampüs binalarında enerji verimliliği potansiyeli araştırılmıştır. Çalışma için kampüsün en eski ve form olarak en çok tekrar eden yapıları (A-B, D-E ve F-G blok) referans olarak seçilerek mevcut binaların yenilenerek kullanım ömürlerinin artırılması, enerji tasarrufu ve iç ortam kalitesinin artırılması hedeflenmektedir.

Bu çalışma kapsamında enerji verimlilik potansiyelini artırmak için kullanılan yöntem pasif önerili senaryolar ile referans binalarda yapılacak olan iyileştirmelerdir. Binalarda enerji etkin iyileştirmeye odaklı kurulan senaryolar *DesignBuilder* programı kullanılarak simüle edilmiştir. Simülasyondan elde edilen enerji tüketim verileri, ölçülen doğalgaz tüketim verileri kullanılarak ASHRAE standartlarına uygun olarak kalibre edilmiştir. Bu simülasyonlar yönlenme ve kullanıcı yoğunluğu gibi varsayımsal parametrelerin yanı sıra duvar ana malzeme türü, duvar ısı yalıtım türü, duvar ısı yalıtım konumu, çatı ısı yalıtım türü, cam türü, pencere doğrama türü, çatı ışıklık türü, gölgeleme türü, gölgeleme elemanı çıkma uzunluğu ve pencere-duvar oranı değişimi gibi uygulanabilir parametreler üzerine kurulmuştur. Elde edilen simülasyon sonuçlarından ısıtma ve soğutma tüketimi, gölgeleme elemanları için aydınlatma enerjisi tüketimi ve CO₂ salınımları hesaplanmıştır. En nihayetinde, en verimli parametrelerle kurulan senaryo, binanın maksimum enerji verimlilik potansiyelini ortaya koymuştur.

Çalışma; çatı, duvar, pencere malzeme değişimlerinin yanı sıra gölgeleme elemanlarının kullanımı ile bir yılda %68,31 oranında ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanabildiğini göstermektedir. Bu oran yaklaşık 153.117,39 kg CO₂ salınıma eş değerdir. Çalışma sonuçları, İnönü Üniversitesi kampüs binalarında yapılacak olan enerji etkin iyileştirmelerin önemli ölçüde tasarruf potansiyeli sağladığını ve bu bulgunun başta üniversite ekolojisi olmak üzere çevre adına atılmış önemli bir adım olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Eko-kampüs, GreenMetric, Üniversite Binaları, Bina Kabuğu, Enerji Etkin İyileştirme

ABSTRACT

A Study on Increasing Energy Efficiency in Campus Buildings:İnönü University

Hatice ORHAN

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Architecture

June 2022, Pages: xiv + 147

Universities which have various layers, structures and legislation just like cities, along with the social diversities that they host, are important areas for studies on sustainability and ecology. Increasing sustainability studies with the global climate crisis have led universities to become more innovative and more competitive environments over time. Thus, more studies have been conducted concerning what a ecological university is, and the competitive environment has paved the way for the development of a ranking criteria. As one of the ranking systems regulated in this sense, *UI GreenMetric* has managed to reach a large number of participants globally. The energy efficiency potential of İnönü University, which takes part in GreenMetric ranking and stands out with its eco-campus quality, is investigated in order to rise it to the level of reputable universities, to maintain its progress towards becoming an eco-campus and to protect national capital. For the study, the oldest and most repetitive structures of the campus (A-B, D-E and F-G block) have been selected as reference, and it is aimed to renew the existing buildings in order to increase their life span, as well as saving energy and increasing the quality of the indoor environment.

The method adapted to increase the energy efficiency potential within the scope of this study is improving the reference buildings with passive recommended scenarios. The suggested scenarios, which are focused on improving the energy efficiency of these buildings were simulated using the *DesignBuilder* program. The energy consumption data obtained from the simulation by measuring the natural gas consumption data, were calibrated in accordance with the ASHRAE standards. These simulations are based on hypothetical parameters such as orientation and user density and applicable parameters such as wall main material type, wall thermal insulation type, wall thermal insulation location, roof thermal insulation type, glass type, window joinery type, roof light type, shading type, shading element protrusion length and window-to-wall ratio change. From the simulation results obtained, heating and cooling consumption, lighting energy consumption for shading elements and CO₂ emissions were calculated. Ultimately, the scenario established with the most efficient parameters revealed the maximum energy efficiency potential of the building. The study shows that heating energy savings of 68.31% can be achieved in a year with roof, wall, window material changes and shading elements. This ratio is equivalent to approximately 153117.39 kg CO₂ emission.

As a result it was found out that the energy efficient improvements to be made at the campus buildings of İnönü University, have provided a significant potential for energy saving and this proved to be an important step for the environment, and especially for university ecology.

Keywords:Eco-campus, UI GreenMetric, University Buildings, Building Envelope, Energy Efficient Improvement

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Yıllara göre üniversite sayıları	6
Şekil 2.2. Yıllara göre üniversitelere kayıtlı öğrenci sayıları	7
Şekil 2.3. GreenMetric sürdürülebilir gelişim hedefleri	11
Şekil 2.4. İnönü Üniversitesi kampüs yerleşimi	14
Şekil 2.5. 1977 yılı kampüs alanı, Bayram Akdemir arşivi.....	15
Şekil 2.6. Kampüs inşaat alanı	15
Şekil 2.7. İnönü Üniversitesi	16
Şekil 2.8. İnönü Üniversitesi güneş enerjisi santrali.....	18
Şekil 2.9. İnönü Üniversitesi enerji verimliliği ve su yönetimi	20
Şekil 2.10. Turgut Özal Tıp Merkezi sıfır atık belgesi.....	21
Şekil 2.11. İnönü Üniversitesi pembe yol ve bağlantı yolları.....	23
Şekil 2.12. İnönü Üniversitesi UI GreenMetric 2021 katılım sertifikası	25
Şekil 3.1. Ekonomik faaliyetlere ve hanelere göre atık üretimi oranları, ab, 2018.....	27
Şekil 3.2. Bina ömrü bazında enerji tüketim oranları.....	28
Şekil 3.3. Sektörel enerji tüketimlerinin yıllara göre değişimi	29
Şekil 3.4. Sektörel elektrik tüketimlerinin yıllara göre değişimi	29
Şekil 3.5. Binalarda enerji etkin iyileştirme yöntemleri	32
Şekil 3.6. Farklı duvar konstrüksiyonlarında sıcaklık, don yüzey derinliği ve yoğuşma	35
Şekil 3.7. Sandviç duvar örneği	36
Şekil 3.8. Low-E kaplamalı çift katmanlı cam sistemi	37
Şekil 3.9. Güneş kırıcı ve rafları.....	39
Şekil 4.1. Yönteme dair adımlar	48
Şekil 4.2. Çalışmaya ait senaryolar	49
Şekil 4.3. İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi	50
Şekil 4.4. Kampüs Fen-Edebiyat Fakültesi derslikleri inşaatı	50
Şekil 4.5. 1987 yılında İnönü Üniversitesi kampüsü	51
Şekil 4.6. Mimar Sezar Aygen'in İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi proje başlığı.....	52
Şekil 4.7. Mimar Sezar Aygen'in İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi projesi vaziyet planı.....	52
Şekil 4.8. 2021 yılı İnönü Üniversitesi Google Earth yerleşim görüntüsü	53
Şekil 4.9. İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi A-B blok kat planları	54
Şekil 4.10. İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi A-B blok görünüşler.....	55

Şekil 4.11. İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi D-E blok kat planları.....	56
Şekil 4.12. İnönü Üniversitesi D-E blok görünüş ve kesitler	57
Şekil 4.13. İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi F-G blok kat planları	57
Şekil 4.14. İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi F-G blok görünüşler	58
Şekil 4.15. 1959-2019 genel sıcaklık ortalaması	59
Şekil 4.16. 1959-2019 yıllık ortalama Tmean, Tmax e Tmin dağılım haritası	59
Şekil 4.17. Malatya ili iklim grafiği	60
Şekil 4.18. Referans binaların DesignBuilder programında oluşturulan modeli	62
Şekil 4.19. A-B blok modelinde ısı bölgeleme.....	64
Şekil 4.20. D-E blok modelinde ısı bölgeleme.....	65
Şekil 4.21. F-G blok modelinde ısı bölgeleme	66
Şekil 4.22. Ölçülen doğalgaz tüketim değerleri ile simülasyon tüketim değerlerinin karşılaştırılması	70
Şekil 5.1. Referans binaların DesignBuilder programındaki ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri. 72	
Şekil 5.2. Referans binaların yönlenme alternatifleri	73
Şekil 5.3. Yönlenme alternatiflerinin yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri	74
Şekil 5.4. Yönlenme alternatiflerinin yıllık soğutma enerjisi tüketimleri.....	75
Şekil 5.5. Yönlenme alternatiflerinin yıllık toplam enerji tüketimleri.....	76
Şekil 5.6. Kullanıcı yoğunluğu alternatiflerinin yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri	77
Şekil 5.7. Kullanıcı yoğunluğu alternatiflerinin yıllık enerji tüketimleri	78
Şekil 5.8. Kullanıcı yoğunluğu alternatiflerinin yıllık toplam enerji tüketimleri	79
Şekil 5.9. Duvar ana malzeme alternatiflerinin yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri	81
Şekil 5.10. Duvar ana malzeme alternatiflerinin yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimleri	82
Şekil 5.11. Duvar ana malzeme alternatiflerinin yıllık toplam enerji tüketimi.....	83
Şekil 5.12. Duvar yalıtım konumu alternatiflerinin yıllık ısıtma enerji tüketimleri	85
Şekil 5.13. Duvar yalıtım konumu alternatiflerinin yıllık soğutma enerji tüketimleri.....	86
Şekil 5.14. Duvar yalıtım konumu alternatiflerinin yıllık toplam enerji tüketimleri	87
Şekil 5.15. Duvar yalıtım malzemelerinin yıllık ısıtma enerji tüketimleri	89
Şekil 5.16. Duvar yalıtım malzemelerinin yıllık soğutma enerjisi tüketimleri	90
Şekil 5.17. Duvar yalıtım malzemelerinin yıllık toplam enerji tüketimleri.....	91
Şekil 5.18. Çatı ısı yalıtım malzemelerinin yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri	95
Şekil 5.19. Çatı ısı yalıtım malzemelerinin yıllık soğutma enerjisi tüketimleri.....	96
Şekil 5.20. Çatı ısı yalıtım malzemelerinin toplam enerji tüketimleri	97
Şekil 5.21. Cam türlerinin yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimleri	99
Şekil 5.22. Cam türlerinin yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimleri	100

Şekil 5.23. Cam türlerinin yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimleri	101
Şekil 5.24. Pencere doğrama türlerinin yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri	103
Şekil 5.25. Pencere doğrama türlerinin yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimleri.....	104
Şekil 5.26. Pencere çerçeve türü alternatiflerinin yıllık toplam enerji tüketimi sonuçları.....	105
Şekil 5.27. Çatı ışıklık malzeme türlerinin yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri	107
Şekil 5.28. Çatı ışıklık malzemesi türlerinin yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimleri	108
Şekil 5.29. Çatı ışıklık malzemesi türlerinin yıllık toplam enerji tüketimleri.....	109
Şekil 5.30. Üstten asılı gölgeleme tipi.....	110
Şekil 5.31. Panjurlu gölgeleme tipi	110
Şekil 5.32. Yan kanatlı gölgeleme tipi	111
Şekil 5.33. Gölgeleme elemanı alternatiflerinin yaz döneminde aydınlatma enerjisi tüketimleri	112
Şekil 5.34. Gölgeleme elemanı alternatiflerinin yaz döneminde soğutma enerjisi tüketimleri	113
Şekil 5.35. Gölgeleme elemanlarının yaz döneminde toplam soğutma ve aydınlatma enerji tüketimleri ..	114
Şekil 5.36. Farklı gölgeleme elemanı çıkma uzunluklarının yıllık aydınlatma enerjisi tüketimleri	115
Şekil 5.37. Farklı gölgeleme elemanı çıkma uzunluklarının yıllık soğutma enerjisi tüketimleri	116
Şekil 5.38. Gölgeleme elemanı çıkma uzunluklarının yıllık toplam enerji tüketimleri	117
Şekil 5.39. Pencere-duvar oranına göre yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri.....	118
Şekil 5.40. Pencere-duvar oranına göre yıllık soğutma enerjisi tüketimleri	119
Şekil 5.41. Pencere-duvar oranına göre yıllık toplam enerji tüketimleri	120
Şekil 5.42. Senaryolara ait en verimli parametrelerin toplam enerji tüketimleri karşılaştırması	121
Şekil 5.43. RB ve S39-ALT kodlu senaryonun yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri	124
Şekil 5.44. RB ve S39-ALT kodlu senaryonun yıllık soğutma enerjisi tüketimleri	125
Şekil 5.45. RB ve S39-ALT kodlu senaryonun yıllık toplam enerji tüketimleri	126

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. TS 825 gün derece bölgelerine göre maksimum U değerleri.....	40
Tablo 3.2. Türkiye’deki ısı bölgelerine uygun cam seçiminde kullanılmak üzere hazırlanmış pencere ısı geçirgenlik (U_p) katsayıları.....	40
Tablo 3.3. Literatür araştırması.....	46
Tablo 4.1. DesignBuilder programında bina simülasyonuna ait girdiler	67
Tablo 4.2. Referans binaların mevcut yapı bileşenlerine ait termofiksel özellikler	68
Tablo 4.3. Simülasyon modeli kalibrasyonu için ASHRAE kabul edilebilir sınır değerleri.....	69
Tablo 5.1. Referans binaların duvar ana malzemesi senaryolarına ait duvar katmanları	80
Tablo 5.2. Referans binaların duvar yalıtım konumu senaryolarına ait duvar katmanları	84
Tablo 5.3. Referans binaların duvar yalıtım malzemesi senaryolarına ait duvar katmanları	88
Tablo 5.4. Çatı yalıtım malzemesi senaryolarına ait A-B ve F-G blok çatı katmanları	93
Tablo 5.5. Çatı yalıtım malzemesi senaryolarına ait D-E blok çatı katmanları.....	94
Tablo 5.6. Referans binaların cam türü senaryolarına ait cam katmanları	98
Tablo 5.7. Referans binaların pencere doğrama senaryolarına ait doğrama katmanları.....	102
Tablo 5.8. Referans binaların çatı ışıklık senaryolarına ait saydam yüzey katmanları	106
Tablo 5.9. Tüm senaryoların enerji tüketimi açısından en verimli alternatifleri	122
Tablo 5.10. S39-ALT kodlu senaryoya ait bina katmanları	123
Tablo 5.11. UI GreenMetric gösterge performans ölçümü	127

SİMGELER

m²	: Metrekare
m	: Metre
mm	: Milimetre
%	: Yüzde
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt saat
MJ/m²	: Enerji Kullanım Yoğunluğu
mi	: Ölçülen Gerçek Tüketim Değeri
si	: Simülasyon Tüketim Değeri
CO₂	: Karbondioksit
Low-e	: Düşük emisyon
U	: Isı İletim Katsayısı
R	: Isıl direnç
MWp	: Megawatt peak
MW	: Megawatt
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol

KISALTMALAR

3D	: Üç boyutlu
ARWU	: Academic Ranking of World Universities
ASHRAE	: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BPS	: Bina Performans Simülasyonu
CAD	: Computer Aided Design/Drafting
CFD	: Computational Fluid Dynamics
CSAF	: Campus Sustainability Assessment Framework
CV RMSE	: Coefficient of Variable Root Mean Squared Error
EBYS	: Elektronik Belge Yönetim Sistemi
EPS	: Expanded Polystyren
DXF	: Data Exchange File
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
HVAC	: Heating, Ventilating and Air Conditioning
IARC	: International Achievements Research Center
ICCI	: Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı
ISO	: International Organization for Standardization
İNÜZEM	: İnönü Üniversitesi Uzaktan Eğitim Merkezi
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
MBE	: Mean Bias Error
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
PV	: Fotovoltaik Panel
RB	: Referans Binalar
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition (Kontrol ve izleme merkezi)
SIR	: SCImago Kurumlar Sıralaması
STARS	: The Sustainability Tracking, Assessment & Rating System
STAUNCH	: Sustainability Tool for Assessing Universities Curricula Holistically
THE	: Times Yükseköğretim Dünya Üniversiteler Sıralaması
TÖTM	: Turgut Özal Tıp Merkezi
TS 825	: Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standartı
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UI GreenMetric	: Universitas Indonesia GreenMetric
USGBC	: U.S. Green Building Council
WHO	: World Health Organization
XPS	: Ekstrude Polistren
YEVEDS	: Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Destekleme Programı
yy	: Yüzyıl

1. GİRİŞ

18. yy. sanayileşme dönemi sonrasında atmosferdeki zararlı gazların, küresel iklim değişikliklerinin ve tükenen enerji kaynaklarının gündeme gelmesi ile sürdürülebilirlik kavramı ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilirlik kavramı kısa sürede kentlerde olduğu gibi küçük bir kent modeli olan üniversitelerin de gündemi haline gelmiştir. Bu gündem üniversiteleri daha yenilikçi, daha verimli ve daha rekabetçi ortamlar olmaya itmiştir. Böylelikle sürdürülebilir/ekolojik üniversite kavramları hakkında daha fazla çalışma yapılmış ve eko-kampüs denilen sürdürülebilir kampüsler ortaya çıkmıştır. Eko-kampüsler ekolojik sorumlulukları ve çevresel anlamdaki olumlu etkileriyle her gün biraz daha fazla ilgi çekmektedir. Bu durum sayıları her geçen gün artan ekolojik üniversiteler arasında rekabet ortamı oluşmaktadır. Üniversiteler arasındaki motivasyon artırıcı bu ekolojik rekabet üniversite sıralama ölçütlerinin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır.

Üniversiteleri çevresel yönüyle incelemek, geliştirmek ve motivasyonu artıran bir şekilde sıralamak adına 2010 yılında UI GreenMetric sıralama sistemi oluşturulmuştur. UI GreenMetric sıralaması çevrimiçi bir anketle 6 kategoride üniversiteleri değerlendirmektedir. Sıralamanın tanınırlık, ağ kurma ve prestij katma potansiyeli, derece yapan üniversiteler için oldukça avantajlıdır.

Bu anlamda geliştirilen sıralama sistemlerinden biri olarak UI GreenMetric, küresel çapta çok fazla sayıda katılımcıya ulaşmayı başarmıştır. 2021 yılında dünyada 956, ülkemizde 71 üniversite UI GreenMetric anketine katılmıştır. Türkiye’de ilk sırada yer alan üniversite 57. sıralama ile İstanbul Teknik Üniversitesi iken son sırada yer alan üniversite 916. sıralama ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi olmuştur. Sıralamaya giren üniversitelerden biri olarak İnönü Üniversitesi, UI GreenMetric 2021’de Türkiye’de 19. ve dünyada 310. sırayı almıştır. Her sene yükselen sıralamasıyla önemli bir potansiyel barındıran İnönü Üniversitesi, bir eko-kampüs olarak mevcut binalarda enerji verimliliğini artırmak konusunda geri planda kalmaktadır. Bu açıdan bakıldığında geleceği şekillendirmedeki rolüyle İnönü Üniversitesinin bina enerji verimlilik çalışmalarının incelenmesi oldukça değerlidir.

Bu tez çalışmasında, GreenMetric sıralaması Enerji ve İklim Değişikliği kategori başlığı altında İnönü Üniversitesi binalarında enerji verimliliğinin arttırılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda İnönü Üniversitesinin dünyanın saygın üniversitelerinin seviyesine yükselebilmesi, eko-kampüs olma yolunda ilerlemesi ve ulusal sermayenin korunması adına seçilen binalarında enerji kullanımını azaltmak için referans binalar enerji etkin bir yaklaşımla irdelenmiştir. Referans bina olarak kampüsün en eski ve en çok tekrar eden Fen-Edebiyat Fakülteleri A-B, D-E ve F-G blokları seçilmiştir. Bu binalar DesignBuilder programı kullanılarak modellenmiş ve simülasyon sonuçları mevcut doğalgaz tüketimleri ile kalibre edilmiştir. Ardından referans binaların enerji verimliliğini artırmaya yönelik varsayımsal ve uygulanabilir senaryolar

oluşturularak binaların en etkin kullanımı incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda seçilen parametreler ile 12 senaryo düzenlenmiş ve en verimli parametreler ile yeni bir senaryo kurularak binaların maksimum enerji verimlilik potansiyelleri ve CO₂ salınımlarına ulaşılmıştır.

Çalışma neticesinde yapı elemanlarının U değerleri ve ısıtma enerjisi tüketimleri arasında doğru orantı ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu ilişki bulgular kısmında grafiklerle gösterilmiştir.

Üniversite binalarında yapılan bu çalışma, referans binaların kullanıcıları için iç ortam konforunu artırmakla beraber, doğalgaz tüketim değerini düşürerek ulusal sermayeye katkı sağlamaktadır. Çevresel açıdan karbon salınımı azalacağından, bu çalışmanın uygulanması ile önemli oranda toplumsal fayda sağlanabilmektedir. Bina enerji değerlendirmelerinde her binanın iklimi, formu, yönü ile kendine has sonuçları olacağı bilinse de bu çalışma Malatya iklim verileriyle simüle edilecek diğer binalar için örnek niteliği taşımaktadır. Çalışma sonucunda İnönü Üniversitesi GreenMetric sıralamasının her sene daha yükseğe taşınması ekolojik anlamda atılmış önemli bir adımdır.

1.1. Problemin Tanımı

Sera gazları ve küresel iklim değişikliklerinin beraberinde getirdiği ekolojik sorunlar kentlerde yaşam dengelerini değiştirmiştir. Kentler için birçok açıdan odak noktası olan üniversiteler ekolojik dengeyi sağlamak ve tüm kente yayılan hizmetler sunabilmek için çeşitli iyileştirmeler yapmaktadır. Söz konusu iyileştirme hedefleri, üniversitelerin küresel çapta birbirleri ile ekolojik yarışlar içerisine girdiği çeşitli sıralama sistemlerini meydana getirmiştir. Küçük bir kent modeli gibi işleyen üniversitelerin kent ekolojisine katkısı son zamanlarda fark edilse de tüm çabalara rağmen henüz etkin adımlar atılamamaktadır. Öyle ki enerji, su, ulaşım, atık gibi birçok konu üniversiteler için hala iyileştirme öneri ve uygulamalarını beklemektedir.

Tez çalışma konusu olan İnönü Üniversitesi en tanınır üniversite sıralamalarından biri olan 956 katılımcılı UI GreenMetric sıralamasında, uluslararası sıralamada 310. sırada yer alırken, Türkiye’de 19. sırada yer almaktadır. İnönü Üniversitesi elektrik kontrol otomasyon sistemi ile enerji ve iklim değişikliği kategorisindeki sıralamasını yükseltse de bina enerji tasarruflarında yeterli verimlilik düzeyine ulaşamamıştır. Özellikle üniversitenin içerisine dağılmış olan mevcut eski yapılar yalıtım ve aydınlatma kontrolü gibi iyileştirmelere ihtiyaç duymaktadır.

Türkiye’de en büyük atık oranının inşaat sektöründe olduğu düşünüldüğünde Enerji ve iklim değişikliğini durdurmak ya da yavaşlatmak için alınacak önlemlerden biri mevcut binaların yıkılmak yerine iyileştirilerek değerlendirilmesidir. Bu yöntem ile ekoloji ve ulusal sermaye korunurken kullanıcı konfor şartları da yerine getirilebilmektedir. Böylelikle tıpkı yeni yapılar gibi eski yapılar da belirli standartlara uygun halde ömürlerini tamamlayabilmektedir. Bu perspektifle çalışmada İnönü Üniversitesi’nin en eski binaları ele alınıp gerekli enerji etkin iyileştirme stratejileri uygulanmıştır.

Binaların etkin bir şekilde iyileştirilebilmeleri için en iyi şekilde analiz edilmeleri gerektirmektedir. Günümüzde bu analizler için birçok açıdan kalibre edilmiş olan Bina Performans Simülasyonu (BPS) araçları geliştirilmiştir. Bu araçlar sayesinde bina analizi üzerine yapılan çalışmalar artmış olsa da her iklim koşulunda değişen değerler, çalışmaların yayılmasını ve tekrar tekrar denenmesini gerektirmektedir.

Malatya ili iklim bölgesinde bulunan İnönü Üniversitesinde enerji etkin bina iyileştirmeleri konusunda yeterli çalışma yapılmamış olması ve referans binaların üniversite içerisinde en eski ve sıklıkla tekrar eden yapılar olması çalışmanın özgünlüğünü ve kente kattığı ekolojik değeri artırmaktadır. Bu ve benzer çalışmalar uluslararası sıralamalarda ülkemiz üniversitelerinin dünyanın en iyi üniversiteleri seviyesine yükseltmek için etkili adımlar olarak görülmelidir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma üniversitelerin kent ekolojisine katkısının bilincinde, GreenMetric sıralamasının Enerji ve İklim Kategorisine odaklanarak, mevcut kampüs binalarında enerji etkin iyileştirme yöntemlerini incelemekte ve referans binalar üzerinden İnönü Üniversitesi enerji tasarruf potansiyelini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda ‘GreenMetric’ sıralamasında yer alan İnönü Üniversitesinin;

- dünyanın saygın üniversitelerinin seviyesine yükselbilme yönünde ilerleme kaydetmesi,
- eko-kampüs olma yolunda ilerlemesi,
- bina bazında enerji tasarruf potansiyelini artırması,
- bölge ikliminde en etkin bina enerji iyileştirme parametrelerinin literatüre kazandırılması,
- mevcut binaların enerji tasarrufları ve düşük karbon salınımları ile kent-bölge ekolojisinin ve ulusal sermayenin korunması hedeflenmiştir.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Çalışmanın *ilk bölümünde* problemin tanımı, çalışmanın amacı ve çalışmanın kapsamı bilgilerine yer verilmiştir.

İkinci bölümde üniversite kampüslerinin ekolojik değeri, UI GreenMetric sıralaması ve İnönü Üniversitesi eko-kampüs çalışmaları üzerine genel bir teorik anlatım bulunmaktadır.

Üçüncü bölümde mevcut binaların enerji etkin yenilenmesi, yenileme stratejileri, bina enerji verimliliğinde Türkiye standartları ve araştırmaya ışık tutması açısından önceki çalışmalar incelenmiştir.

Dördüncü bölümde referans binaların genel özellikleri, uygulama alanı ile ilgili değişkenler ve anahtar performans göstergeleri (PG) ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bu aşamada bir binanın tüm özelliklerinin simülasyon yöntemiyle bilgisayar ortamına aktarılmasının ve gerçeğe uygun

koşullarda değerlendirilebilmesinin önemi belirtilerek tez çalışmasında kullanılan DesignBuilder programının neden tercih edildiği belirtilmiştir. Daha sonra DesignBuilder TM programında binaya uygulanan ısı bölgeleme gösterilmiş ve programda kullanılacak materyaller belirtilmiştir. Bina değerleri ile sonuçlar kıyaslanarak program kalibre edilmiştir.

Beşinci bölümde tüm enerji etkin iyileştirme senaryoları tanıtılarak senaryo sonuçlarına ilişkin grafikler gösterilmiştir. Daha sonra 12 senaryo sonuçlarından oluşturulan en verimli senaryo (S39-ALT) ile mevcut durumun enerji etkinliğine ait sonuçlar kıyaslanmıştır.

Sonuç bölümünde ise tüm senaryoların bina üzerindeki etkisi belirtilerek yapılan çalışmanın İnönü Üniversitesi GreenMetric sıralamasındaki yeri ve ekolojik önemi katkıları belirtilmiştir.

Bu çalışma kapsamında İnönü Üniversitesinin en eski ve en çok tekrar eden yapıları olan Fen Edebiyat Fakültesi binalarından A-B, D-E ve F-G blok varsayımsal ve uygulanabilir parametreler doğrultusunda oluşturulan 12 senaryo ile simüle edilmiştir. Bina enerji verimliliğinde kullanılan aktif sistemler ve PV panel gibi yenilenebilir sistemler tezin inceleme kapsamında bulunmamaktadır.

Çalışmada bina kabuğuna ilişkin duvar ısı yalıtım türü, duvar ısı yalıtım konumu, çatı ısı yalıtım türü, cam türü, pencere doğrama türü, çatı ıslıklık türü, gölgeleme elemanı türü, gölgeleme elemanı çıkma uzunluğu ve pencere-duvar oranı değişimi ile yönlenme ve kullanıcı yoğunluğu üzerine enerji iyileştirme önerileri sunulmuştur.

Simülasyonlar İnönü Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'ndan alınan projeler ve ölçümler ile ASHRAE standartlarına uygun olarak kalibre edilmiştir. Simülasyon sonuçları incelenip her parametrenin en iyi versiyonu tespit edildikten sonra senaryo S39-ALT oluşturulmuştur. Bu senaryo seçilen parametreler doğrultusunda bina enerji verimliliği maksimum seviyeye çıkarılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

1980’li yıllarda başlayan sanayi devriminin beraberinde getirdiği çarpık kentleşme, yeşil alan tahribatı ve fabrikaların ürettiği zehirli gazlar günümüzde artarak devam eden küresel bir kirlilik oluşumuna sebebiyet vermiştir. Bu probleme dair çözüm arayışları sürdürülebilirlik kavramını gündeme getirmiştir. Sürdürülebilirlik, yaşam kalitesini ve refah düzeyini geliştirmek, kaynakları korumak ve onları gelecek kuşaklara aktarmak anlamlarına gelmektedir [1,2,3,4,5].

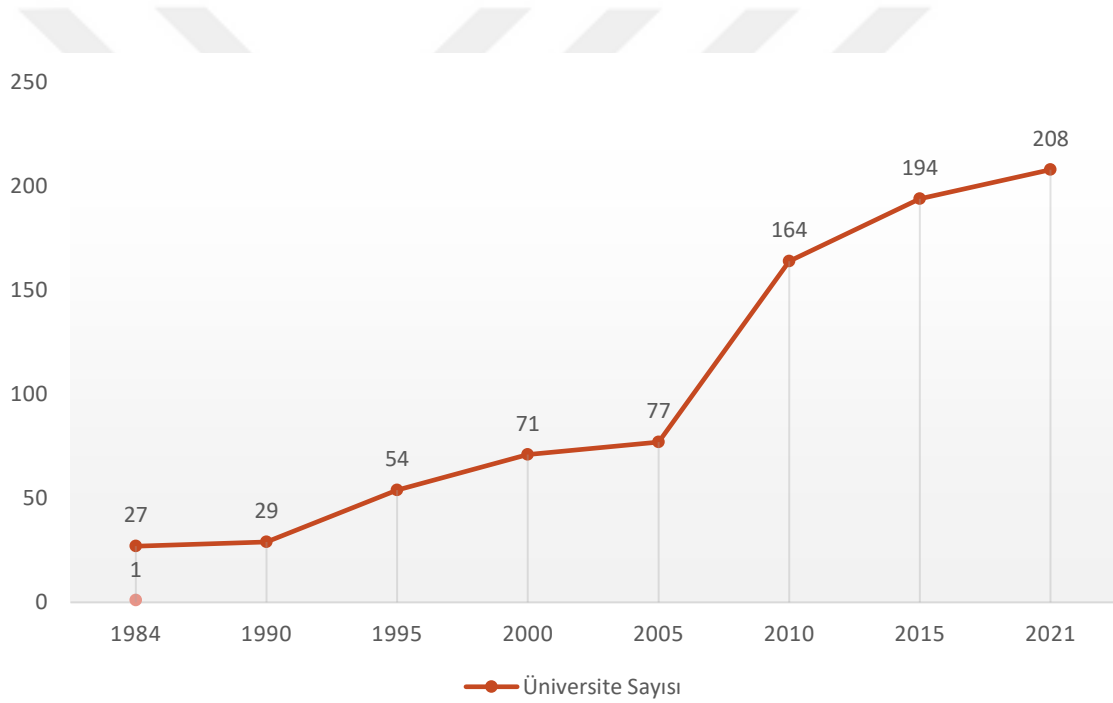
Günümüzde küresel iklim sorunları sürdürülebilir yaşam alanlarını ve sürdürülebilir gelişmeyi zorunlu kılmaktadır. Bu anlamda kentlerde sürdürülebilirlik, insanoğlunun ihtiyaçlarına yanıt verebilen kent sistemlerinin, sonraki nesillerin kaynaklarını gözeterek geliştirilmesinin sağlanması sürecidir. Sürdürülebilir kentler oluşturmak her birey, kurum ve yönetimin yükümlüğü altındadır. Bu anlamda üniversiteler bir kent kadar katmanlı demografik yapısı ve nesilleri etkileme potansiyelleriyle eğitim liderleri oldukları kadar aynı zamanda sürdürülebilirlik liderleri olma kapasitesine sahiptirler. Sürdürülebilirlik liderleri olarak kullanıcılar üzerinde gerekli bilincin oluşturulması ve kente aktif anlamda katkı sağlamak konusunda başarılı olan üniversiteler eko-kampüsler olarak adlandırılmaktadır. Eko-kampüsler yoğunlaştıkları ekolojik çalışmalarla, bulundukları kent ekolojisine ve dolaylı olarak dünya ekolojisine katkı sağlamaktadırlar. Yeşil kampüs modelini tamamen uygulamak mümkün olmasa da ‘yeşillendirme’ ifadesi kapsamında üniversite öğrenci ve personellerinin çevresel ve sosyal olumsuz etkilerinin en düşük seviyeye indirilmesi teşvik edilmektedir [6].

Eko-kampüsler kampüs alanı ve bulunduğu bölgenin çevresel şartlarını anlamalı ve bu şartlara uygun çözümler bulmalıdır. Çevresel denetim ve çevresel saygı çerçevesinde elde ettiği ürünlerin dağıtımı, kaynak israfının azaltılması ve verimliliğin artırılması bir eko-kampüsün sorumlu olduğu alanlardır.

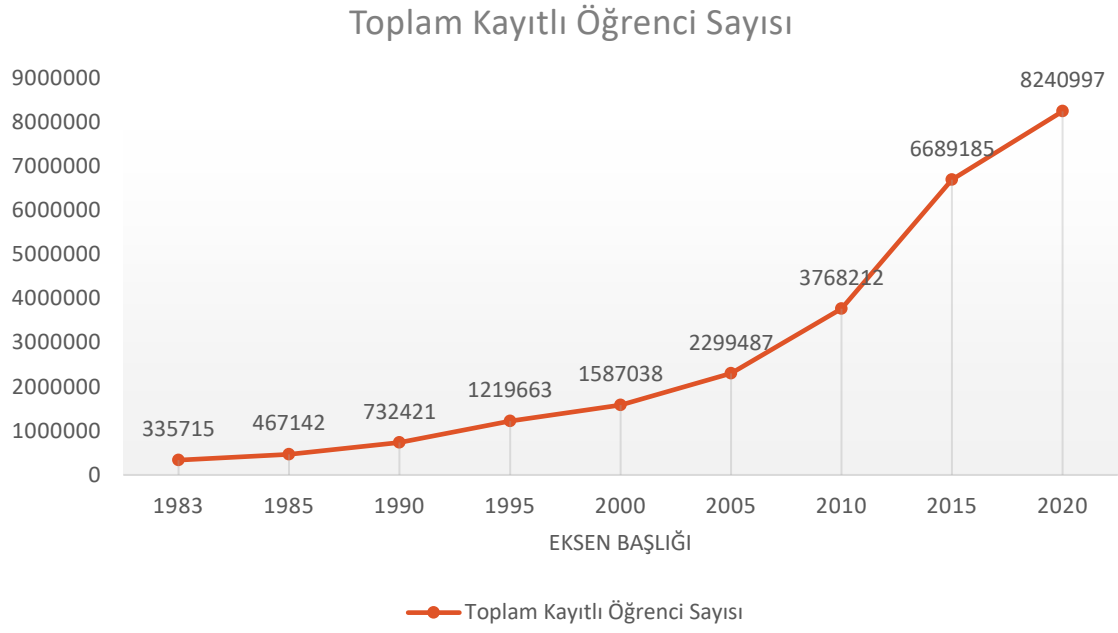
2.1. Üniversitelerin Ekolojik Değeri ve Eko-kampüsler

Bilimsel araştırma ve eğitim alanlarında dünyayı şekillendiren ve yön veren kurumlar olarak üniversiteler; küresel meseleleri ele alan, nesilleri geliştiren ve kuşaklararası bilgi aktarımını teşvik eden kilit mekânlardır. Sürdürülebilirlik, kentlerde olduğu kadar üniversitelerde de ekonomik, sosyal, politik, kültürel ve mekânsal yapılara tam anlamıyla entegre edilmesi gereken geniş kapsamlı bir konudur. Yenilikçi, sürdürülebilir ve ekolojik lider olma kapasiteleriyle üniversiteler kentlere katkı sunan özel mekânsal kompleks yapılar olarak değerlendirilmeli ve misyonu arttırılmalıdır. İklim değişikliğinin yaşandığı, atmosferin zararlı gazlarla kaplandığı, enerji kaynaklarının tükendiği bu dönemde ekolojik çalışmaların dolayısıyla eko-kampüslerin önemi her geçen gün artmaktadır.

Üniversiteler verdikleri eğitimle ve yetiştirdiği nesillerle kuşaklararası geliştirici eylemleri teşvik eden, toplumsal değişimi sağlayan, küresel olaylara yön veren özgün kurumlar olması yanında önemli mekânsal düzlemlerdir. Üniversiteler, yönetim yapısı, özerkliği, güvenliği ve hukuk sistemiyle şehirlere benzemektedir. ‘Mikro şehir’ modeli olarak sürdürülebilirliği ön planda tutan ve kampüs sınırlarında maksimum katılımını sağlayabilmek adına çalışmalar yapan, son yıllarda sayısı hızla artan üniversiteler (Şekil 2.1), profesörden işçilere kadar katmanlı bir topluma hizmet verdiği gibi konut, kamu, temizlik ve ulaşım hizmetine de sahiptirler. Her geçen gün artan öğrenci sayıları (Şekil 2.2) kampüs binalarının çok sayıda insanın hayatını etki etkilediğini göstermektedir. Bu yapıyla eko-kent oluşturmada da destek sağlayan üniversite kampüsleri; küçük ölçekli ekolojik bir kent modeli olan ekolojik kampüs yani ‘eko-kampüs’ oluşturma fikriyle son zamanların dikkat çekici konularından biri olmuştur.



Şekil 2.1. Yıllara göre üniversite sayıları [7]



Şekil 2.2. Yıllara göre üniversitelere kayıtlı öğrenci sayıları [7]

Çevre ile ilgili bir dizi proje ve programın gerçekleştiği eko-kampüsler, ekolojik çalışmaların ve ekolojik koruma ilkelerinin derin düşüncesinin sonuçları olduğu merkezlerdir [6]. Eko-kampüs yaklaşımı aslen çevresel hareketler oluşturmak için araç sağlayan küresel bir girişimdir.

Literatürde yeşil kampüs kavramını tanımlamak için yeşil kampüs, eko-şehircilik, yeşil şehircilik, yeşil bina ve yüksek performanslı yapılar kavramları eşzamanlı olarak kullanılmaktadır [8]. Yeşil kampüs modelinin tam anlamıyla uygulandığı bir model mevcut olmasa da ‘yeşillendirme’ kavramı üniversite paydaşlarının çevresel ve sosyal olumsuz etkilerinin en aza indirilmesini teşvik etmektedir [6]. Yeşil kampüsler ekolojiyi tahrip eden unsurların (enerji tüketimi, su tüketimi, atıklar, karbondioksit ve zehirli gazlar vb.) kontrolü ve çevre restorasyonu ile kampüs ve kent refahını yükseltmeye hizmet etmektedir. Bu nedenle yeşillendirme girişimleri, kampüs içerisinde belirli bir döngünün gerçekleştiği tüm sistemlerin çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerini göz önünde bulundurmalıdır. Bu girişimler kullanıcıların dahil edilmesiyle araştırma, eğitim, yönetim, iletişim ve gelişim gibi yapısal eylemlerin sürdürülebilir altyapıya entegre edildiği uygulama süreçleridir.

Eko-kampüsler yeşil binalar, yenilenebilir enerji kaynakları, enerji ve su verimliliği, atık yönetimi, düşük karbonlu sürdürülebilir ulaşım, sürdürülebilir toprak kullanımı, ekolojik bilinç ve çevre koruma eğitimi ile kent ve üniversite kullanıcıları arasında etkileşim sağlayan alanlardır. Kampüs alanı ve bulunduğu bölgenin çevresel anlamda incelenmesi, çevre denetimi, çevresel saygı ile ürün elde edilmesi ve ürün dağıtımı, kampüs kaynaklarında israfın azaltılması ve

verimliliğin üst düzeye çıkarılması bir eko-kampüsün sorumlu olduğu alanlardır. Bu açıdan bakıldığında ekolojik çalışmalar üniversitelerde günlük faaliyetlerin ayrılmaz bir parçasıdır.

Eko-kampüslerde tüm disiplinlerde, kurs ve eğitim faaliyetlerinde çevre bilgisi sağlama inisiyatifleriyle ekolojik kaygı taşıyan bireyler yetiştirmektedir. Yeşil kampüsler yetiştirdikleri insanlar ve uygulanan yeşil çalışmalar ile kente büyük oranda ekolojik altyapı sağlama potansiyeline sahiptir.

Düşük enerji tüketimli yeşil bina tasarımı mimarlar ve inşaat mühendisleri tarafından karşılaşılan zorluklardan biri olsa da [9,10] uygun altyapı, enerji verimliliğini üst düzeyde tutmak isteyen bir eko-kampüs için kilit noktadır [11]. Kampüs içindeki yapılarda enerji tasarrufu sağlanması çevresel sürdürülebilirliğe önemli oranda katkı sağlamaktadır. Bu sebeple eko-kampüslerde güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı tercih edilmeli ve fosil yakıt tüketimi azaltılmalıdır. Enerji verimliliği için çok sayıda önlem bulunmaktadır. Örneğin çatı ve duvar izolasyonu ile ısı konfor sağlanırken enerji tüketimi minimum seviyeye inmektedir. Aynı şekilde binanın yönelişi de enerji verimliliğinde etkilidir.

Doğa kendi içerisinde belirli döngülere sahiptir. Bunlardan biri geri dönüşüm sürecidir. Doğal kaynakların ve çevrenin korunumu için geri dönüşüm eylemi ana unsurdur. İnsanoğlunun doğal yaşamdan uzaklaşmasıyla birlikte artan kirlilik, yine insanoğlunun ürettiği yöntemlerle doğal döngüye katılabilmelidir. Bu nedenle eko-kampüsler bulunduğu ekosisteme saygı duyan bir yapıyla geri kazanıma önem vermektedir.

Eko-kampüs atık suların geri kazanımı, tekrar kullanımı ve yağmur suyunun toplanmasını destekleyen aktif su sistemine sahiptir. Bu kampüslerde su bilinçli kullanılmakta; su tasarrufu sağlayan musluklar, çamaşır makineleri gibi önlemler alınmaktadır.

Kampüslerin karşılaştıkları zorluklardan biri katı atık yönetimidir. Kampüsler büyük oranda atık üreten alanlardır [12]. Üretilen atıkların doğaya geri kazandırılması ile hammadde üretimi, gaz salınımı, toprağı işleme gerekliliğinin azaldığı ve dolaylı olarak enerji tüketiminin minimum seviyeye indiği bilinmektedir. Bu durum kampüslerde atık yönetiminin ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Eko-kampüslerdeki atık yönetimi, mikroorganizmalardan yararlanılarak biyokimyasal yöntemlerle ayrıştırılan atıkların, kompostlama yöntemi ile dönüşümünü sağlamaktadır. Bunun yanı sıra kimyasal maddelerin ve elektronik cihazların güvenli bir şekilde ortadan kaldırılmasını desteklemektedir. Atık yönetimine dâhil olan konulardan biri de kâğıt kullanımıdır. Üniversitelerde kâğıt kullanımı yaygındır. Yeşil üniversitelerde ise belge, fatura ve yazışmalar büyük oranda elektronik ortam yoluyla iletilmektedir. Bunların haricinde kalan atıkların kâğıt, plastik vb. ayrıştırılmasını sağlamak için geri dönüşüm kutuları yerleştirmek önem taşımaktadır [8].

Eko-kampüsler dağları, ormanları, nehirleri, bitkileri ve hayvanları koruyarak bulunduğu bölgeyle etkin bir etkileşim halindedir. Bulunduğu bölgenin ekolojik tahribatını önleyen eko-

kampüsler, ulusal veya bölgesel ağaç dikimlerinde aktif rol oynayarak hava kalitesinin artırılması ve kampüs içinde ağaçlandırma politikalarının geliştirilmesine zemin hazırlamaktadırlar.

İklim değışiklikleri ve küresel ısınmayı tetikleyen etkenlerden biri zehirli gazların atmosfere salınımıdır. Eko-kampüsler de çevre tahribatını önlemek için karbon salınımı azaltacak stratejiler geliştirmiştir. Yeşil ulaşım stratejisi için, kullanıcılar fosil yakıtlarla çalışan araçlar yerine elektrikli araç ve bisiklet gibi doğa dostu ulaşım yöntemlerine ya da toplu taşıma kullanımına teşvik edilmektedir. Bu durum aynı zamanda trafik kazalarını ve trafik sıkışıklıklarını, gürültüyü ve zaman kaybını da önlemektedir. Diğer yandan kampüs içerisindeki birey sirkülasyonunun da çevresel anlamda olumsuz etkiler taşıdığı bilinmektedir. Olumsuz etkilerin giderilmesi konusunda bilinç uyandırmak, üniversite yöneticilerini fosil yakıt aracı kullanımını azaltmaya yönelik, ücretsiz sürdürülebilir ulaşım (elektrikli araçlar, motorsuz ulaşım vb.) uygulamaya yönelik çalışmalar yapmaya teşvik edecektir [13]. Bu durum önemlidir çünkü eko-kampüsler sürdürülebilir ve etkin faaliyetlerin her daim farkında olması gereken bir yönetim yapısına ihtiyaç duymaktadırlar.

2.2. Üniversite Değerlendirmelerinde Ekoloji Ölçütü: GreenMetric

Üniversiteler disiplinler arası bilgi transferiyle öğrencilere bilgi, beceri, yetenek ve donanım kazandırır. Yetiştirdikleri iş gücüyle sosyo-ekonomik kalkınma açısından kent için büyük değer taşıyan bu kuruluşlar, küresel ekonominin ayrılmaz parçasıdır. Bu durum üniversiteleri çeşitli konularda sıralayan sistemler geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır. THE (Times Yükseköğretim Dünya Üniversiteler Sıralaması), QS Dünya Üniversiteler Sıralaması, SCImago Kurumlar Sıralaması (SIR), Şangay Sıralaması gibi sıralama programlarında akademik ve araştırma performans değerlendirmesi ön plandayken ekoloji ve sürdürülebilirlik ile ilgili konular geri planda kalmaktadır [14]. Fakat iklim değışikliğine ilişkin artan endişelerle birlikte, küçük ölçekli kent temsili olan üniversitelerde sürdürülebilir çalışmaların önemi fark edilmiş ve olumsuz etkileri azaltmak için üniversiteler çeşitli sürdürülebilirlik değerlendirmelerine dâhil olmuşlardır. Değerlendirme araçları sayesinde üniversiteler çevresel etkilerini, sürdürülebilirlik konusunda hangi seviyede olduklarını görebilme ve diğer üniversitelerle kendi eylemlerini kıyaslama olanağına sahip olmaktadır.

Üniversitelerin çevresel etkilerini ölçmek için İngiltere’de insan haklarını ve gezegeni korumak üzere çalışmalar yapan en büyük öğrenci ağı *people&planet*’in ilk sıralama tablosu *Green League 2007* ve *2009 Environmental and Social Responsibility Index* gibi endeksler geliştirilmiştir [15]. Ayrıca Ekolojik Ayak İzi, ISO, CSAF, STAUNCH gibi kampüs ve müfredatı değerlendirme endeksleri de bulunmaktadır [16].

Chicago, Harvard, Kopenhag gibi dünyadaki birçok saygın üniversite sürdürülebilir çalışmalar için adımlar atmış, üniversiteler arasındaki iş birliği ile *United States Green Report*

Card başlığı altında 300 üniversitede sürdürülebilirlik derecelendirilmesi yapılmıştır. Ancak bu sıralamalar harf dercesine göre verilmiş olup, yeterli sayıda katılım sağlanamamıştır. Beklenen başarı sağlanamayınca 2010 yılında Universitas Indonesia (UI) ‘UI GreenMetric’ adında küresel çapta binlerce üniversitenin desteğini alabilecek yeterliliğe sahip, çevresel sorunlarını ele alma biçimleri ve sürdürülebilirlik yaklaşımları ne olursa olsun aralarında hızlı karşılaştırmalar yapmaya olanak sağlayan, sayısal puana dayalı tek tip bir sistem olarak ‘yeşil’ üniversite sıralamasını geliştirmiştir.

2.2.1. GreenMetric

UI GreenMetric; Üniversiteler Sürdürülebilirlik Rapor Kartı, Holcim Sürdürülebilirlik Ödülleri, STARS, LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), GREENSHIP gibi sistemler ve Dünya Üniversiteleri Webometrics Sıralaması, Times Yükseköğretim Dünya Üniversiteler Sıralaması (THE), Dünya Üniversiteleri Akademik Sıralaması (ARWU), QS Dünya Üniversiteler Sıralaması, gibi akademik derecelendirme sistemleri dikkate alınarak geliştirilmiştir. Sistem, dünya üniversitelerine yapılan ücretsiz çevrimiçi anketler neticesinde bu üniversitelerin yeşil üniversite profiline ne denli yakın olduklarını ortaya koymayı hedeflemektedir. Başlangıçta katılımda dünyanın dört bir yanından 95 üniversite yer alırken, 2021 yılında bu sayı 956 üniversiteye yükselmiştir [17].

UI GreenMetric sıralaması katılımcı kampüsler için tanınırlık, sürdürülebilirliğe dair bilinci arttırma, sosyal gelişim ve ağ kurma gibi katkılar sağlamaktadır. UI GreenMetric, derecelendirme yaparken sürdürülebilirliğin üç elementini dikkate almaktadır: Sosyal, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik. Çevre, eşitlik ve ekonomi kavramları çerçevesinde yapılan kategoriler, sosyal etkilerde katılım, eğitim ve toplum, ekonomik etkilerde maliyeti düşürme ve kar oranını artırma, çevresel etkilerde kirliliğin önlenmesi, doğal kaynak kullanımı ve çevre yönetimini dikkate almaktadır. UI GreenMetric 6 kategori ve 51 göstergiyi temsil eden 10.000 toplam puan çerçevesinde değerlendirme yapmaktadır. 2021 yılında üniversitelerin sosyal, ekonomik, kültürel profillerini olumlu yönde geliştirmek ve Covid-19 pandemisine yönelik çalışmaları ilerletmek üzere puanlama sistemine dâhil olmayan 12 yeni soru eklenmiştir.

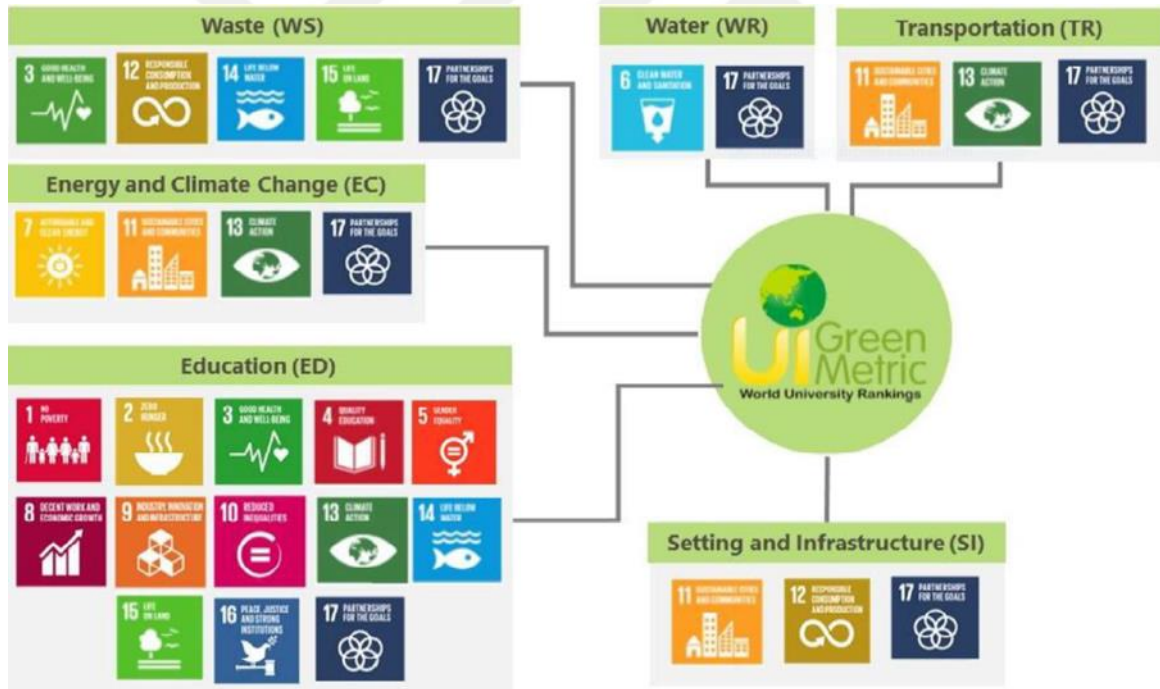
2.2.2. GreenMetric Amaç ve Hedefleri

GreenMetric sadece üniversite sürdürülebilirlik karşılaştırması yapmakla kalmamakta, aynı zamanda eğitimde sürdürülebilirlik ve eko-kampüs çalışmaları ile ilgili akademik tartışmalara katkı sağlamaktadır. Bu sıralama üniversitelerin sürdürülebilirlik liderleri olmasını ve sürdürülebilirlik bilincini topluma yaymasını sağlamayı hedeflemektedir. GreenMetric aynı zamanda küresel anlamda sürdürülebilirlik konusunda bilinç, öz farkındalık ve kıyas aracı olmak,

kampüslerin sürdürülebilirlik çalışmaları hakkındaki verileri toplamak, yönetimi, yerel kuruluşları ve halkı bu veriler hakkında bilgilendirmek gibi hedefler belirlemektedir. GreenMetric ile küresel sürdürülebilirlik sıralaması oluşturulurken üniversitelerde mevcut durum, kampüs yeşil alanı, bütçe, tür, amaç-görev, sürdürülebilirlik duyarlılığı, bağlılığı ve diğer pek çok açıdan çeşitliliğin araştırma yöntemleri geliştirilmesi açısından sorunlar çıkarabileceği dikkate alınmıştır [17].

2.2.3. GreenMetric Kriterleri, Göstergeleri ve Puanlama Sistemi

UI GreenMetric, uluslararası üniversiteleri 6 kategoride değerlendirmektedir (Şekil 2.3): ortam ve altyapı (%15), enerji ve iklim değişikliği (%21), atık (%18), su (%10), ulaşım (%18) ve eğitim (%18). GreenMetric değerlendirme sistemine geliştirildiği günden bu yana daha fazla gösterge eklenmiş ve veri geçerliliğini kontrol etmek adına doğrulama yöntemleri dâhil edilmiştir [18]. Tüm bunlara rağmen bazı çalışmalar, kategorileri ve göstergeleri diğer sistemlere kıyasla daha sade ve daha az deneysel bulmuş ve bu sıralamayı eleştirmiştir [16].



Şekil 2.3. GreenMetric sürdürülebilir gelişim hedefleri [17]

GreenMetric kategorilerinden *Ortam ve Altyapı* incelendiğinde açık alan, yeşil alan ve su emilim oranları ile sürdürülebilirlik çalışmalarına karşılık gelen puanlara yer verilmiştir. Yeşil altyapı çalışmaları ve çevresel korumaya aktif katılım bu kategori ile teşvik edilmektedir. Kategoriye uluslararası puanlama sisteminde %15'lik pay tayin edilmiştir.

Enerji ve İklim Değişikliği kategorisi kampüslerde enerji verimliliği, akıllı ve yeşil bina düzeyleri ve zararlı gaz oluşumunu engelleme becerileri hakkında bilgi almaya hedeflemektedir. Kategoriye uluslararası puanlama sisteminde %21’lik pay tayin edilmiştir. Bu, endeksteki en önemli gösterge olarak kabul edilir [14].

Atık kategorisi, atıkların farklı bölümlere ayrılması, işlenmesi ya da bertarafı ile atık yönetiminin ne derece sağlandığını tespit etmeyi sağlayan kategoridir. Kategoriye uluslararası puanlama sisteminde %18’lik pay tayin edilmiştir.

Su kategorisi kampüste su kullanımı hakkında bilgi toplayan ve su verimliliğine teşvik niteliğindeki kategoridir. Kategoriye uluslararası puanlama sisteminde %10’luk pay tayin edilmiştir.

Ulaşım kategorisi zararlı gaz oluşumunu engellemek adına yeşil ulaşma teşvik eden puanlama sistemine sahiptir. Üniversitelerin toplu taşıma oranı, yaya politikası gibi bilgileri toplamayı hedeflemektedir. Kampüsteki araç sayısını sınırlamaya teşvik eden ulaşım politikalarını değerlendirir. Kategoriye uluslararası puanlama sisteminde %18’lik pay tayin edilmiştir.

Eğitim ve araştırma kategorisi sürdürülebilirlik eğitimi, raporu, yayınları ve organizasyonlarını sorgulayarak toplumun sürdürülebilirlik bilincini ve üniversitelerin sürdürülebilir çalışmalarını değerlendirmektedir. Üniversitenin sürdürülebilirlik eğitimi konusundaki rolü tespit edilmek istenmektedir. Kategoriye uluslararası puanlama sisteminde %18’lik pay tayin edilmiştir.

2.3. İnönü Üniversitesi ve Eko-Kampüs Çalışmaları

Dünyadaki saygın üniversiteler gibi İnönü Üniversitesi de eko-kampüs çalışmalarının öneminin farkına varmış ve üniversite sürdürülebilirliğinin resmi olarak ilk adımlarını 2018 yılında Kalegöl’de düzenlenen 1. Sürdürülebilir Yeşil Kampüs Çalıştayı’nda atmıştır [19]. Çalıştay neticesinde bir sürdürülebilirlik raporu hazırlanmış, gelecek yıllar için üniversitenin sürdürülebilirlik hedefleri belirlemiştir. Kurulduğu yıldan itibaren yeşil bir politika izleyen İnönü Üniversitesi eko-kampüs olma fikriyle enerji verimliliği, eğitim, ulaşım, atık ve su yönetimi gibi konularda da ciddi adımlar atmaya başlamıştır.

2.3.1. İnönü Üniversitesi Tarihçesi

İnönü Üniversitesi 3 Nisan 1975 tarihinde Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren 1872 sayılı ‘İnönü Üniversitesi Kanunu’ ile kurulmuş bir devlet üniversitedir. 2021 yılında yayımlanan faaliyet raporuna göre İnönü Üniversitesi 2021 yılında 8.828 öğrenci ile bugüne kadar 150.000’in üzerinde mezun vermiştir. İnönü Üniversitesi, 14 Fakülte, 4 meslek

yüksekokulu, 1 devlet konservatuarı, 2 yüksekokul, 6 enstitü, 1 teknokent, Turgut Özal Tıp Merkezi (TÖTM)'nin de aralarında bulunduğu 31 araştırma ve uygulama merkeziyle 2021 yılında yaklaşık 35.036 öğrenciye eğitim ve öğretim hizmeti vermektedir. Üniversitede 1639 akademik personel, 1631 memur ve diğer personellerle birlikte toplam 6047 çalışan bulunmaktadır [20].

İnönü Üniversitesi Merkez Kampüsünde, 2.500 kişilik bir Devlet Kız Yurdu ve 805 kişilik Özel Kız ve Erkek Öğrenci yurtlarıyla, toplam 3.300 öğrencinin barınma ihtiyacı karşılanmaktadır. Ayrıca 2018 yılında merkez kampüse yakın mesafede Kredi Yurtlar Kurumu'na bağlı 1500 erkek ve 3500 kız kapasiteli öğrenci yurdu hizmete girmiştir [21]. Şehir merkezinde ise özel sektöre ve kamuya ait çok sayıda öğrenci yurdu bulunmaktadır. Bunların yanı sıra İnönü Üniversitesi 250 lojman ve 14 Bloklı Toplu konutuyla yaklaşık 4000 kişilik ikamet alanına sahiptir. Ayrıca akademik ve idari misafirlerin ağırlandığı 39 kişi kapasiteli üniversite konukevi, 68 odalı hastane oteli ve 200 yataklı hasta ve yakınları konukevi bulunmaktadır [22].

Üniversitenin merkez yerleşkesi Battalgazi ilçesine bağlı, şehir merkezine 10 km mesafede, 6.327.388 m² alan üzerine kurulmuştur. Merkez kampüste kapalı alan toplam 590.790,60 m², kampüsteki açık alan ise 5.736.627,4 m²'dir [23]. Ayrıca Yeşilyurt ilçesine bağlı Malatya 2. Organize Sanayi Bölgesi'nde, üniversiteye tahsis edilen 30.080,00 m² alan üzerinde bulunan, Malatya Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Meslek Yüksekokulu ve şehir merkezinde 24.845 m² alan üzerinde bulunan Malatya Meslek Yüksekokulu kampüsleri bulunmaktadır [21]. Çok amaçlı kültür salonları, sosyal tesisleri, spor ve rekreasyon alanlarına sahip olan üniversite engellilere yönelik eğitim ve uygulama merkezleri ile 'Engelsiz Kampüs' anlayışına sahiptir. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, İnönü Üniversitesi kampüsü çevre yolu üzerinde yer aldığından şehir içinden ve şehir dışından erişim kolaylığı sağlanmaktadır [24].



Şekil 2.4. İnönü Üniversitesi kampüs yerleşimi [25]

2.3.2. İnönü Üniversitesinin Eko-kampüs Çalışmaları

İnönü Üniversitesi resmi olarak sürdürülebilirliğin ilk adımlarını 2018 yılında Kalegöl’de düzenlenen 1. Sürdürülebilir Yeşil Kampüs Çalıştayı’nda atmıştır. 1. Sürdürülebilir Yeşil Kampüs Çalıştayı’nda GreenMetric ölçütlerini dikkate alarak birtakım kararlar alınmış ve sürdürülebilirlik raporu düzenlemiştir [19]. Bu raporda GreenMetric ölçütlerine göre İnönü Üniversitesi çalışmaları, Yapı ve Altyapı, Enerji ve İklim Değişikliği, Atıklar, Su, Ulaşım ve Eğitim başlıkları altında toplam 6 kategoride değerlendirilmiştir.

İnönü Üniversitesi Yapı ve Altyapı kategorisi bağlamında incelendiğinde, üniversitenin yarı kurak bir iklimde konumlandığı görülmektedir [26]. Buna rağmen Türkiye’deki mevcut üniversiteler arasında, en yeşil kampüse sahip üniversitelerden biri İnönü Üniversitesi’dir [27]. Bu durum Şekil 2.5, Şekil 2.6. ve Şekil 2.7’de görüldüğü gibi, ağaçların sonradan yetiştirildiği, ormanlık alanların sonradan oluşturulduğunu göstermektedir.



Şekil 2.7. İnönü Üniversitesi [28]

İnönü Üniversitesi altyapı çalışmaları bağlamında zeminlerde su emen yüzeyler kullanmayı tercih etmiştir [19]. Böylelikle hem su döngüsünde toprak aktif bir şekilde kullanılmış hem de betonlaşmanın önüne geçilmesi sağlanmıştır.

Dünya Sağlık örgütü kentte kişi başına düşen yeşil alanın en az 9 m² olması gerektiğini, 10 ile 15 m² alanın ise ideal olduğunu belirtmiştir [29]. Gelişmiş ülkelerde kişi başına düşen yeşil alan ortalama 20 m² civarında seyrederken İnönü Üniversitesinde ise kişi başına ortalama 155 m² açık-yeşil alan düşmektedir [19]. Üniversite'nin kente sunduğu bu değer, bölgenin ekolojik yapısının korunmasına ve güçlenmesine olanak sağlamaktadır. Üniversite, ekolojik zenginlikleriyle kendi prestijini artırdığı ölçüde kentin prestijine de artırmaktadır.

GreenMetric puanlamalarında %21 değere sahip olan Enerji ve İklim Değişikliği kategorisine bakıldığında, çevresel sorunlara çözüm bulma arayışı ile İnönü Üniversitesinin de üzerine yoğun çalışmalar yaptığı bir alan olduğu görülmektedir. İnönü Üniversitesi, bünyesinde bulunan TÖTM, 2019 yılında açılan Karaciğer Nakil Hastanesi ve 2020 yılında açılışı yapılan Onkoloji Hastanesi ile birlikte çok fazla enerji tüketmektedir. Artan enerji tüketimi ihtiyacı İnönü Üniversitesinde enerji verimliliği adına yeni çalışmalar yapılmasını teşvik etmiştir.

İnönü Üniversitesi 2019 yılında “Elektrik Enerjisi Altyapısı Kontrol-Otomasyon İzleme Sisteminin Kurulması ve Yüksek Gerilim Modernizasyonu Yapım İşİ” ihalesini yapmış ve yapım işi 2020 yılında tamamlanmıştır [30]. Bu sistem ile enerji yönetimi ve enerji verimliliği

kapsamında, elektrik enerjisinin kalitesi artırılmış ve elektrik enerjisindeki kayıplar önlenmiştir. Böylece elektrik enerjisi kontrol edilebilir ve izlenebilir hale gelmiştir. Üniversitede mevcut gaz, elektrik ve su dağıtım sistemlerindeki uyum problemlerini düzeltmek, enerji altyapısını iyileştirmek, trafo merkezlerinin uyum içinde çalışmasını sağlamak (röle selektivitesi), yüksek gerilim altyapısını projelendirmek, su kullanımında verim sağlamak, motorların gereksiz çalışmasını engellemek tümüyle bu sistem tarafından sağlanmaktadır [23].

Enerji ve İklim Kategorisi'nin göstergelerinden biri Yeşil Bina uygulamalarıdır. İnsanlar gibi yapılar ve binalar da çevre üzerinde bir etkiye sahiptirler. Öyle ki yeryüzündeki odun tüketiminin 1/4'üne, malzeme ve enerji tüketiminin 2/5 ine, tatlı su tüketiminin 1/6'sına binalar sebep olmaktadır [31]. Bu durum yeşil bina kavramının ortaya çıkarmış ve yeşil binaların çevresel performansını iyileştirmek amacıyla ABD Yeşil Bina Konseyi USGBC, LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) yeşil bina değerlendirme sistemini geliştirmiştir [32].

Bu perspektifle üniversitelerde yeşil bina uygulamaları da değer kazanmış ve UI GreenMetric göstergelerinden biri yeşil bina uygulamaları olmuştur. İnönü Üniversitesinin yeşil bina uygulamalarını GreenMetric doğrultusunda incelediğimizde, yapımı 2019 yılı içerisinde tamamlanan Yaşam Merkezi binasında Gold LEED Sertifikası, Malatya OSB Meslek Yüksekokulu Kampüsü'nde ise Silver LEED Sertifikası almak adına binalarda çeşitli donanımlar yapılmıştır. Bu doğrultuda her iki binada da enerji izleme ve mekanik otomasyon sistemi ile enerji daha verimli kullanılmaktadır. Enerji verimliliğini daha fazla artırmak üzere, güneş enerjisi, Yaşam Merkezi'nde fotovoltaik 20 kW gücünde, Malatya OSB Meslek Yüksekokulu'nda ise fotovoltaik 30 kW gücünde piller ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Solar Wall ile kışın klima santrallerinde kullanmak istenilen soğuk havaya, güneş enerjisi aracılığıyla ön ısıtma yapılmakta ve böylelikle enerji maliyetlerinde düşüş görülmektedir. Ayrıca binalar, sahip olduğu yüksek verimli mekanik ve elektrikli cihazlar ile (duvar tipi yoğunmalı kazanlar, soğutma grubu, sirkülasyon pompaları, klima santralleri, aydınlatma ürünleri gibi) ciddi bir enerji tasarrufu sağlamaktadırlar [23].

Yaşam merkezi ve OSB Meslek Yüksek Okulu'nda yağmur suyunun depoda toplanıp çevre sulamada kullanılmasının yanı sıra, peyzajda düşük miktarda su ihtiyacına sahip bitkiler kullanarak su tasarrufu yapılmaktadır. Bitkilendirme, bina çevrelerinin yeşillendirilmesinde etkilidir. Ayrıca her iki binada da yeşil ulaşım katkı sağlamak adına elektrikli otomobiller için çift çıkışlı şarj istasyonu bulunmaktadır [23].

GreenMetric Enerji ve İklim Değişikliği kategorisi göstergelerinden yenilenebilir enerji başlığında bağlamında üniversitenin attığı en büyük adım, 2013 yılında kurulmasına karar verilen ve 1 Şubat 2015 yılında hizmete başlayan Güneş Enerjisi Santrali (GES)'dir. TÖTM'e bağlı santral aynı yıl 5.3 MWp kurulu gücü [27] ile kurulduğu dönemde Türkiye'deki en büyük güneş

santrali olarak, Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı (ICCI) ‘‘Güneş’’ dalında büyük ödüle sahip olmuştur. Santral, kampüsün güneyinde, tarım arazisi olmayan bir arazinin üzerine kurulmuştur. Şekil 2.8.’de görüldüğü üzere 120 dönüm arazinin üzerine, arazinin doğal yapısına entegre haldedir. 120 dönüm arazinin 90 dönümünde paneller ve güneş enerji santralinin gerektirdiği yapılar bulunmakta, 30 dönümünde ise herhangi bir doğal yapıya zarar vermemek adına arazinin doğal yapısı, dere yatakları ve su drenaj hatları korunmaktadır [33].



Şekil 2.8. İnönü Üniversitesi güneş enerjisi santrali [25]

2019 Faaliyet Raporu [23] verilerine göre, santralin yapımına 15.998.500,00 TL ihale bedeliyle başlanmış olup, bugüne kadar 33.470.000 kWh elektrik üretilmiştir.

Bu santralde üretilen elektrik enerjisi toplam elektrik ihtiyacını 1/4 oranında karşılayabilmektedir. Santral, hesaplanan verilere göre 2315 konutun günlük enerji ihtiyacını ya da 2203 kişinin günlük elektrik ihtiyacı olan 7.293.576 kWh elektrik tüketimini karşılayabilmektedir [19].

TÖTM yıllık kullanılan elektriğin yaklaşık %22’sini [22,26] tüketmektedir. Bunun yanı sıra Karaciğer Nakil Hastanesi ve Onkoloji Hastanesi’nin de açılmış olmasıyla elektrik tüketiminde ciddi artış yaşanmıştır. Üniversitedeki elektrik ihtiyacı ise Güneş Enerji Santrali’ne ek yeni fotovoltaik tesisler yapılması yönünde planlar oluşturmaya teşvik etmiştir. Güneş Santrali’ne sınır arazinin geniş ve uygun olması, santral alanındaki elektrik alt yapıya ait bina ve tesisatların kapasitelerinin yeterliliği, Turgut Özal Tıp Merkezi ve santral arasındaki 10 MW elektriksel gücü ileten 2200 metre [32] enerji nakil hattının mevcudiyeti ile var olan santrale ek olarak 4.7 MWp elektriksel güce kadar GES kurulması planlanmaktadır. Ayrıca GES sistemleri,

25 yıllık garanti süresi ve 40 yıllık ekonomik ömürleri ile uzun yıllar çalışabilmekte ve elektrik fiyatlarındaki yükselişlerden en düşük oranda etkilenmektedirler. GES'ler yıllık doğal gaz kullanım tasarrufu ile 4000 ton daha az karbon salınımı yapılmasını sağlamaktadır [23].

İnönü Üniversitesi merkez kampüsünde bulunan GES'in senelik elektrik üretim beklentisi 8.200.000 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır [23]. Santral hava şartlarına göre farklı miktarda üretim yapmaktadır. Özellikle yaz mevsiminde gün içinde anlık elektrik talebi 7,5-8,2 MW arasında değişmekteyken, elektrik üretimi aynı dönemde şartlar uygun olduğunda anlık 4-4,5 MW değerdedir. GES kapsamında toplam 57.367.900 kWh elektrik üretimi yapılmıştır [20].

İnönü Üniversitesi Rektörü Ahmet Kızılay, santralin 22.000.300 TL'ye mal olduğunu, fakat 7-8 yıl içerisinde toplam maliyeti amorti edebileceğini aktarmıştır [33]. Santral üniversiteye 17.380.737,00 TL kazandırmıştır. Santralin geçen süre içerisindeki üretim değerleri [20]:

2015 yılı- 8.200.144 kWh /yıl 2.186.826,00 TL/yıl

2016 yılı- 8.880.875 kWh/yıl 3.339.185,00 TL/yıl

2017 yılı- 8.463.402 kWh/yıl 2.966.583,00 TL/yıl

2018 yılı- 7.925.000 kWh/yıl 3.730.143,00 TL/yıl

2019 yılı- 7.814.250 kWh/yıl 4.974.781,00 TL/yıl

2020 yılı- 7.866.329 kWh/yıl 5.674.782,00 TL/yıl

2021 yılı- 8.217.900 kWh/yıl 7.817.807,00 TL/yıl'dır. Bu veriler santralin artarak kâr getirdiğini göstermektedir.

Kampüs içindeki santral, çevre aydınlatmasıyla aydınlatılıp tel örgü ile tamamen çevrilmiştir. Santral SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemi ile 24 saat uzaktan izlenebilmekte, olası bir arıza durumunda kısa sürede müdahale edilebilmektedir. Ayrıca santral kapsamlı topraklama sistemi ile 8 adet paratoner tesisatına sahiptir. Trafo ve idari binada ise yangın algılama ve otomatik yangın söndürme sistemi bulunmaktadır. GES statik bir yapıya sahip olması ile bakım ve personel masrafları açısından diğer santral türlerine göre oldukça avantajlıdır [23].

Enerji verimliliği başlığı altında üniversite merkezi ısıtma santraline bakıldığında, yıllık ortalama 33.000.000 kWh doğalgaz tüketimi olduğu görülmektedir. Bu değer ise ısıtma için kullanılan toplam enerji miktarının yaklaşık %75'idir [19].

2020 yılında İnönü Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı bünyesinde, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı kapsamında, Enerji Yönetimi ve Verimliliği Birimi oluşturulmuştur (Şekil 2.9). Aynı yıl, bu söz konusu birim öncülüğünde YEVEDS (Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Destekleme Programı)'e başvurulmuş ve İnönü Üniversitesi sıralamada 97 puan ile Türkiye 1.'si olmuştur [34].

İnönü Üniversitesi

Enerji Verimliliği ve Su Yönetimi

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı kapsamında Üniversitemizin Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı bünyesinde Enerji Yönetimi ve Verimliliği Birimi 2020 yılında oluşturulmuştur.



1. Üniversitemizin 2020 yılındaki enerji verimliliği projeleri, YEVEDES (Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Destekleme Programı) Sıralamasında **97 puanla Türkiye 1.si** oldu.
- Üniversitemizde Sıfır Atık Projesi kapsamında Elektronik Atık Yönetim Sistemi kullanılmaktadır.
- Kampüs içerisindeki binalara dış cephe izolasyonu yapılarak doğalgaz tüketimi azaltılmış ve enerji tasarrufuna gidilmiştir.
- Malatya OSB MYO'da fotovoltaik 30 KW, Yaşam Merkezi binamızda ise fotovoltaik 20 KW gücünde piller ile güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmekteyiz.
- Malatya OSB MYO ve Yaşam Merkezi binalarımızda elektrikli otomobiller için çift çıkışlı şarj istasyonu bulunmaktadır.
- Üniversitemizin 7 adet içme su kuyusu ve deposu, kontrol ve izleme otomasyonu ile kontrol edilmektedir.
- Su tüketiminin tamamen öz kaynaklarımızdan karşılanmasıyla, su faturalarından yıllık yaklaşık 4.000.000 TL tutarında tasarruf elde edilmiştir.
- SCADA sayesinde su kuyuları ve depolarında bulunan motorların çalışma sürelerinde % 69 oranında tasarruf yapılmıştır. Bu da elektrik tüketiminde % 63 oranında ve yıllık yaklaşık 800.000 TL tutarında tasarrufun elde edilmesini sağlamıştır.
- Su üretiminde % 67 oranında tasarruf yapılmıştır. Su varlığımız ve potansiyelimiz verileştirilmiştir.
- Dış Hekimliği, Tıp, Eczacılık, Sağlık Bilimleri Fakülteleri ile Tıp Lojmanlarında kullanılan çevre sulama suyu ve Eczacılık, Sağlık Bilimleri, Dış Hekimliği Fakülteleri ile Turgut Özal Tıp Merkezimizin içme suyu öz kaynaklardan karşılanmaya başlanmıştır.
- Temel seviye sıfır atık belgesi alındı

www.inonu.edu.tr

Twitter: /universitemonu Instagram: /inonuedu Facebook: /inonuuniversity LinkedIn: /inonuuniversitesi

Şekil 2.9. İnönü Üniversitesi enerji verimliliği ve su yönetimi [35]

İnönü Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Ahmet Kızılay'ın Twitter üzerinden yayınladığı Şekil 2.9'daki verilere göre enerji verimliliği ve su yönetimi kapsamında yıllık ortalama 4.800.000 TL'lik tasarruf yapıldığı öğrenildi [35]. Bu kapsamda fakülte binalarının doğal ışıklandırma ve doğal havalandırmaya uygun olması enerji verimliliği sağlarken, üniversite kampüsü içerisindeki

yapıların dış cephe izolasyonunun tamamlanması doğalgaz tüketimini azaltılmıştır. Aynı zamanda enerji verimliliğini sağlamak adına giriş kapıları fotoselli olarak seçilmiş, aydınlatmada led ışıklar kullanılmıştır [19].

GreenMetric sıralamasının Atıklar kategorisi bağlamında yapılan çalışmalardan biri İnönü Üniversitesine bağlı TÖTM'in, 2020 yılında, Şekil 2.10'da gösterilen temel seviye sıfır atık belgesini almış olmasıdır [34]. Üniversite, Sıfır Atık Projesi kapsamında elektronik atıkları dönüştürmek üzere Elektronik Atık Yönetimi sistemi kullanmaktadır [35]. İnönü Üniversitesi etkin bir katı atık yönetimi için ise Malatya Büyükşehir Belediyesi ile önemli anlaşmalar yapmıştır. Yapılan anlaşmalar neticesinde günlük atık minimum %80 oranında geri dönüşüme kazandırılmaktadır [19]. Üniversiteye ait kanalizasyon suları Malatya Büyükşehir Belediyesi tarafından arıtılmakta olup, arı su tarımsal faaliyetlerde kullanılmaktadır.

Üniversite atıklarının geri dönüşümü ve inorganik atıkların işlenmesi için, üniversitenin TÖTM, Onkoloji ve Karaciğer Nakil Hastaneleri de dâhil olmak üzere tüm binalarında, atıkları fonksiyonel olarak ayırmaya yardım eden geri dönüşüm kutuları bulunmaktadır. Bu kutular belediyeler aracılığıyla toplanmakta, toplanan atıklar geri dönüşüm tesislerinde tekrar doğaya kazandırılmaktadır.



T.C.
MALATYA VALİLİĞİ
Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü



Belge No: TS/44/B2/7/1

Tarih: 10/11/2020

SIFIR ATIK BELGESİ (Temel Seviye)

Adı : İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ TURGUT ÖZAL TIP MERKEZİ (ARAŞTIRMA VE UYGULAMA
HASTANESİ)
Adresi : MALATYA,BULGURLU Mahallesi, BİLEN SOKAK, No: 5-, BATTALGAZİ,Türkiye
Vergi
No : 4780080386

12/07/2019 tarihli ve 30829 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Sıfır Atık Yönetmeliği'nce Sıfır Atık Yönetim Sistemi'ni kurarak Sıfır Atık Belgesi'ni almaya hak kazanmıştır.

Belge Son Geçerlilik Tarihi: 10/11/2025

e-imzalıdır

Fikret ONHAN
Çevre ve Şehircilik İl
Müdürü

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/cevre-ve-sehircilik-il-bakanligi/belge-doğrulama> Kodu: QP8T5NVK

Bu belge, 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununa göre Güvenli Elektronik İmza ile imzalanmıştır.
Evrak sorgulaması https://ebys.inonu.edu.tr/enVision/Validate_Doc.aspx?V=BEL9K36LV adresinden yapılabilir. (PIN:71412)

Şekil 2.10. Turgut Özal Tıp Merkezi sıfır atık belgesi [36]

İnsan yaşam döngüsü içinde, hücre seviyesinde başlayan organik atık oluşumu zararsız etkilere sahipken, bireyin tüketim davranışıyla meydana gelen atıklar, inorganik ve tehlikeli atık maddelerin ortaya çıkmasıyla sonuçlanmaktadır. Akıl ve sağlam bir bilinçle yapılan her davranış

bir sorumluluk getirmektedir. Bu açıdan bakıldığında bireyin davranışlarının etkileriyle yüzleşmesi, farkındalık seviyesinin artırılması çok önemlidir. İnönü Üniversitesi de bu perspektifle, kampüste içerisinde, plastik kullanımını azaltmayı ve farkındalık oluşturmaya hedefleyen etkinlikler düzenlemektedir.

Üniversitelerde tüketimin en yaygın sonucu olarak ortaya çıkan atık maddelerden biri de kuşkusuz kâğıtlardır. İnönü Üniversitesinde kâğıt kullanımını azaltmak için EBYS (Elektronik Belge Yönetim Sistemi) kullanılmaktadır. EBYS ile yazışmalar elektronik ortamda yapılmakta, böylelikle elektronik arşivlemeyle zaman kaybı önlenmekte ve aynı zamanda kâğıt israfı %70 oranında [19]. Azalış göstermektedir. İnönü Üniversitesi aynı amaçla, yapmakta olduğu akademik ve idari tüm faaliyetleri elektronik servislerden tanımlamakta, idari personellere, akademisyenlere ve öğrencilere e-hizmet sağlamaktadır.

İnönü Üniversitesi Uzaktan Eğitim Merkezi (İNÜZEM) ile, Atatürk İlke ve İlkeleri Tarihi, Türk Dili, yabancı dil gibi ortak alınan derslere, öğrenciler için internet üzerinden erişim sağlamıştır. Böylelikle birey sirkülasyonu ve beraberinde karbon salınımını azaltmayı hedeflemektedir.

İnönü Üniversitesi bünyesinde bulunan TÖTM, Karaciğer Nakil ve Onkoloji Hastaneleri, bir diğer program olarak tıbbi atıkların dönüştürülmesini gündeme getirmiştir. Hastanelerde sıfır atık uygulaması teknik olarak mümkün olmasa da atık yönetimi oldukça kritiktir. Bu nedenle İnönü Üniversitesi ve Malatya Büyükşehir Belediyesi arasında bir protokol düzenlenmiştir. Anlaşmaya göre TÖTM'in ürettiği tıbbi atıklar, belediyenin kurmuş olduğu tesislere aktarılmaktadır. Bu durum toplum sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır.

Su kategorisi için yapılan çalışmalar incelendiğinde, İnönü Üniversitesinin su ihtiyacını kuyu suyu ve şebeke suyundan karşıladığı görülmektedir. Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı'nın yayınladığı 2021 Yılı Faaliyet Raporu [20]'na göre; üniversitenin 2021 yılı içerisinde su yönetimi alanında yapmış olduğu çalışmalar ile, Tıp Fakültesi, Tıp Lojmanları, Diş Hekimliği Fakültesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Eczacılık Fakültesi'nde kullanılan çevre sulama suyunun yanı sıra Diş Hekimliği Fakültesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Eczacılık Fakültesi ve TÖTM'de içme suyu öz kaynaklardan (7 su kuyusu) karşılanmaya başlanmıştır. Bu durum şehir şebekesinden çevre sulama için kullanılan sudan %96 oranında tasarruf edilmesini sağlamıştır. Yapılan bu tasarruf ile su faturalarında 2.314.417,26 TL kâr edildiği gözlenmiştir. Diş Hekimliği Fakültesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Eczacılık Fakültesi ve TÖTM binalarının bulunduğu Sağlık Kampüsü'nde içme suyunun öz kaynaklardan kullanılması ile ise 6.667.650,00 TL tutarında kâr edilmiştir [20].

İnönü Üniversitesi 2019 yılında su üretiminde %67 oranında tasarruf etmiştir. Üniversitede suyun daha verimli kullanılması ve su ihtiyacının daha etkin karşılanması adına akıllı sistemler kullanılmaktadır. Kontrol ve izleme merkezi SCADA sistemi sayesinde su depoları ve su kuyularındaki motorların çalışma sürelerinde %51 oranında azalışa gidilmiş, motor çalışma

sürelerindeki azalış ise elektrik tüketimine %47 oranında tasarruf ile yansımıştır. Yapılan bu tasarruf 651.613,57 TL tutarında kâr elde edilmesini sağlamıştır [20].

Ulaşım kategorisi bağlamında yeşil ulaşımı sağlamak ve karbon salınımını azaltmak hedeflenmiştir. Bu bağlamda İnönü Üniversitesi merkez kampüsünde çoğu binaya doğrudan ulaşımı sağlayan ve ulaşımı kolaylaştıran, araç trafiğine kapalı bir yaya yolu bulunmaktadır. Pembe yol diye adlandırılan bu yol etkin bir şekilde aydınlatılmaktadır. Şekil 2.11’de gösterildiği gibi, üniversitede araç yolları, yaya yolları ve bisiklet yolları birbirinden bağımsız olmakla birlikte kolay bağlantı kurulabilecek şekilde kurgulanmıştır.



Şekil 2.11. İnönü Üniversitesi pembe yol ve bağlantı yolları [37]

İnönü Üniversitesi merkez kampüsünde gün içerisinde yaklaşık 2500 araç giriş-çıkışı olduğu görülmektedir. Bu sayı bir üniversitenin araç sirkülasyonu için oldukça yüksek bir değerdir. Fakat bu durum üniversitenin alternatif ulaşım sistemlerinin bulunması ve yerleşkenin şehre 10 km mesafede konumlanmasıyla açıklanabilmektedir [19]. İnönü Üniversitesi kampüsteki araç sirkülasyonunu azaltmak için tüm personellere ücretsiz servis imkânı sunmaktadır. Diğer yandan toplu taşımının şehir içi ulaşım alternatiflerinden biri olarak trambüsler, 0 emisyon araçlara sahiptir. Trambüsler, Malatya için önemli bir arter olan Çevre Yolu (D-300)-Merkez

Kampüs arasındaki güzergâhlarıyla personel ve öğrencilerin şehir merkeziyle bağlantı kurmasını kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda trambüslerin kampüs etrafında dolaşması, bireyleri toplu taşımaya yönlendirmek adına etkili bir yöntem olmaktadır.

İnönü Üniversitesi kampüsünde, engelsiz kampüs, engelsiz ulaşım çalışmaları kapsamında, engelli öğrenci ve personellerin kullanabileceği elektrikli engelli araçlar bulunmaktadır. Bu araçlar 7/24 engellilerin hizmetine sunulmuştur.

2018 yılında, dünyanın önde gelen üniversitelerinde olduğu gibi İnönü Üniversitesinde de 3,5 km uzunluğundaki güvenli bisiklet yollarına ilaveten [20] yeni bisiklet yolları açılmış ve paylaşımlı bisiklet hizmeti verilmeye başlanmıştır. Çevreye olan minimum etkisi, hareket etme açısından sağlığa faydası ve ekonomik yararları düşünüldüğünde, bisiklet kullanımı yeşil ulaşım için oldukça önemlidir. Üniversite, sürdürülebilirlik hedeflerini sağlamak ve bisiklet kullanımına teşvik etme adına çeşitli farkındalık çalışmaları yapmakta ve sosyal aktivitelerle desteklemektedir.

Eğitim İnönü Üniversitesinde akademik kurullar tarafından, sürdürülebilirlik eğitimi sağlayabilmek için müfredat düzenlemeleri yapılmamış olup sürdürülebilirlik dersi verilmemektedir. Bu durum neticesinde kaynak kullanımı, verimlilik gibi konularla birlikte sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyuttaki etkileri aktarılamamaktadır. Akademide sürdürülebilirlik bağlamında farklı disiplinlerin yapmış olduğu ortak çalışmalara henüz rastlanılmamaktadır. Bu konuda bir merkezin olmadığı gibi farklı sürdürülebilirlik projeleri, BAP (Bilimsel Araştırma Projeleri) tarafından desteklenmemektedir.

Bu perspektifle, Şekil 2.12’de görüldüğü gibi 2021 yılında yapılan UI GreenMetric anketine başvuran İnönü Üniversitesi, değerlendirme sonucunda *Yapı ve Altyapı* kategorisinde 1075, *Enerji ve İklim Değişikliği* kategorisinde 1350, *Atık* kategorisinde 750, *Su* kategorisinde 750, *Ulaşım* kategorisinde 1350, *Eğitim ve Araştırma* kategorisinde 1325 puan alarak toplamda 6600 puanla Türkiye’de 71 üniversite arasından 19, dünyada 956 üniversite arasından 310. sırayı almıştır [38].



Şekil 2.12. İnönü Üniversitesi UI GreenMetric 2021 katılım sertifikası [39]

İnönü Üniversitesi aynı zamanda International Achievements Research Center'in (IARC) yılın üniversitesini seçtiği değerlendirmede '2021 Yılı'nın Üniversitesi' seçildi [40].

3. MEVCUT BİNALARIN ENERJİ ETKİN YENİLENMESİ VE ISIL KONFOR

1980’lerden itibaren yaşanan iklim değışikliği, çevresel koşullar ve gelişmekte olan teknoloji ile birlikte enerji kavramı dünya gündeminde önemli bir yere sahip olmuştur. Çevresel problemler hakkında artan endişeler ‘enerji etkinliği, enerji korunumu, enerji verimliliği’ kavramlarını literatüre kazandırmıştır. Böylelikle yenilenebilen ve çevreyi kirlilemeyen alternatif enerji kaynaklarına yönelik araştırmalar yaygınlaşmıştır.

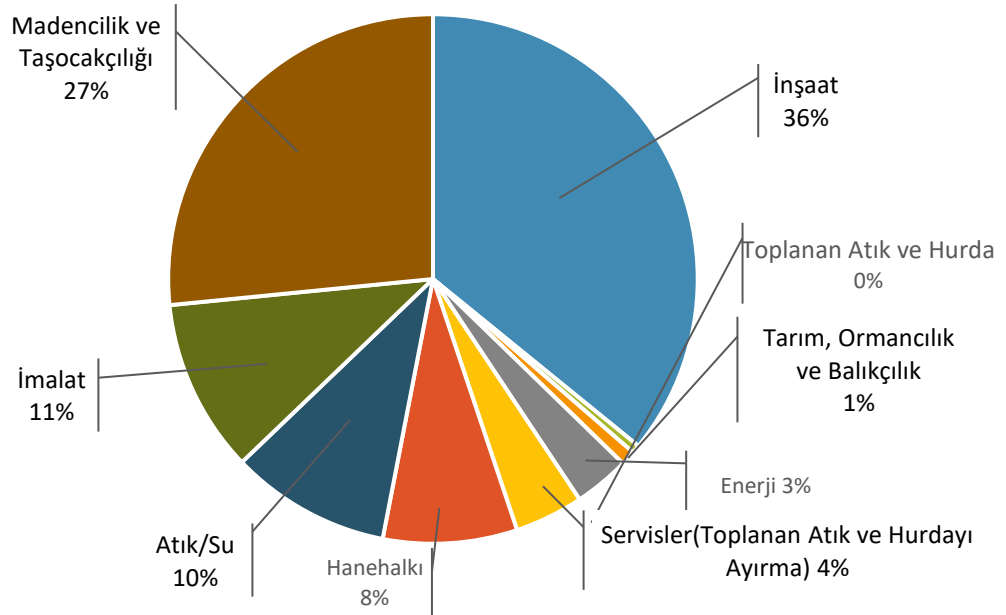
Enerji verimliliği, enerji tüketimindeki artışı yönetme ve gerektiğinde sınırlandırma yöntemidir. Kavram bütün disiplinlerde sürdürülebilirliği sağlamak ve maliyeti koruyabilmek adına önem taşımaktadır. Mimarlık disiplininde ise enerji verimliliği çalışmalarını ile çevresel koşulların etkileri değıştirilerek tüketilen enerji yapılar ve kullanıcılar için izlenebilir ve müdahale edilebilir hale gelmiştir. Tüm bu gelişmeler ‘Enerji Etkin Tasarım’ anlayışını oluşturmuştur.

Enerji etkin tasarımlar farklı bir yaklaşım olarak; yapının tasarımı, yapıya ait malzemelerin üretimi, yapının kullanımı, bakımı, işletmesi dahil olmak üzere geniş bir yelpazede enerji tüketim miktar ve maliyetini küçültmeyi hedeflemektedir. Böylece fosil yakıtlara bağlı kalmadan, tükenen kaynaklardan maksimum verim sağlanmaktadır.

Günümüzde bir yapının enerji verimli ve sürdürülebilir olması yönündeki beklentiler artmaktadır. Bir binanın konfor şartlarını sağlaması ve sürdürülebilir olabilmesi için bazı parametreler bulunmaktadır. Bina formu, konumu, yönlenişi, kullanılan malzemeler, bina cephelerinde doluluk-boşluk oranları, kabukta saydamlık oranları, gölgelendirme elemanları gibi birçok parametre ile erken tasarım aşamasında olduğu gibi mevcut bina iyileştirmelerinde de enerji etkinliği sağlanabilmektedir.

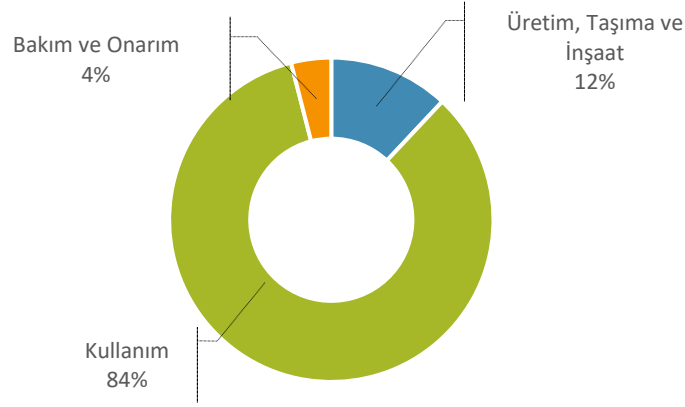
3.1. Mevcut Binaların Enerji Etkin Yenilenmesinin Önemi

Binaların inşasından ortalama kullanım ömürlerinin tamamlanışına kadar geçen süreye ‘yararlı ömür’ denilmektedir. Yararlı ömrü biten yapının, yapım sonrası dönemi başlamaktadır [41]. Yapıyı oluşturan malzemelerin kullanım ömürlerini tamamlandığında bir kısmı yeniden kullanılabilirliği gibi bir kısmı da atık halinde doğaya döndürölmektedir. Atık oranlarına bakıldığında ise inşaat atıkları dünya genelinde toplanmış olan tüm katı atıkların %60’ını oluşturmaktadır [42]. şekil 3.1’de gösterilen Eurostat’ın atık istatistik verilerinde ise inşaat atıkları toplam atık oranının %35.9’unu oluşturmaktadır [43].



Şekil 3.1. Ekonomik faaliyetlere ve hanelere göre atık üretimi oranları, ab, 2018

Atık üretiminde önemli bir orana sahip olan inşaat sektörü aynı zamanda enerji tüketiminde de büyük rol oynamaktadır. Bir yapı üretilirken yapı malzemelerinin üretiminde olduğu kadar inşa aşamasında da enerji harcanmaktadır. Yapı ömrünün, üretim aşamasından kaynaklanan (embodied energy), ulaştırma aşamasından kaynaklanan (grey energy), inşa aşamasından kaynaklanan (induced energy), kullanım aşamasından kaynaklanan (operating energy) ve bakım-onarım aşamasından kaynaklanan enerji tüketim değerleri vardır [44]. Şekil 3.2’de gösterilen oranlar incelendiğinde bir yapının inşa aşamasında %12, kullanım aşamasında %84, onarım ve bakım aşamasında %4 oranında enerji tüketimi olmaktadır [45]. Enerji tüketimindeki bu oran, kullanım aşamasında enerji verimliliğinin önemini ortaya koymaktadır.

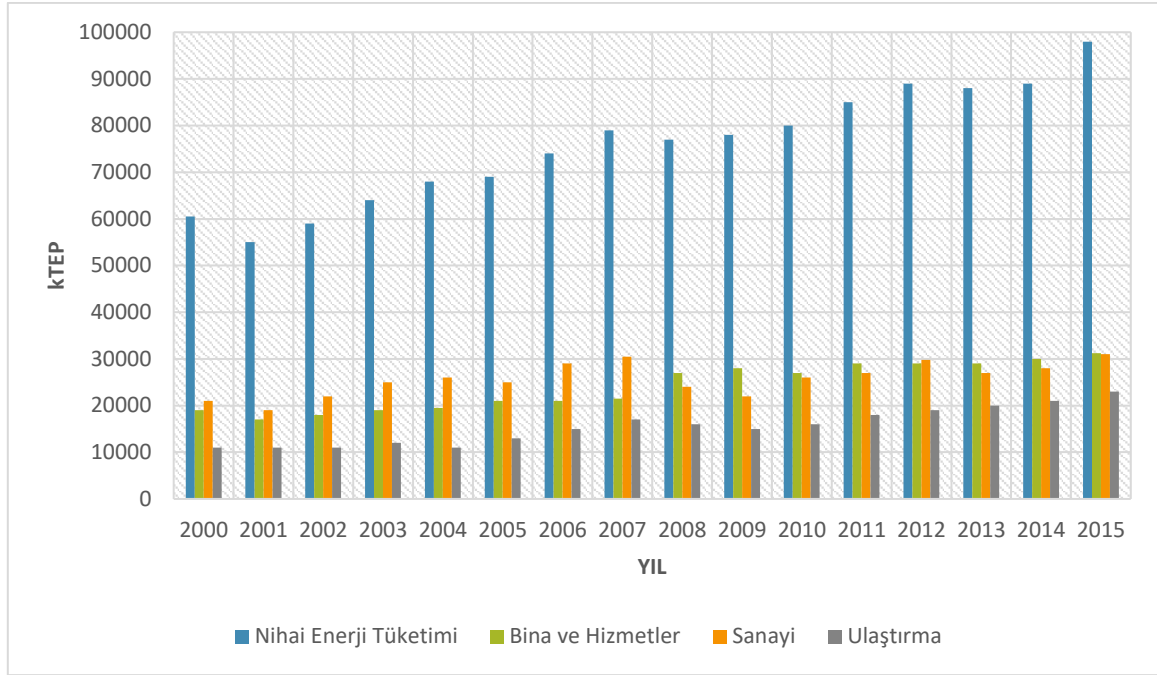


Şekil 3.2. Bina ömrü bazında enerji tüketim oranları

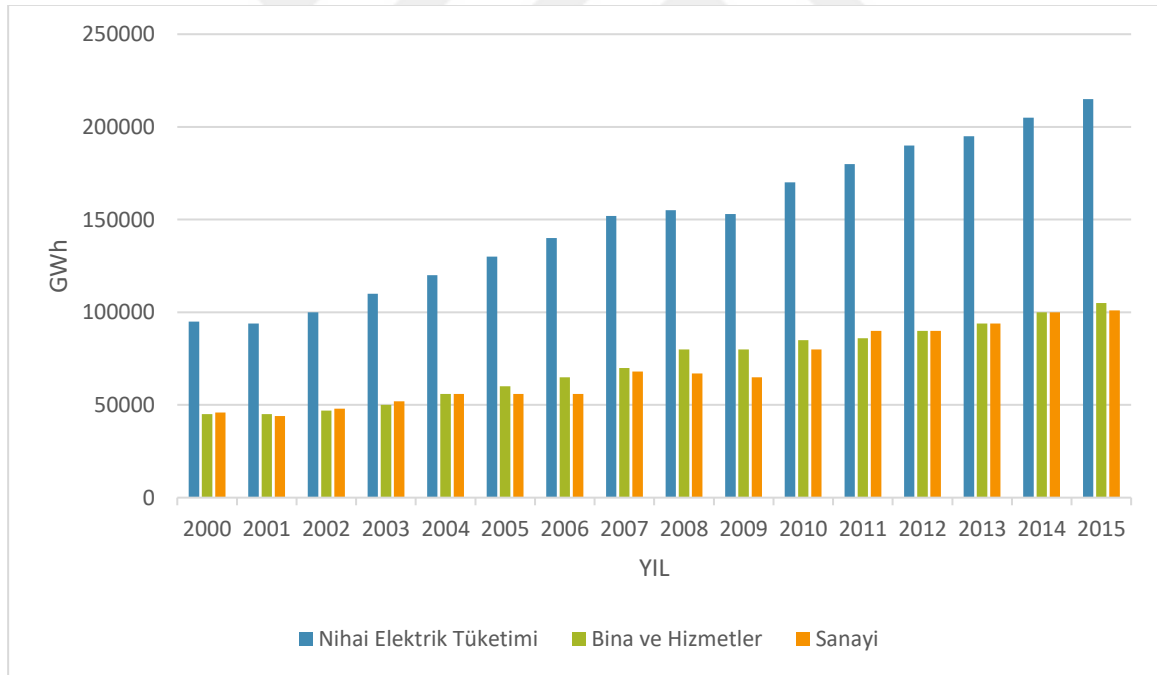
Binaların kullanım aşamasında tüketilen enerji miktarı incelendiğinde ısıtma ve soğutma yoluyla tüketilen enerjinin toplam enerji tüketimine oranı %70-80 değerindedir [46]. Bu oran bir binanın enerji tüketiminin hangi oranda ve hangi bağlamda azaltılabileceği yönünde önemli ölçüde bilgi vermektedir. Öyle ki bir binanın ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması ile %50 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir [45]. Enerji tasarrufu sağlanırken kullanılan yöntemler de hem çevre sağlığını hem de milli sermayeyi korumak açısından önemlidir. Isıtma ve soğutma ihtiyaçları için enerji talebi pasif çözümlerle azaltılmalı ve gerektiğinde verimli aktif sistemler ile desteklenmelidir [47]. Böylelikle mümkün olduğunca az fosil kaynak kullanılarak enerji tüketimi sağlanmakta ve dışa bağımlılık azalmaktadır.

Türkiye hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve refah seviyesinin yükselmesiyle hızlı gelişen bir ülkedir. Bu nedenle enerji tüketimini gelişmiş ülkelere nazaran daha hızlı artmakta ve yoğun bir enerji talebi oluşmaktadır. Birincil enerji tüketimi 2005 yılında 88,84 MTEP iken 2015 yılında 129,7 MTEP'e yükselmiştir. Türkiye'nin artan enerji talebi ile 2015 yılında %75,9 oranıyla dışa bağımlı olduğu görülmektedir [48].

2017-2023 Ulusal Enerji Verimliliği Planı'na [48] göre 2000 yılında 19,5 MTEB olan enerji tüketim değeri, 2015 yılında %66 oranında bir artış ile 32,4 MTEB'e yükselmiştir. Şekil 3.3'te gösterilen grafikte bina sektörünün toplam enerji tüketiminin %32,8'ini oluşturarak sanayi ve ulaşım sektörlerinin önüne geçtiği görülmektedir. Şekil 3.4'te gösterilen grafikte ise bina sektörünün elektrik tüketimi 2000 yılında %47,4 iken 2015 yılında %49,9 oranına yükselmiş ve yine sanayi sektörünün önüne geçmiştir.



Şekil 3.3. Sektörel enerji tüketimlerinin yıllara göre değişimi [48]



Şekil 3.4. Sektörel elektrik tüketimlerinin yıllara göre değişimi [48]

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2017 yılında Türkiye’de 9,1 milyon adet bina bulunduğu tespit edilmiştir [49]. İstatistiklere göre Türkiye’de her sene yaklaşık 100.000 yeni binaya yapım izni verilmektedir. Bu durum Türkiye’deki yapı stokunun oldukça ivmeli büyüdüğünü göstermektedir.

Bu çerçeveden bakıldığında bina sektörü enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olsa da yenilenebilir enerji kullanma potansiyeli ile enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Artan yapılaşmada yeni yapılacak olan binaların enerji verimliliğinin artırılabilmesinin yanı sıra mevcut stoku oluşturan binaların bakımı, onarımı ve yenilenmesi ile büyük oranda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Enerji tüketimi ve atık yönetimi düşünüldüğünde mevcut yapıları yıkmak yerine yeni kullanımlara adapte etmek daha doğru bir çözüm olarak nitelendirilmektedir. Söz konusu binalar yıkılıp yeniden yapılmak istendiği takdirde ekonomi, çevre sağlığı ve zaman açısından olumsuz sonuçlar doğacaktır. Bu sonuçları önlemek için yapılarda bütünsel bir yaklaşımla tüm paydaşlar beraber çalışmalı, yapının tasarım öncesi ve sonrasında alternatif durumlar göz önünde bulundurularak en verimli tasarım oluşturulmalıdır. Yapıyı farklı işlevlerde kullanabilmek adına esnek tasarım çözümleri önerilmelidir. Yapının üretimi sırasında kullanılan verimsiz malzeme ve yöntemler yıllarca problem oluşturabilmektedir. Bu doğrultuda binalarda enerji verimliliğini sağlamak için küresel çapta yönetmelikler oluşturulmuştur. Fakat bunun da ötesinde yapıların bir vücut gibi çalıştığı düşünülerek verimliliği artırmak için tüm sistemlerin işlediğinden emin olmak gerekmektedir. Örneğin pencere camı ısı geçirgenliği yeterli düzeyde değilse ısıtma ve soğutma için alternatif ekipmanlar kullanılmak zorunda kalınacaktır.

3.2. Mevcut Kampüs Binalarının Enerji Etkin Yenilenmesinin Önemi

Mevcut binalarda iyileştirmeler yapılırken konut stokundan sonra öncelik kamu binalarına verilmelidir. Kamu binalarında 1 m²'ye düşen enerji tüketim miktarı diğer yapılara oranla daha fazladır [50]. Dünya üzerinde %22'den fazla insanın eğitim sektöründe yer aldığı düşünüldüğünde [51] mevcut kampüs binalarının güçlendirilmesi oldukça önemlidir. Bu yapılar farklı kullanımlar ve farklı enerji ihtiyaçlarıyla geniş bir yelpazeyi kapsamaktadırlar [52]. Bu nedenle üniversite kampüs binalarının enerji etkin yenilenmesi araştırmaya değer bir konudur [51,53]. Bu çalışmada çok sayıda insanın hayatını etkilemesi gerekçesiyle kampüs binaları incelenmeye değer görülmüştür.

3.3. Mevcut Binalarda Enerji Etkin Yenileme Yöntemleri

Enerji kazanç ve kayıpları bir yapının enerji verimliliğini ortaya koymaktadır. Enerji verimliliği ısı kazanç ve kayıplarına bağlı olarak değişen ısıtma enerjisiyle doğrudan ilişkilidir. Isı kayıpları arttıkça enerji tüketimi artmaktadır. Bir yapının enerji bilançosuna bakıldığında yapının enerji kazanımı yenilenebilir kaynaklar ve bu kaynakların kullanımı için uygun yöntemlerle sağlanırken [51,53] enerji kaybı yapının kabuğunu oluşturan boşluk, pencere, çatı ve duvarlarında oluşmaktadır [54]. Tüm bu kayıp ve kazançlar iç ortam konforunu etkilemektedir.

Bina iyileştirme parametreleri incelendiğinde aktif iyileştirme önlemleri, pasif iyileştirme önlemleri ve yenilenebilir kaynak kullanımına yönelik iyileştirmeler bulunmaktadır (Şekil 3.5). Binalarda konum, yön, bina formu gibi parametreler erken tasarım aşamasında karar verilen, bina ömrü boyunca etkisini sürdüren temel parametrelerdir. Etkileri yok edilemese de aktif ya da pasif iyileştirme yöntemleriyle enerji tüketim değerleri azaltılabilmektedir. Erken tasarım aşamasında enerji etkin iyileştirme yöntemlerinden ilki çevre şartlarına göre binanın konumlandırılmasıdır. Binanın mikro-iklim özellikleri, konumlandığı yerde ve yöndeki mevcut güneş ışınlamı, hava sıcaklığı, rüzgâr ve nem gibi iklim elemanlarından etkilenmektedir [55]. Bir yapının üzerinde konumlanacağı arazi, iklim verilerinin dışında o binanın komşuluk özellikleri hakkında bilgi vermektedir. Komşu binalar ve engeller binaya olan uzaklıkları ile hava hareketlerini ve güneş ışınlarının düşme açısını etkilemektedirler. Yeşilin bina ile bütünleştiği tasarımlar yapılması, arazideki güneş ve rüzgâr gibi hâkim yenilenebilir kaynakların kullanımı da bu çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Çevresel faktörlerin etkilediği durumlardan biri de yönlenmedir.

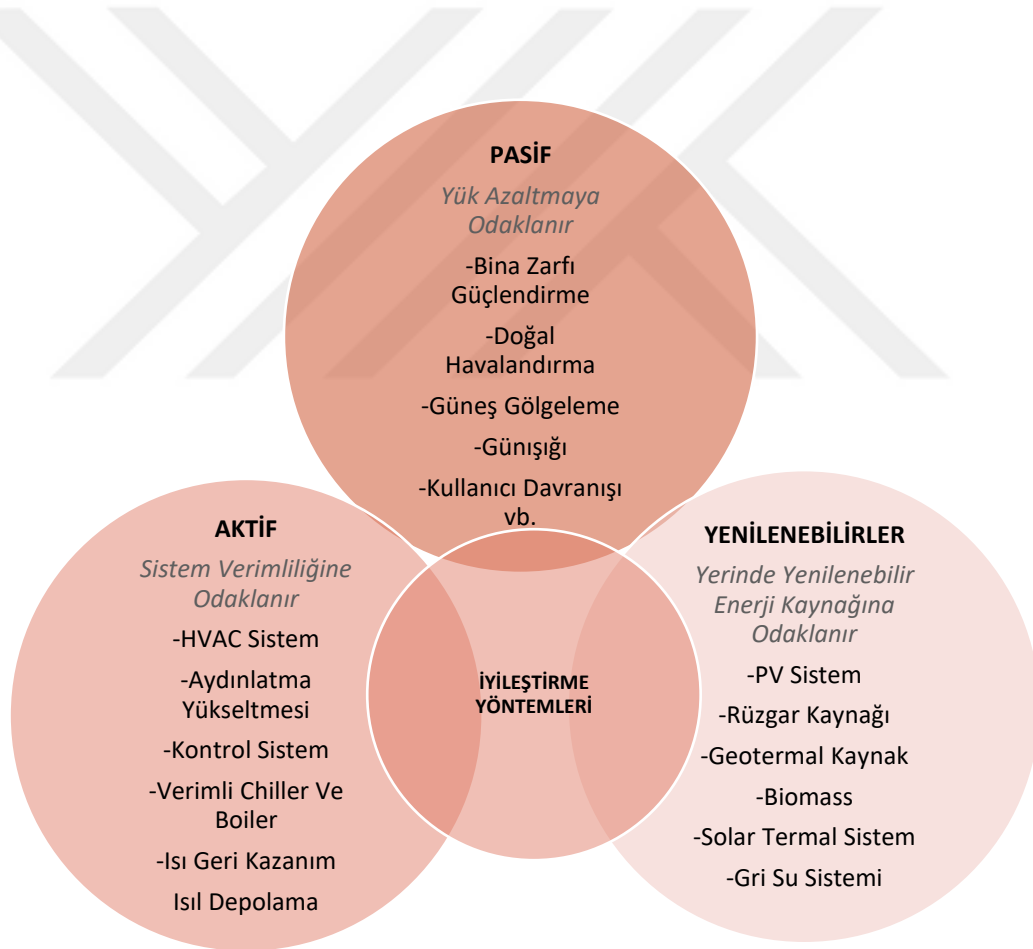
Bina yönlenmesi erken tasarım aşamasında karar verilen ve enerji etkin tasarım parametrelerinin en önemlilerinden biridir. Yönlenme açısına tasarım aşamasında karar verilse de yeni tasarlanacak binaların daha doğru kararlar neticesinde uygulamaya geçebilmesi adına, mevcut binalarda yönlenme alternatiflerinin değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bina yönelişi ısıtma enerjisi tüketimiyle doğrudan ilişkilidir. Binanın güneşe göre yönelişi kullanıcı konforu, ısınma, aydınlanma gibi birçok konuda belirgin rol oynamaktadır. Özellikle eğitim kurumlarının yoğun olarak kullanıldığı dönemlerin ısıtma enerji tüketiminin yüksek olduğu aylara denk gelmesi, daha fazla tüketim sergilenmesine neden olmaktadır [56]. Bu nedenle Malatya İli ikliminde yer alan mevcut referans bina yönelmelerinin analiz edilmesi, binaların enerji etkinliğinde önemli bir alternatif olarak sunulmaktadır. Fakat mevcut binaların yön değişimi mümkün olmadığından çalışma kapsamında yönlenme parametresi *Varsayımsal Senaryolar* başlığı altında incelenecektir.

Bina geometrisi yönelmenin belirlenmesi gibi erken tasarım aşamasında verilen tasarım kararlarından biridir. Çevresel faktörler çerçevesinde ele alınmalı ve tasarımı bu yönde tamamlanmalıdır. Yapılan birçok çalışma bina geometrisinin binanın kullandığı enerjiyle doğrudan ilişkili olduğunu tespit etmiştir [57,58,59,60,61].

Kullanıcı yoğunluğu binanın kullanım ömrü içerisinde farklı işlevlere göre değişmekte olup enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. İnsan bedeni ve dış ortam arasında süregelen ısı akışı, kullanıcı yoğunluğuna bağlı mekân-ısı dengesini etkilemektedir [62]. Binaların kullanım işlevi, zamanı ve konumuna göre değişen kullanıcı yoğunlukları ve kullanıcılara ilişkin veriler (cinsiyet, giysi türü, yaş vb.), binanın kullanım aralığı, bina enerji ihtiyacı, mekân yükleri ve bina kontrolü üzerinde önemli bir etki oluşturmaktadır. Özellikle üniversite yapılarının ve ofislerin yüksek oranda enerji tükettiği [63] düşünüldüğünde kullanıcı yoğunluğunun araştırma parametresi olarak

değerlendirilmesinin önemi artmaktadır. Fakat mevcut binalarda işlev gereği kullanıcı yoğunluğu değiştirilememektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında kullanıcı yoğunluğu parametresi *Varsayımsal Senaryolar* başlığı altında incelenecektir.

Tez çalışmasının esas konusu olan mevcut binalarda enerji etkin iyileştirme yöntemleri incelendiğinde yapı kabuğunun iyileştirilmesi, aktif ve pasif sistemleri destekleyecek yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ön plana çıkmaktadır (Şekil 3.5). Bunlar arasında aydınlatma, elektrik kullanımı ve ısıtmaya bağlı olarak en aktif kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisidir [64]. Güneş enerjisi hem PV sistemler gibi aktif sistemlerde hem de trombe duvar gibi pasif sistemlerde kullanılmaktadır. Pasif tasarım stratejileri, enerji verimliliğinin ve çevresel korumanın yanı sıra iç mekân konforunu korumak yönündeki etkileriyle bina sürdürülebilirliğini sağlamaktadır [65].



Şekil 3.5. Binalarda enerji etkin iyileştirme yöntemleri [66]

Yapılarda enerji verimliliğini sağlamak için kullanılan pasif sistemler güneş enerjisinden doğrudan faydalanarak ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmaya odaklanmaktadır. Bu amaçla bina

formunda dış havayı kontrollü bir şekilde içeri alan ve içerideki havayı kontrollü dağıtan formların kullanılması ve yapısal malzemeler ile bileşenlerin bakım-onarım ihtiyacı az olan, enerji tasarrufuna imkân tanıyan, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanabilen türden seçilmesi bina sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir [64]. Bu doğrultuda bir binanın enerji tüketiminde hangi parametrelerin en fazla etkiye sahip olduğu net bir şekilde anlaşılmalı ve daha sonra gerekli iyileştirmeler yapılmalıdır.

3.4. Bina Kabuğunun Enerji Etkin Yenilenmesi

Bina kabuğu bir binayı çepeçevre saran, binayı dış ortamdan ayırarak iç ortam hava kalitesinin korunmasını sağlayan ve kullanıcı konforu üzerinde en büyük etkiye sahip yapı unsurudur. Abdelrazek (2019)'a göre bina kabuğu bu iki ortam arasında tampon görevi görmektedir [67]. Çakır (2016)'a göre günümüzde 'yapı kabuğu' sadece iç ve dış ortam ayırıcı estetik bir unsur değil, yapının performans değerlerine etki eden temel taşlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır [68].

Kabuğun mimari tasarımı ve termofiziksel özellikleri binanın enerji tüketiminde önemli bir rol oynamaktadır [69,70,71]. Bu durumun başlıca nedenlerinden biri bina kabuğunun yansıtma oranı, geçirgenlik oranı ve yutuculuk oranının iç ortama etkileridir. Bina kabuğu; dış duvar konstrüksiyonu, kapı- pencere konstrüksiyonu ve pencere cam türleri ile aydınlatma, soğutma ve ısıtma için ihtiyaç duyulan enerjiye doğrudan etki etmektedir. Bu anlamda ulusal sermayenin korunması ve kaynak kullanımının azaltılmasında etkin rol oynamaktadır.

Bina kabuğu inşaa gideri toplam inşaat giderlerinin %10-20'sini kapsamaktadır [72]. Hız kesmeden gelişen teknoloji ile birlikte bina sektörü için yapılan çalışmalar bir hayli artmakta ve özellikle bina kabuğunda ısı performansını artırmak için alternatif malzeme denemeleri devam etmektedir.

İklimsel verilerin iç ortam kalitesine etkisinde yapı kabuğunun büyük bir payı vardır. Yapı kabuğunun yansıtıcılığı, ısı, hava ve nem geçirme kapasitesi kullanıcı konforunu ve enerji tüketim değerlerini doğrudan etkilemektedir. Bir bölgenin iklim özellikleri o bölgedeki yaygın bina kabuğunun nasıl şekillendiği hakkında bilgi vermektedir. Yapı kabuğunda malzeme ve saydamlık oranları ile gölgelendirme ekipmanlarının kontrolü ilk sırada yer almaktadır. Bu kontrolle yapının güneş enerjisinden maksimum oranda faydalanması amaçlanmaktadır. Soğuk bölgelerde cephede kullanılan malzemeler ve açıklık oranları, ısınmaya, güneş ışınları almaya ve aydınlık bir ortam oluşturmaya odaklıyken sıcak bölgelerde gün ışığını kontrollü almak için gölgelendirme elemanları kullanılmakta ve doğal havalandırmaya odaklanılmaktadır [73].

Binayı bir bütün olarak tanımladığımızda, zayıf bir parçasının olumsuz etkileri, en iyi parçalarının olumlu etkilerinden daha fazladır [74]. Doğru cam, ısı yalıtımı ve gölgeleme ekipmanı kullanıldığı takdirde bina kabuğunda gerçekleşen ısı akışı azaltılabilmektedir [75]. Bu

çerçevede yapının standardı düşürülmeksizin bireysel ve toplumsal yarar arttırılmalı ve iç konfor sağlanmalıdır. Bina elemanları en fazla verim alınabilen güncel elemanlarla yenilenmelidir. Bunun yanı sıra enerji kayıplarının olduğu durumlar belirlenmeli, gerekli iyileştirmeler yapılmalı ve bina enerji performansı takip edilmelidir [64].

Mevcut binalarda enerji iyileştirme önlemleri kapsamında yalnızca bina bileşen performansına bakılmamalıdır. Bu bileşenlerin kullanıldığı iklim ve lokasyona uyumluluğu da göz önüne alınmalıdır [76]. Bütüncül bir yaklaşımla ele alınan iyileştirme stratejileri yapı sistemi verimliliğini doğrudan etkilemektedir.

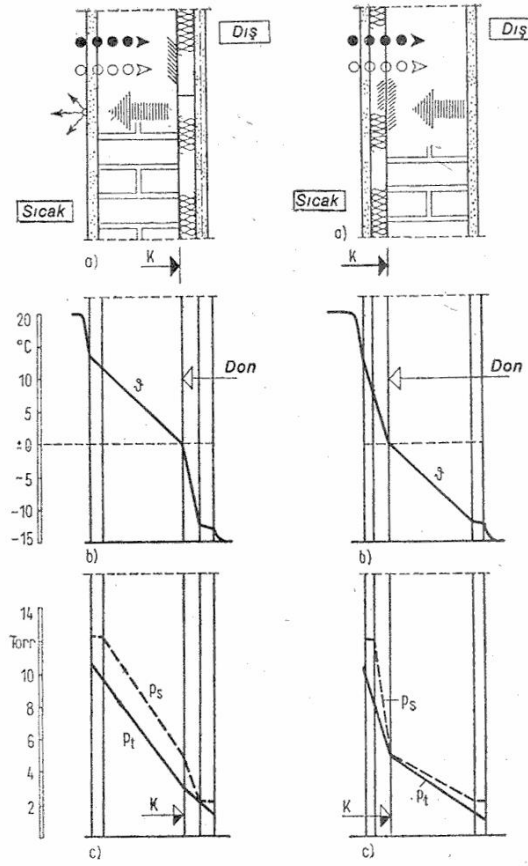
3.4.1. Duvar Konstrüksiyonu İyileştirme

Ekinci (2003)'den aktarılan bilgilere göre yapılarda iç ortam ve dış ortam arasındaki ısı alışverişi binalarda %40 oranında duvarlarda, %30 oranında pencerelerde, %7 oranında çatılarda, %6 oranında bodrum katta ve %17 oranında hava sızıntıları yoluyla gerçekleşmektedir [77]. Bu bilgiler ışığında bina kabuğunun ana bileşeni olan duvarların dolayısıyla enerji korunumunda önemli bir paya sahip olduğu görülmektedir. Bina inşası sırasında enerji korunumuna ilişkin bir denetim olmadığı takdirde bina kabuğundaki ısı kayıpları artmaktadır.

Bina kabuğunda iç ve dış ortam sıcaklık farklarından doğan ısı akışı bina kabuğunu oluşturan yapı malzemelerinin ebatları, termofiziksel özellikleri ve kabuk üzerinde yer aldığı konuma göre değişkenlik göstermektedir. Termofiziksel özellikleri etkileyen değerlerden biri ısı direncidir. Malzemelerin ısı direnci doğrudan ısı iletkenlik ve kalınlık birimlerinden etkilenmektedir. Termofiziksel özellikleri etkileyen değerlerden bir diğeri olan ısı geçirgenlik katsayısı (U) ise toplam malzeme kalınlığı ve ısı dirence bağlıdır. U değerinin azalması ile ısı direnç değerinde görülecek olan artış iç ortam sıcaklığını dış hava koşullarından korumaktadır.

Yapı inşasında kullanılan malzemelerin yutuculuk, yansıtıcılık, ısı iletkenlik, kalınlık, özgül ısı gibi değerleri bina enerji tüketiminde etkin rol oynamaktadır [78]. Bu nedenle bina dış duvarında kullanılacak katmanların her birinin duvarın belirli standartlar tarafından belirlenen maksimum U değerine uygun olarak kullanılması gerekmektedir.

Duvar konstrüksiyonunda en fazla kullanılan ahşap, normal delikli tuğla, beton gibi malzemeler ısı kaybını önlemekte tek başına yeterli olamamaktadır. Enerji kaybı ve yakıt tüketimi de düşünüldüğünde duvarlarda ısı yalıtımı uygulamaları çoğu zaman bu ısı kayıplarını önlemektedir. Aksoy (2008)'a göre yalıtımsız bir duvar için ısı kaybı değeri %100 alındığı takdirde etkin bir yalıtım uygulamasıyla bu değer %15'lere kadar düşmektedir [77]. Kibert'e (2005) göre bu noktada yalıtımın konumu ve yüzeyin termal kütlesi büyük önem taşımaktadır [79]. Isı yalıtım uygulamaları dış yalıtım, iç yalıtım, çift duvar arası yalıtım (sandviç duvar) ve havalandırılmalı yalıtım (giydirmce cephe sistemi) olarak değişebilmektedir. Dış duvar ısı yalıtımı ısı köprülerinin önlemek konusunda iç duvar ısı yalıtımından çok daha başarılıdır [80,81].

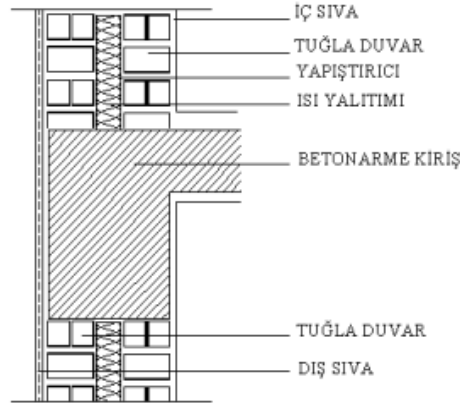


Şekil 3.6. Farklı duvar konstrüksiyonlarında sıcaklık, don yüzey derinliği ve yoğunlaşma [82]

Şekil 3.6’da farklı yalıtım konumlu duvar katmanları incelenmektedir. Şeklin a bölümünde duvar tiplerinde kış aylarında gerçekleşen buhar, ısı ve su akış yönleri, b bölümünde sıcaklık şeması ve c bölümünde difüzyon şeması gösterilmektedir.

Şeklin a bölümünde duvarın iç yalıtımda duvar içindeki kapiler su taşınmasının yalıtım malzemesine olan muhtemel zararı gösterilmektedir. B bölümünde iç yalıtımda derinlere işleyen don gösterilmektedir. C bölümünde ise dış yalıtımda sabit nem geçişi görülürken, iç yalıtımda yalıtım malzemesi yüzeyinde su oluşmaktadır [82]. İçten yalıtım uygulamalarında ısı köprülerinin yanı sıra mahal alanının küçülmesi ve maliyet artışı görülmektedir [83].

Çift duvar arasına uygulanan yalıtım materyalleri dış duvarı korusa da betonarme yüzeylerin korunamaması ile ısı köprüleri oluşturmaktadır (Şekil 3.7). Bu durum Türkiye’deki uygulama hatalarından kaynaklanmaktadır. Avrupa ülkeleri zaman etkisiyle malzemeler üzerine etki edecek yükler karşısında dış duvarın yıkılması sorununa karşı, duvarların dıştan ve içten yalıtıldığı alternatiflere yönelmektedir. Yapıyı bütüncül bir yaklaşımla yalıtan dış yalıtım uygulamalarında ısı köprüleri oluşmamaktadır [80]. Bu bilgiler doğrultusunda dıştan yalıtılmış duvar katmanlarının yapı fizikine en uygun yaklaşım olarak görülmektedir.



Şekil 3.7. Sandviç duvar örneği [80]

Tüm konumsal etkenlerin yanı sıra malzemenin termal kütlesinin ısı depolama potansiyeliyle doğru orantılı olduğu görülmektedir. Enerjiyi en verimli halde kullanmak için ısı yalıtımı kalınlığı ve ısıl geçirgenliği oldukça önemlidir. Güneşin geliş açısı, pencere-duvar oranı, duvar yalıtımı ve duvar malzemeleri dış duvar konstrüksiyonun ısı depolama ve ısı iletme davranışını doğrudan etkilemektedir [67]. Tüm bu parametreler mevcut bina ve çevre koşullarını daha iyi analiz etmek ve bina enerji performansını optimize etmek için detaylıca incelenmelidir. Böylelikle duvar konstrüksiyonuna bağlı olarak enerji verimliliği ve ekonomik sürdürülebilirlik sağlanacak, geri ödeme süresi en aza indirilecektir.

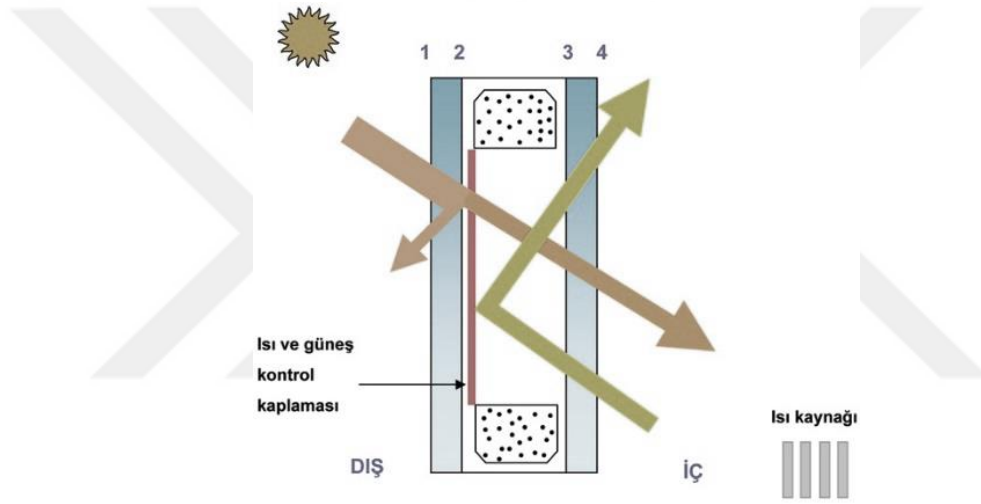
3.4.2. Pencere Konstrüksiyonu İyileştirme

Bina elemanlarından biri olan pencereler görsel zenginlik sunmasının yanı sıra dış ortam ve iç ortam arasında ayırıcı unsurlardır. Pencereler dış ortam ve iç ortam arasındaki ayırıcılık görevlerini doğal ışık geçirgenliğine izin verecek şekilde gerçekleştirirler. Binaların aydınlatma, ısıtma ve soğutma verimlilikleri pencerelerin ısı geçirme katsayısı (U) değerlerine ve boyutlarına bağlıdır [56]. Pencere yüzey alanları güneş ışınlarından elde edilecek ısı oranıyla doğru orantılıdır. Pencere ısı kazanımları yönlenme, iklimsel koşullar, pencere boyutları ve pencere türünden etkilenmektedir. Isıl konforu sağlamak üzere pencerelerin U değerleri ve saydam yüzeylerin güneş ısı kazanç katsayılarının uygun aralıklarda seçilmesi sıcak dönemlerde aşırı ısınmayı, soğuk dönemlerde ise ısı kaybını azaltabilmektedir. Saydam yüzey değişkeni olarak güneş ısı kazanç katsayısı camların güneş ışınlarını engelleme miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Yapı kabuğu bileşenlerinin saydam ya da opak özellikte olması ile yansıtıcılık, yutuculuk ve geçirgenlik değerleri değişmektedir. Bina enerji performansını optimum düzeye çıkarmak için bu değerlerin etkileri dikkatle incelenmelidir [67]. Yapı kabuğunun termofiziksel özelliklerini

etkileyen değerler opak ve saydam yüzeylerde farklılık göstermektedir. Saydam yüzeylerin termofiziksel özellikleri yansıtıcılık, yutuculuk ve geçirgenlik katsayıları (τ , a ve r) ile ısı iletkenlik katsayılarına bağlıdır [64].

Tek katmanlı düz cam kullanımı enerji performansı açısından düşük verimlilik sağlamaktadır [83]. Yapılan bir çalışmada çift camlı pencerelerin (Şekil 3.8) yazın soğutma yükünü, kışın ise ısıtma yükünü azalttığı tespit edilmiştir [84]. Pencere camlarında cam kalınlığı, cam dolgu malzemesi ve cam kaplaması ısı kazanç katsayısı enerji verimliliğinin artırılmasını sağlayan değerlerdir. Yapılan bir çalışmada Low-e kaplama ve camlar arası mesafe artışı ile enerji verimliliği artırılmaktadır [83]. TS 825 standardında pencere camlarının Low-E kaplamalı olması ve maksimum U değerinin $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ olması beklenmektedir.



Şekil 3.8. Low-E kaplamalı çift katmanlı cam sistemi [85]

Yapı elemanı olarak pencereler iç ortam ısı konforu ve bina enerji tasarrufu bağlamında önemli bir yer tutmaktadır [61]. Bu nedenle hem yeni tasarlanacak binalarda hem de mevcut binaların enerji etkin iyileştirmelerinde pencere doğrama ve cam türleri ısı iletkenlik değerleri dikkate alınarak seçilmelidir.

3.4.3. Çatı Konstrüksiyonu İyileştirme

Çatı konstrüksiyonu bina kabuğunu oluşturan parametrelerden biri olarak ısı iletimi ve enerji verimliliğinde önemli rol oynamaktadır [56,86]. Çatı güçlendirmeleri ısı köprülerinin azaltılmasını sağlamaktadır.

Çatıların eğim oranı, yansıtma endeksi (SRI) ve renkleri ısı kazanımlarında önemli bir rol almaktadır. Çatıda kullanılan yalıtım ve yansıtma gücü yüksek albedolu boya kullanımı enerji korunumuna katkı sağlamaktadır [81]. Sıcak iklimlerde çatıların beyaza boyanması, eğimli ve

teras çatılarda yalıtım kullanılması gibi önlemler ile ısıtma ve soğutma yükleri azaltılabilmektedir. Soğuk iklimlerde ise tam tersi etki için çatılar koyu renklere boyanmaktadır. Ayrıca yeşil çatılar uygun koşullu iklimlerde kullanılarak kentsel ısınmaya katkı sağlayabilmektedir [84]. Yeşil çatı uygulamasının yanı sıra çatı üzerine PV paneller eklenmesi çatı alanının güneş ışınlarının çatı yüzeyini ısıtmasını önlemektedir.

Çatılarda en çok dikkat edilmesi gereken unsurlar yangın, su ve ısı faktörlerini gözeterek en uygun yalıtım alternatifinin seçilmesidir. Aksi takdirde ekonomik ve çevresel zararların önüne geçilememektedir. Eğimli çatılarda mertek üstü, mertek altı ve mertek arasında yerleştirilebilen yalıtım, teras çatılarda ters teras çatı ve geleneksel teras çatı olarak adlandırılan iki farklı yöntemle uygulanabilir [83]. Ayrıca daha hızlı montaj gerçekleştirilebilen ve nem yoğunlaşmasını yüksek oranda önleyen hazır panel sistemlerle çatı yalıtımı yapılması oldukça avantajlıdır. Bu nedenle hazır paneller oldukça yaygın kullanılmaktadır.

Gün ışığını daha yüksek oranda almak ve doğal aydınlatma sağlamak için çatı ışıklıkları kullanılmaktadır. Çatıdaki saydam yüzeyler iklime göre soğutma veya ısıtma yüklerini azaltmak için farklı boyutlarda tasarlanabilmektedir.

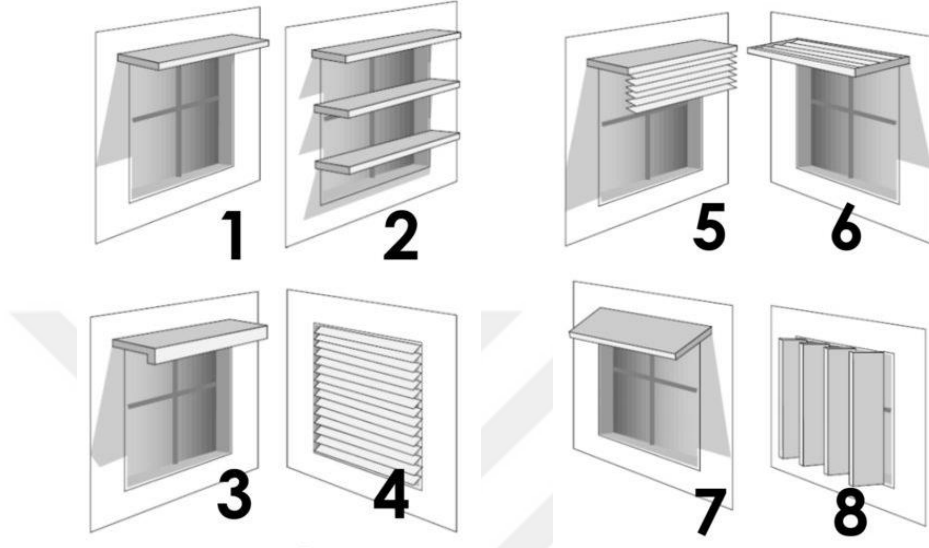
3.4.4. Pencere-Duvar Oranına Bağlı İyileştirme

Yapı kabuğunun yutuculuk, yansıtıcılık ve geçirgenlik değeri optik özelliklerini oluşturmaktadır [86]. Bina kabuğu bileşeninin opak veya saydam olması durumu optik özellikleri doğrudan etkilemektedir. Opak malzemeler yüzey özellikleri doğrultusunda güneş ışınlarının bir kısmını yansıtmaktadır. Yansıtma oranı ışınların dalga boyu, geliş açısı ve malzemenin optik özelliklerine bağlı olarak değişmekte ve ışınların bir kısmı ısı enerjisine dönüşmektedir. Saydam yüzeylerde ise yansıtma oranı ışınların dalga boyu ile ilgilidir. Çengel (1998)'den aktarılan bilgiye göre kısa dalga boylu ışınlar yüzeyden geçerken uzun dalga boyuna sahip ışınlar yüzeyden geçemeyerek sera etkisi oluşturmaktadır [86]. Tüm bu bilgiler ışığında yapı kabuğunun hangi oranda opak hangi oranda saydam yüzeye sahip olduğu büyük önem taşımaktadır. Her malzemenin farklı yön, farklı iklim ve hatta farklı saatlerdeki ısı geçirme oranı değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle çalışmada kullanılan bina kabuğu iyileştirme parametrelerden biri pencere-duvar oranı analizi olmuştur. Bu analiz Malatya iklimi koşullarında belirlenen bina formu ve konumu için en uygun pencere-duvar oranını ortaya koymaktadır.

3.4.5. Gölgeleme Elemanı Kullanımına Bağlı İyileştirme

Saydam yüzeylerin yetersiz ısı özellikleri gibi tasarım hataları binalarda enerji verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Enerji verimliliği için binalarda kullanılan malzemeler yeterli olmayabilmekte ve çoğu zaman çevresel faktörlere uyum sağlayabilen sistemler de tasarlanması

gerekmektedir. Binalarda sürdürülebilir çözümler üretmek için doğal kaynaklardan maksimum oranda faydalanmalıdır. Kışın daha fazla güneş ışınları alınarak yapının ısıtma yükünün azaltılması, yazın ise güneş ışınlarını önleyerek soğutma yükünün azaltılması için gölgeleme elemanları kullanılmaktadır.



Şekil 3.9. Güneş kırıcı ve rafları [87]

Gölgeleme elemanlarının temel ilkesi güneş ışınlarının iç mekânla temasını azaltarak güneşin ısıtma etkisini azaltmaktır. Yapılan çalışmalar gölgeleme elemanlarının soğutma enerjisi tüketiminde azalış sağladığını göstermektedir [88,89]. Hareketli ve hareketsiz seçenekleri olan gölgeleme sistemleri doğal kaynaklardan mekanik bir destekle faydalanma yöntemidir [61]. Gölgeleme elemanı olarak farklı performanslardaki kompozit elemanlar, güneş kırıcılar, yatay ve dikey saçaklar tercih edilebilmektedir (Şekil 3.9). Bu doğrultuda farklı tip ve çıkma uzunluğundaki gölgeleme elemanları ısıtma ve soğutma yüklerindeki kanıtlanmış etkileri ile bu çalışmanın enerji etkin parametrelerinden biri olarak seçilmiştir.

3.5. Isıl Konforun Sağlanması

Binalar enerji tüketiminde büyük bir paya sahiptir. Bu durum binalarda enerji tüketimin kontrol altına alınması ve azaltılması adına çeşitli yasal düzenlemelerin düzenlenmesine yol açmıştır. Söz konusu düzenlemeler ile yapının hem tasarım hem de kullanım aşamasında enerji tüketimini azaltmak adına belirli stratejiler geliştirilmiştir. Ülkelerin tasarruf stratejileri incelendiğinde her ülkenin kendi yasa ve yönetmeliklerine göre farklı standartlar belirlediği görülmektedir. Türkiye’de yapısal ısı konfor için TS 825 (Binalarda Isı Yalıtım Kuralları) standartları uygulanmaktadır.

Bir binayı ısıtmak için yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısına bakılmaktadır. Isıl geçirgenlik katsayısı (U , W/m^2K), kalınlığı d (m) olan bir yapı bileşeninin paralel yüzeylerinin ısı farkı $1^\circ C$ olduğu durumda $1 m^2$ 'den 1 saatte dik olarak geçen ısı miktarıdır. Formülden de anlaşılacağı üzere ısıl geçirgenlik katsayısı doğrudan kalınlık ve ısıl iletkenlik katsayısıyla ilişkilidir [90]. Bu katsayı arttıkça ısı kaybı da artmış olacaktır.

Tablo 3.1. TS 825 gün derece bölgelerine göre maksimum U değerleri

	$U_D (W/m^2K)$	$U_T (W/m^2K)$	$U_i (W/m^2K)$	$U_p^* (W/m^2K)$
1.Bölge	0,70	0,45	0,70	2,40
2.Bölge	0,60	0,40	0,60	2,40
3.Bölge	0,50	0,30	0,45	2,40
4.Bölge	0,40	0,25	0,40	2,40

Tablo 3.2. Türkiye'deki ısı bölgelerine uygun cam seçiminde kullanılmak üzere hazırlanmış pencere ısıl geçirgenlik (U_p) katsayıları

Türkiye'deki ısı bölgelerine uygun cam seçiminde kullanılmak üzere hazırlanmış pencere ısıl geçirgenlik (U_p) katsayıları W/m^2K		TEK CAMLI PENCERE	ÇİFT CAMLI PENCERE (kaplamasız cam)				ÇİFT CAMLI LOW-E KAPLAMALI PENCERE			
			ARA BOŞLUK (mm)				ARA BOŞLUK (mm)			
			6	9	12	16	6	9	12	16
	DOĞRAMASIZ	5,7	3,3	3,0	2,9	2,7	2,6	2,1	1,8	1,6
D	AHŞAP DOĞRAMA	5,1	3,3	3,1	3,0	2,8	2,8	2,3	2,2	2,0
O	(meşe, dişbudak/sert ağaçlar)									
Ğ	AHŞAP DOĞRAMA	4,9	3,1	2,9	2,8	2,6	2,6	2,2	2,0	1,8
R	(iğne yapraklı yumuşak ağaçlar)									
A	PLASTİK DOĞRAMA	5,2	3,4	3,2	3,0	2,9	2,9	2,4	2,3	2,1
M	(2 odacıklı)									
A	PLASTİK DOĞRAMA	5,0	3,2	3,0	2,8	2,7	2,7	2,2	2,1	1,9
T	(3 odacıklı)									
İ	ALÜMİNYUM DOĞRAMA	5,9	4,0	3,9	3,7	3,6	3,6	3,1	3,0	2,8
P	ALÜMİNYUM DOĞRAMA	5,2	3,4	3,2	3,0	2,9	2,9	2,4	2,3	2,1
İ	(yalıtım köprülü)									

Bina kabuğu elemanlarının alabileceği en yüksek U değerleri, ülkelerin bina enerji standartları ve ASHRAE standartları çerçevesinde belirlenmektedir [79]. Türkiye'de geçerli olan

TS 825 standardı Türkiye'yi 4 ısı bölgesine ayırmış ve her bir bölgede dış duvar, pencere, tavan ve zemine oturan döşemenin U değerini belirlemiştir (Tablo 3.1), (Tablo 3.2). Saydam yüzeyler başta olmak üzere yapı kabuğu elemanlarının U değerlerinin ısı kayıplarındaki en büyük etmen olduğu bilinerek [91,92] ısı konforu ve enerji verimliliğini sağlamak için her bir yapı bileşeninin bu değerler dikkate alınarak oluşturulması gerekmektedir.

3.6. Literatür Araştırması

Mevcut binaların enerji etkin iyileştirilmesi, enerji tüketimini azaltmanın yanı sıra çevresel anlamda bir geri dönüşümü ifade etmekte ve bina iç mekân niteliklerini geliştirerek kullanıcı konforunu artırmaktadır. Gülaçmaz (2021) mevcut yapıların enerji etkin olabilmesi için, yapının yeniden inşa edilmesine veya mevcut yapının enerji etkin parametreler doğrultusunda iyileştirilmesine dayanan iki metot olduğunu ifade etmiştir. İyileştirme yöntemi yeniden yapım yöntemine göre daha az maliyetli ve ekolojik olduğundan mevcut bir eğitim binası için aktif ve pasif tasarım stratejileriyle iyileştirme yöntemi seçilmiştir. Aktif sistem olarak farklı HVAC işletim sistemi alternatifleri sınanmış ve PV paneller eklenmiştir. Pasif sistemler ele alındığında ise dış duvarlar ve pencereler için belirlenen farklı U değerleri ve pencere-duvar oranları farklı ısıtma enerji kullanımlarına yol açmıştır. U değeri ve pencere yüzey alanı oranının ısıtma enerjisi kullanımı ile doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir [86].

Florides, Tassou, Kalogirou, ve Wrobel (2002) çalışmalarında TRNYS programı kullanılarak Amerika'daki tipik bir iklim verisi ile tipik bir eve ait enerji tüketimini simüle edilmiştir. Model binada, bina yönü, formu, termal kütle, farklı cam türleri, gölgeleme elemanları, doğal havalandırma, çatı ve duvar konstrüksiyonu gibi çeşitli parametrelerle enerji iyileştirme önlemleri denenmiştir. Çalışmada bina kabuk elemanlarında doğal havalandırmanın ve yalıtım uygulanmasının enerji tasarrufu sağladığını ortaya koymuştur. Bina şeklinin kare şekilli bir evin dikdörtgen bir eve kıyasla daha fazla enerji tasarrufu sağlamaktadır. Çalışma çatı ve duvarda kullanılan termal kütleinin yaz aylarında yeterli olmadığını göstermiştir. Çatıların 0.48'den daha az ısı iletkenliğe sahip olması ve 6 saatten fazla deşarj süresi sunması beklenmektedir. Maliyet analizi incelendiğinde çatı yalıtımının 3,5-5 yıl, duvar önlemlerinin ise 10 yıllık bir geri ödeme süresi olduğu tespit edilmiştir [93].

Sesana, Grecchi, Salvalai ve Rasica (2016) çalışmalarında İtalya'da iki farklı üniversite kampüsündeki iki binanın enerji etkin yenilenmesi için CENED + ve Sefaira olmak üzere iki ayrı yazılımın enerji değerlendirme metodolojisi karşılaştırılarak sayısal simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Çalışılan her iki binada da ofisler, derslikler ve bazı laboratuvarlar bulunmaktadır. İlk binada pencere değişimi, bina kabuğuna izolasyon eklenmesi, yoğunmalı kazan kullanımı, havalandırma cephe kaplama simüle edilirken; İkinci binada dış duvar ısı yalıtımının farklı kalınlıklarda kullanıldığı ve hiç kullanılmadığı durumlar, farklı pencere

çerçeveleri ve cam türleri, çatı konstrüksiyonu ve yalıtımı, HVAC sistemi değişimi, aydınlatma elamanı değişimi ve solar PV eklenmesi durumu simüle edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde her iki program da yıllık enerji performansında en etkin iyileştirme yöntemlerinin aynı parametreler olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma yenileme çalışmalarının önemini vurgularken her binaya ait çözümlerin farklı olacağı konusu üzerinde durmaktadır. Bu bilgiler ışığında bütüncül bir enerji simülasyonu, risk değerlendirmeleri ve ekonomik analizi dikkate alınan en etkili iyileştirme yöntemi olduğu ifade edilmiştir [94].

Chung ve Rhee (2014) Güney Kore’de bulunan bir kampüsteki 23 binadan, yapım yılı 1960’lı yıllardan 2010’lu yıllara kadar değişen 11 binanın enerji etkinleştirilmesi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmada otomatik bekleme güç kesme anahtarları, aydınlatmada kullanılan gücün azaltılması, iç ortam hava sıcaklığının ayarlanması, pencere değişimi, duvar ve çatı elemanlarının değişimi parametreleri kullanılarak ısıtma ve soğutma yükleri değerlendirilmiştir. Yapılan analizler iyileştirme stratejileri ile farklı binalarda %6-29, % 10 -22 ve % 18 -29 oranlarında enerji tasarrufu sağlanabildiğini ortaya koymuştur [95].

Şenel Solmaz (2015) Akdeniz iklimindeki bir lise binasında dört ayrı cephe için; dış duvar, çatı ve zemin döşemesi yalıtımı, cam türü ve gölgeleme elemanı pasif tasarım parametrelerini simüle etmiştir. Bina zarfına ilişkin tüm parametreler arasından en etkin iyileştirme yönteminin güney cephedeki pencerelerin enerji etkin bir pencere sistemiyle değiştirilmesi olduğu saptanmıştır. Bir diğer sonuç, doğru bilinenin aksine, dış duvar ısı yalıtımı uygulaması en etkili enerji verimliliği önlemleri listesinde bulunmamasıdır. Binanın geometrisi, iklimi, fiziksel özelliklerinin etkileri dolayısıyla farklı bir bina uygulamasında çok daha farklı sonuçlar alınacağı öngörülmektedir [78].

Samaan, Farag ve Khalil (2016) Mısır Üniversitelerinde soğutma yükleri ve güneş ışığı seviyelerini varsayımsal ve uygulanabilir stratejiler olarak ikiye ayırmış ve incelemiştir. Varsayımsal stratejilerde yönlenme, zemin döşeme konumu, kullanıcı yoğunluğu parametreleri; uygulanabilir stratejilerde ise pencere-duvar oranı, gölgelendirme tipi, gölgeleme elemanı çıkma uzunluğu, duvar tipi, çatı tipi, pencere tipi ve havalandırma oranı önerilmiştir. Önerilen gölgeleme elemanı, Low-E cam ve iyileştirilmiş havalandırma planı ile soğutma yüklerinde önemli bir azalma görülse de bu durum güneş ışığı seviyeleri üzerinde olumsuz etki bırakmaktadır. Güneş ışığı seviyelerinin dengelenmesi ve soğutma yüklerinin azaltılması için ise çatıda ışıklık kullanımı önerilmiştir. Önerilen kabuk iyileştirmeleri soğutma yükleri üzerinde %26’dan %31’e kadar azalma sağlamıştır [96].

Kattlo (2016) mevcut okul binalarına ait zarf tasarım stratejilerinin ve HVAC sistemlerinin enerji performansı, soğutma enerjisi tüketimi ve ısıll konforu ne derece etkilediğini tespit etmek üzere Al-Dammam, Al-Dhahran ve Al-Khobar’daki tipik okul binalarını 'DesignBuilder' yazılımı kullanarak simüle etmiştir. Duvar ve çatı ısı yalıtımı, hava sızdırmazlığı, cam tipi ve

pencere/duvar oranı için optimizasyon yapılmasının ardından HVAC sistemlerinin ve aydınlatma tipinin enerji tüketimi ve konforsuzluk saatleri üzerindeki etkisi araştırıldı. Pencere/duvar oranı, çatı ve duvar ısı yalıtımı, cam tipi optimizasyonu yapıldıktan sonra soğutma enerjisi tüketimi %8,7 oranında azaltılmış ve konforsuzluk süresi 213 saate indirilmiştir. Aydınlatma elemanı olarak floresan yerine LED kullanımı soğutma enerjisinde %16,5 oranında azalma sağlamıştır. Kullanılan DX-Packaged HVAC sistemi enerji tüketimini %41 oranında azaltılmış ve rahatsızlık süresini 129 saate düşürmüştür [97].

Yang, Tham, Lee, Santamouris, Sekhar ve Cheong (2016) antropojenik ısıyı azaltmak için kampüs binalarında iyileştirme stratejileri üzerinde çalışmışlardır. Bu amaçla Singapur Ulusal Üniversitesi kampüsünde, ofisler, konferans salonları, laboratuvarlar, stüdyolar ve araştırma öğrenci odaları gibi karma işlevleri barındıran, ikinci ve üçüncü katta birbirine bağlanan üç bina ele alınmıştır. Çalışmada cam türü, güneş kontrol filmi, duvar ve çatı ısı yalıtımı değişiminin de olduğu dört aktif, dört pasif ve 2 kombine olacak şekilde bütüncül yaklaşımlı çözümler incelenmiştir. Çalışma sonucunda aktif çözümlerin pasif çözümlere kıyasla daha fazla enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte kampüs antropojenik ısısı 150 W/m^2 'den 128 W/m^2 'ye indirilerek büyük bir etki oluşturulmuştur [98].

Gil-Báez, Barrios Padura ve Molina Huelva (2018) Akdeniz iklimindeki okulların sürdürülebilirliğini artırmak için bina zarfında solar cam koruması, dış gölgeleme elemanı, taşınabilir tekstil gölgeleme elemanı, ağaçlandırma, iç ve dış duvar ısı yalıtımı, iç ve dış çatı ısı yalıtımı, cam türü değişiminden (Low-E) oluşan 11 pasif önlem almıştır. Tüm bu önlemler, 146 €/m^2 yatırım maliyeti ile ısıtmada %17,7 ve soğutmada %15,9 tasarruf sağlamıştır [99].

D'Agostino, Daraio, Marino ve Minichiello (2018) İtalya'daki mevcut bir ilkokulda opak ve şeffaf bileşenlerin ısı geçirgenlik değerleri değiştirilmiş, opak bileşenlerde ısı yalıtım kalınlığı 4-8-12 santim olarak sınanmıştır. Saydam bileşenlerde farklılık pencere tipleri simüle edilmiştir. Çalışmada, sanılanın aksine, en iyi ısı yalıtım çözümünün yalıtım kalınlığının çok fazla artırılmasıyla değil, birkaç santimetre artırılmasıyla mümkün olduğu tespit edilmiştir. Analiz edilen binada bu değer 4 cm olarak belirlenmiştir [100].

Ge, Wu, Chen ve Wu (2018) tarafından yapılan, alan araştırması, ölçümler ve anketler yardımıyla tamamlanan çalışmada Hangzhou'da bulunan bir binanın ısıtma ve soğutma enerji tüketimi ve açıklık ölçümleri analiz edilmiştir. Bu analiz bina kabuğu (pencere türü, çatı ve duvar yalıtımı) performansı, gölgeleme elemanı ve alanın değiştirilebilir ısıtma ve soğutma davranışı parametreleri ile gerçekleşmiştir. Gölgeleme elemanı yaz aylarında soğutma enerjisi ihtiyacını önemli ölçüde azaltsa da kış aylarında çok az bir etki oluşturmaktadır. Klima sistemi ise yaz aylarında soğutma yükünde ciddi bir azalma görülürken kış aylarında çok küçük bir etkiye sahip olmuştur. Çalışma sonucunda bina kabuğu iyileştirmelerinin enerji ihtiyacını büyük oranda azalttığı tespit edilmiştir [101].

Zahiri ve Altan (2019) bina yönlendi, duvar ve çatı yalıtımı, cam türünün değışimi ve termal kütle kullanımına dayanan pasif tasarım stratejileri ile minimum enerji kullanımı ve iç mekan ısıll konforu sağlamaya çalışmıştır. Bu amaçla kullanılan optimum faktörler ile önemli ölçüde iyileştirilme sağlanmıştır. Çalışmada termal kütle için kullanılan beton gibi hafif ve orta kütleli malzemelerin iç ortam hava sıcaklığını önemli ölçüde artırabilse de sıcak mevsimlerde aşırı ısınma risklerinden kaçınmak için 25 cm kalınlığında ağır ağırlıkta beton veya tuğla kullanılması önerilmiştir. Cam tipleri incelendiğinde ise iç mekân ısıll konforu sağlama açısından üç camlı pencereler çift camlı pencerelerden daha iyi olsa da çift camlı pencereler daha uygun maliyetli olduğundan, güneye ve kuzeye bakan sınıflarda iç mekân hava sıcaklığını yaklaşık 24°C ila 24,5°C arasında tutabilen çift cam kullanılması önerilmiştir [102].

Ali ve Hashlamun (2019) Ürdün'deki bir ilköğretim okulunda dış duvar ısı yalıtımı, çatı ısı yalıtımı, çatı yansıtma oranı, pencere çerçeveleri, pencere filmleri, cam türü değışimi, güneş ısı kazancı kontrol sistemleri olmak üzere 6 parametrenin enerji etkinliği incelenmiştir. Bahsi geçen parametreler ile yıllık soğutma enerjisinde %59.2, yıllık ısıtma enerjisinde %36.4 oranında azalış sağlanırken 5.5 yıllık bir geri ödeme süresi ile toplam enerji tasarrufu %54 olarak tespit edilmiştir. Çalışma, mevcut binalarda uygulanan enerji etkin iyileştirmelerin ulusal harcamalardan, zamandan ve kaynaktan kazanç sağlandığını ve bu yönüyle ekonomik sürdürülebilirlik sağlandığını vurgulamaktadır [103].

Koçyiğit (2019) Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü F.E.F, Rektörlük, B.E.S.Y.O. ve M.M.F binalarında ısıtma ve soğutma enerji tüketimini azaltmayı hedeflemektedir. Bu amaçla seçilen binalar dış duvar, pencere, çatı yalıtımı, gölgeleme elemanı, fanların değışimi ve led ampul kullanımı gibi parametrelerle enerji tasarruf potansiyeli açısından incelenmiştir. Çalışmada kampüsün 10 yıllık elektrik ve doğalgaz faturaları incelendiğinde doğalgaz ve elektrik tüketiminin arttığını gözlenmiştir. Çalışma son olarak seçilen binaların kampüsün toplam doğalgaz ve elektrik tüketimine katkılarını ortaya koymuştur. Bu sonuçlar en verimli öneriler ile en verimsiz önerilerin oluşturduğu iki ayrı kombinasyon ile incelenmiştir. Kombinasyonların uygulanmasının ardından toplam verimlilik potansiyelinin %42,07 ve %64,33 arasında değıştiği gözlemlenmiştir. Çalışmada doğru stratejiler ile üniversite binalarında yüksek oranda enerji tasarrufu sağlanabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Enerji tasarrufunun ısıll konfor ve hava kalitesini iyileştirmenin yanı sıra ülke bazında enerji fiyatlarındaki dalgalanmaların azalmasına yardımcı olacağı tespit edilmiştir [104].

Aldawoud vd. (2020) klima sistemi ve bina kabuğuna bağlı enerji tüketiminin binanın toplam enerji ihtiyacında büyük bir orana sahip olduğunu belirtmiştir. Çalışmada verimli bir iyileştirme önerisi ile elektrik ve soğutma enerjisi tüketiminde önemli düşüşlerin sağlanabileceği görülmüştür [51].

Randelović vd. (2020) mevcut ilköğretim okullarının bina kabuğunun enerji etkin yenilenmesi ile trombe duvar, çift cidarlı cephe, yeşil çatı ve gölgeleme elemanı kullanılması yönündeki pasif tasarım stratejileriyle ayrıntılı bir modelleme ve simülasyon yapmışlardır. Çalışma ‘trombe duvar- yeşil çatı’ ve ‘trombe duvar-gölgeleme elemanı-yeşil çatı’ kombinasyonlarının ısıtma ve soğutma enerjisi için en etkin sonuçları verdiğini tespit etmiştir. Ayrıca bina kabuğunun enerji etkin iyileştirme önlemlerinin uygun bir kombinasyonu ile ısıtma enerji tüketiminin yaklaşık %75 oranında azaltılabileceği belirtilmektedir [105].

Yıldız ve Koçyiğit (2020) çalışmasında, Balıkesir Üniversitesi kampüsü eğitim binalarında enerji tüketimini azaltmak adına aydınlatma elemanı, havalandırma sistemi, duvar-çatı ısı yalıtımı, gölgelendirme elemanı ve pencere değişimi olmak üzere 6 iyileştirme stratejisini değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda ısıtma, soğutma ve aydınlatma stratejileriyle enerji tüketimi %60 oranında azaltılabilmektedir. Tüm enerji stratejileri aynı ölçüde etkili olmamakla birlikte pasif stratejilerde en etkili olanı duvar ve çatı yalıtımları iken en az etkili olanı ise gölgeleme elemanı kullanımıdır. Dış duvarlara ısı yalıtımı eklenmesi ve ısı yalıtım kalınlığının artması ısıtma ve soğutma enerji tüketimini doğrusal oranda azaltmıştır. Enerji tüketiminde en etkin stratejiler etkili fan kullanımı, dış duvar ve çatı yalıtımı ve hava geçirimsizliği iken, soğutma talebinde en etkin stratejinin fan kullanımı olduğu tespit edilmiştir. Yapay ışıklandırmada verimli elemanların kullanımı ile enerji ihtiyacı %60 oranında azaltılabilmektedir. Çalışma sonucunda maksimum enerji tasarruf potansiyelleri minimum enerji tasarruf potansiyellerin aksine her binada değişiklik göstermiştir. Bu çalışma enerji etkinliğinin iklim konum ve bina özelliği bağlamında değişken değerler alabileceğini sonucuna ulaşmıştır [106].

Tüm bu literatür araştırmaları Tablo 3.3’te sunulmuştur. Tablo en fazla duvar, çatı ve cam türüne ait değişkenler üzerinde analiz yapıldığını ortaya koymaktadır.

Tablo 3.3. Literatür araştırması

Çalışma No	Kaynak	Bina Türü	Çalışma Yılı ve Yeri	Ekonomik Analiz	Ölçüm İzleme	Termal Kütle	Yönlenme	Biçim	Cam Tipi	Döşeme Konst.	Duvar Konst.	Çatı Konst.	Pencere Doğraması	Pencere-Duvar Oranı	İç Ortam Hava Kalitesi	Doğal Havalandırma Oranı	Gölgeleme Elemanı	Aydınlatma	HVAC Sistem	PV Paneller	Elektrik	Kullanım Ömrü	Kullanıcı Yoğunluğu
1	Florides vd.	Eğitim Binası	Amerika-2002	X		X	X	X	X		X	X				X	X						
2	Chung ve Rhee	Kampüs Binaları	G.Kore-2014								X	X	X		X			X			X		X
3	Şenel Solmaz	Eğitim Binası	izmir-2015				X		X	X	X	X					X						
4	Samaan vd.	Kampüs Binaları	Mısır-2016						X	X	X	X		X			X		X				X
5	Kattlo vd.	Eğitim Binası	2016						X		X	X		X				X	X				
6	Yang vd.	Konut Binası	Singapur-2016						X		X	X	X										
7	Gil-Baez vd.	Eğitim Binası	2018	X					X		X	X					X						
8	D'Agostino vd.	Eğitim Binası	İtalya-2018	X					X				X										
9	Ge vd.	Eğitim Binası	Çin-2018						X		X	X	X				X		X				
10	Zahiri vd.	Eğitim Binası	2019		X	X	X		X		X	X											
11	Ali vd.	Eğitim Binası	Ürdün-2019	X					X		X	X	X				X					X	
12	Koçyiğit	Karma Fonksiyon	Balıkesir		X						X	X	X				X	X	X				
13	Aldawoud vd.	Eğitim Binası	2020						X		X	X	X						X				
14	Randelović vd.	Eğitim Binası	2020			X					X	X											
15	Yıldız ve Koçyiğit	Eğitim Binası	Balıkesir-2020		X				X		X	X					X	X	X				
16	Gülaçmaz	Eğitim Binası	Samsun-2021		X				X		X			X					X	X			

4. MATERYAL VE METOT

Çalışmanın bu aşamasında araştırma problemini çözümü ve hipotezi test etmek için kullanılan materyal ve metot anlatılmaktadır. Toplanan veriler yardımıyla yapının hangi doğrultuda seçildiği, bina değişkenleri, bina kabuğuna ait termofiziksel özellikler, kullanıcı bilgileri ve dış çevre verileri belirtilmiştir. Ayrıca bu aşamada anahtar performans göstergeleri ile DesignBuilder programı hakkında genel bilgilere yer verilmiştir. Bölüm, verilerin toplanması, binanın simülasyonu, ısı bölgeleme ve kullanılan malzemelerin detaylı açıklanması ile devam etmektedir.

Çalışmada enerji tasarruf senaryoları iki başlık altında toplanmıştır. Bunlardan ilki varsayımsal senaryolardır. Bu senaryolara ait parametreler yönlenme ve kullanıcı yoğunluğudur. Çalışmanın son aşamasında referans binalara alternatif iyileştirme önlemi olarak sunulmayan bu önlemler İnönü Üniversitesi kampüsünde inşa edilecek yeni binalar için örnek niteliği taşımaktadır. Uygulanabilir parametreler başlığı altında ise 10 parametre bulunmaktadır: Duvar ana malzeme türü, duvar ısı yalıtım konumu, duvar ısı yalıtım türü, çatı ısı yalıtım türü, cam türü, pencere doğrama türü, çatı ıslıklık malzeme türü, gölgeleme elemanı tipi, gölgeleme elemanı çıkma uzunluğu ve pencere-duvar oranı. Bu parametreler ayrı ayrı senaryolarla incelenerek tablolar haline getirilmiş ve enerji tüketimleri analiz edilmiştir. Bir sonraki aşamada sonuçlar arasından ısıtma enerjisi tüketim sonuçları seçilerek CO₂ salınımları hesaplanmıştır. Daha sonra tablolardaki tüm sonuçlar incelenerek en verimli tasarruf önlemleri seçilmiş ve en verimli senaryo oluşturulmuştur. Son senaryonun da simüle edilmesi ile seçilen parametreler kapsamında üç binada maksimum enerji verimliliğine ulaşılmıştır.

4.1. Yöntem

Tez çalışması birbirini takip eden altı adımdan oluşmaktadır (Şekil 4.1). Çalışmanın ilk adımında problem tanımlanmış ve literatür taranmıştır. İkinci adımda vaka çalışması, uygulanacak parametreler ve enerji analiz modeli seçilmiştir. Referans binaların enerji analizi Bina Performans Simülasyonu (BPS) aracılığıyla simüle edilmiş ve BPS aracı olarak DesignBuilder programı seçilmiştir. Bina enerji analizi simülasyonu için gerekli projeler ve malzeme bilgileri İnönü Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'ndan alınmıştır. Alınan veriler DesignBuilder programına girilerek binaların mevcut plan ve malzemelerine uygun 3D modelleri yapılmış ve ardından simülasyon gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Yönteme dair adımlar

Üçüncü adımda simülasyon sonuçlarından elde edilen ısıtma ve soğutma tüketim değerleri gerçek doğalgaz tüketim değerleri ile ASHRAE standartlarına uygun olarak kalibre edilmiştir. Dördüncü adımda mevcut bina enerji performanslarının varsayımsal ve uygulanabilir senaryolar doğrultusunda değerlendirilmesine karar verilmiştir. Bu senaryolar Samaan vd. (2016)'nin tablosundan hareketle Şekil 4.2'de verilmiştir. Her parametre farklı bir senaryo ile simüle edilmiş ve sonuçlar tablolar halinde gösterilmiştir.

Senaryolara Ait Parametreler												
Varsayımsal		Uygulanabilir										
Yön	Yoğunluk	Duvar			Çatı		Pencere		Gölgeleme		P-D	
90°	0,3 m2/p	Ana Malzeme	Yalıtım Yeri	Yalıtım Türü	Yalıtım Türü	Cam Türü	Çerçeve Türü	Cam Türü	Tür	Çıkma Uzunluğu	%20	
180°	0,5 m2/p	Tuğla	Dışta	Cam Yünü	Taş Yünü	2 Katmanlı loE	PVC	2 katmanlı LoE	Üstten Asılı	0,5 m	%30	
270°	0,7 m2/p	Gazbeton	İçte	EPS	Cam Yünü	3 Katmanlı loE	Alm. Termal	3 katmanlı LoE	Panjur	0,7 m	%50	
		Beton Blok		Taş Yünü	Kaya Yünü				Yan Kanat	1 m		
				XPS	EPS				Yan Kanat ve Üstten Asılı			
					XPS							

Şekil 4.2. Çalışmaya ait senaryolar

Beşinci adımda ise nihai sonuçlar incelenip tasarruf potansiyeli en yüksek önlemler seçilerek en verimli senaryo oluşturulmuştur. Nihai senaryonun (S39-ALT) da simüle edilmesi ile seçilen parametreler kapsamında üç binada maksimum enerji verimliliğine ulaşılmıştır. Son olarak altıncı adımda S39-ALT senaryosunun sonuçları incelenip, öneriler sunulmuştur.

4.2. Referans Binalar ve Uygulama Alanı

Bu çalışmada Malatya ilinin Battalgazi ilçesinde bulunan İnönü Üniversitesi'nin 20 Temmuz 1982 tarihli kararnamesiyle kavuştuğu ilk binalardan Fen Edebiyat Fakültesi Eğitim Blok (A-B blok), Amfi Blok (F-G) ve İdari Blok (D-E) seçilmiştir (Şekil 4.3). Seçilen binalar üniversite içinde en çok tekrar eden yapılardır. Bu durum yapılan çalışmanın üniversite binalarının enerji tasarruf potansiyelini arttırmada daha fazla etkiye sahip olmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.3. İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi [107]



Şekil 4.4. Kampüs Fen-Edebiyat Fakültesi derslikleri inşaatı [27]



Şekil 4.5. 1987 yılında İnönü Üniversitesi kampüsü [27]

Binaların yapım tarihi incelendiğinde 1987 yılında Eğitim Fakültesi ofisler bloğu tamamlanmıştır. Aynı yıl İktisadi ve İdari Birimler Fakültesi ve Fen Edebiyat Fakültesi'nin derslik bloğunun betonarme inşaatı bitmiştir (Şekil 4.4), (Şekil 4.5). Tamamlanan binalar bir sonraki sene hizmete açılmıştır. Vaka çalışması için seçilen binalar yaklaşık 35 yaşındadır.

4.2.1. Referans Binaların Genel Özellikleri

Bu çalışmada örnek olarak seçilen binalar ulusal ve uluslararası birçok yarışmada ödül sahibi olan, üniversite kampüsü ve hastane tasarımında önemli bir birikime sahip, Türkiye'nin yetiştirdiği önemli mimarlardan Şükrü Sezar Aygen'in eserleridir (Şekil 4.6). Sezar Aygen'in üniversite içerisinde farklı kombinasyonlarla; eğitim (A-B) blok ile aynı tasarıma sahip 6 bina, idari (D-E) blok tasarıma sahip 5 bina ve bunların dışında 1 amfi, 1 rektörlük binası ve 5 ek blok tasarımı bulunmaktadır (Şekil 4.7), (Şekil 4.8).

S MİMARLIK ATELYESİ
Y. MÜH MİMAR SEZAR AYGEN (İ.T.Ü.)
 DİPL. NO : 8828 ODA SİC. NO : 2814 TUNALI HİLMİ CAD. 102/11 K. DERE ANKARA TEL. : 278036

MALATYA İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
TEMEL BİLİMLER VE SOSYAL BİLİMLER FAKÜLTELERİ

PAFTA İSMİ: CATI MEVİLLERİNİ GÖSTERİR DURUM PLANI Ölçekler: 1/200 PAFTA NO: MT-D 062 İLGI PAF:

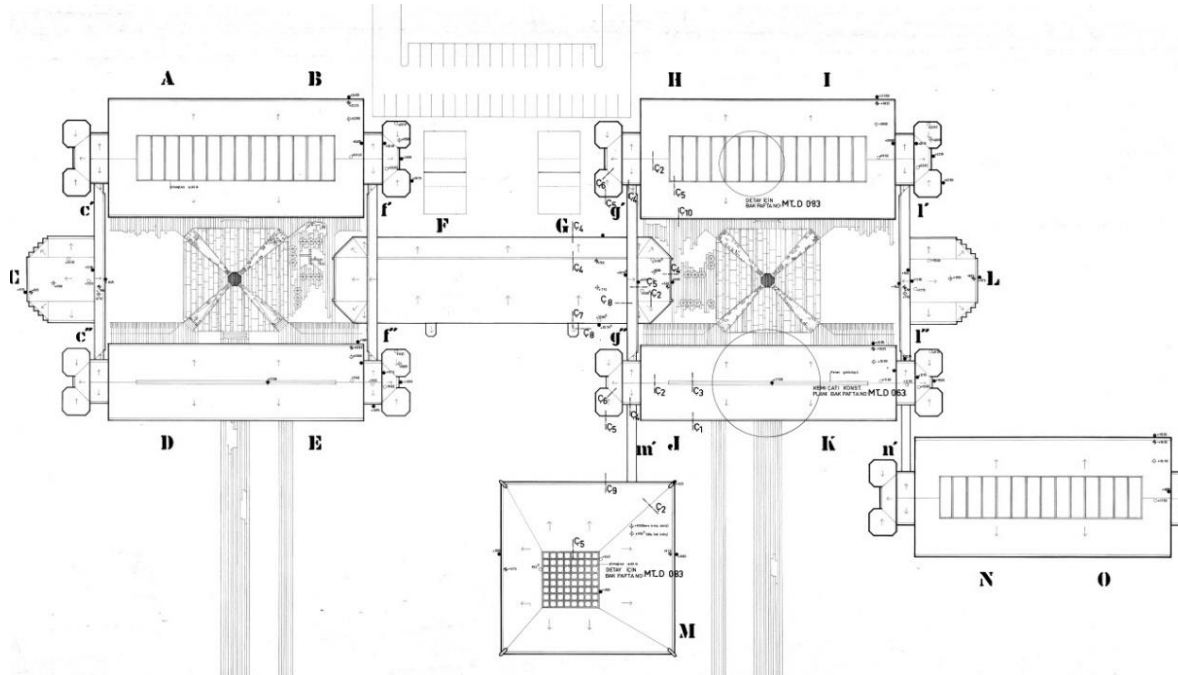
İSİM	DİPL. NO	ODA SİC.	ADRES	TELEFON	İMZA
STATİK	CAN BİNİZET	4597	3518	KARANFİL SOKAK 40/3 BAKANLIKLAR-ANKARA	17 68 97
TESİSAT	OSMAN NURİ ÖZEN	8728	2899	NERGİS SOKAK 5/2 ÇANKAYA-ANKARA	27 34 18
ELEKTRİK	ERGÜN SUR	5328	1505	ATATÜRK BULVARI SOYSAL HAN NO:34 YENİŞEHİR-ANKARA	17 53 15

BÜRO SEFİ: AYTEK İTİZ ÇİZEN: FUSUN KAYAKLIOĞLU
 YAPAN: SEZAR AYGEN KONTROL: SEZAR AYGEN

TASDİK TARİH: 29-11-1978

Şekil 4.6. Mimar Sezar Aygen'in İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi proje başlığı

İncelenen örnek yapılar Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde, 3. Bölge derece-gün illerinden Malatya İlinde konumlanmaktadır. Dikdörtgen forma sahip ve derinliği oldukça az olan yapılar doğu-batı yönlü konumları ile ışığı en etkin şekilde alacak şekilde tasarlanmıştır. Yapılar birbirlerine tüp geçitlerle bağlıdır.



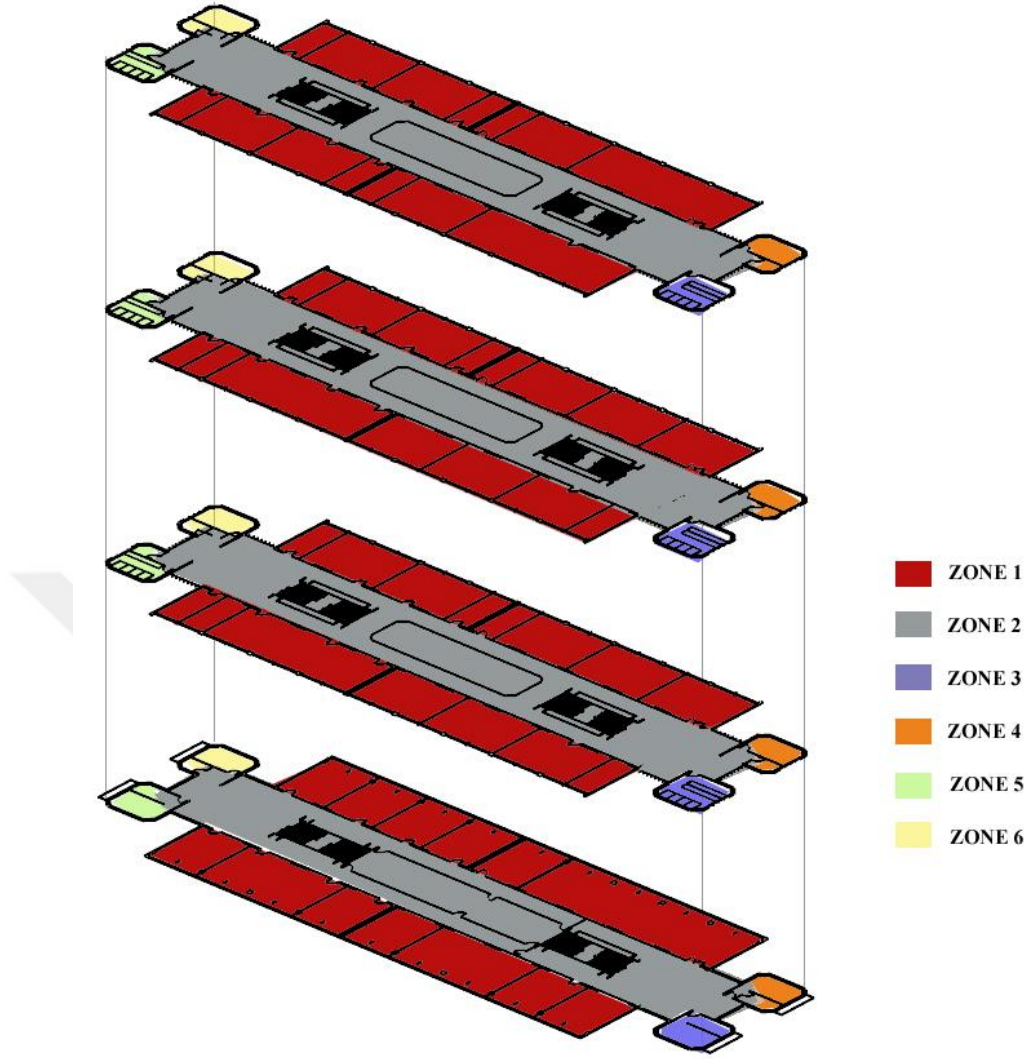
Şekil 4.7. Mimar Sezar Aygen'in İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi projesi vaziyet planı



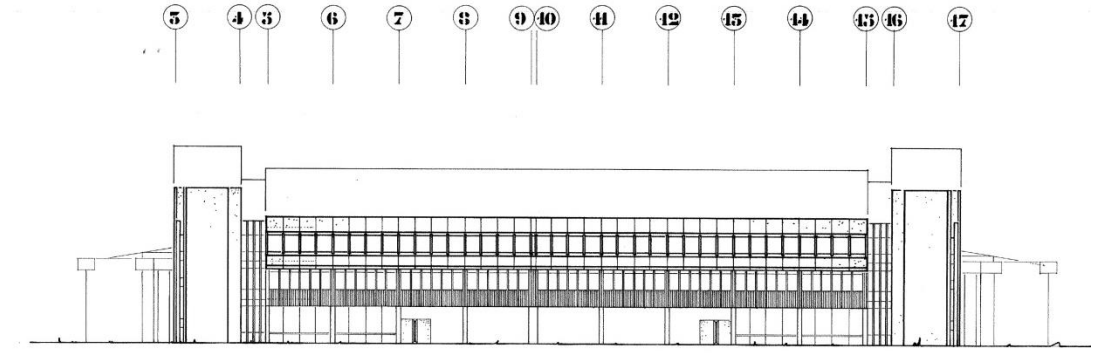
Şekil 4.8. 2021 yılı İnönü Üniversitesi Google Earth yerleşim görüntüsü

Bu çalışmada referans bina olarak üniversitenin en eski yapıları seçilmiştir. Bu yapıların eski yapım yöntemi ve malzeme kullanımları ile günümüzde kabul edilen ısıtma ve soğutma gerekliliklerini karşılama olasılıkları daha düşüktür. Çalışmada söz konusu binaların yıkılıp yeniden yapılması yerine enerji etkin iyileştirilmesi ile ulusal kaynakların korunması hedeflenmiştir. Bu yapıların seçilme nedenlerinden biri de kampüs yerleşiminde eğitim ve idari blokların kendini en çok tekrar eden tasarıma sahip olmalarıdır (Şekil 4.8). Eğitim A-B blok, idari D-E blok ve amfi bloğun tek bir sayaca bağlı olması çalışmaya ait simülasyon sonuçların kalibrasyonu açısından önem taşımakta ve üç bina birlikte değerlendirilmektedir.

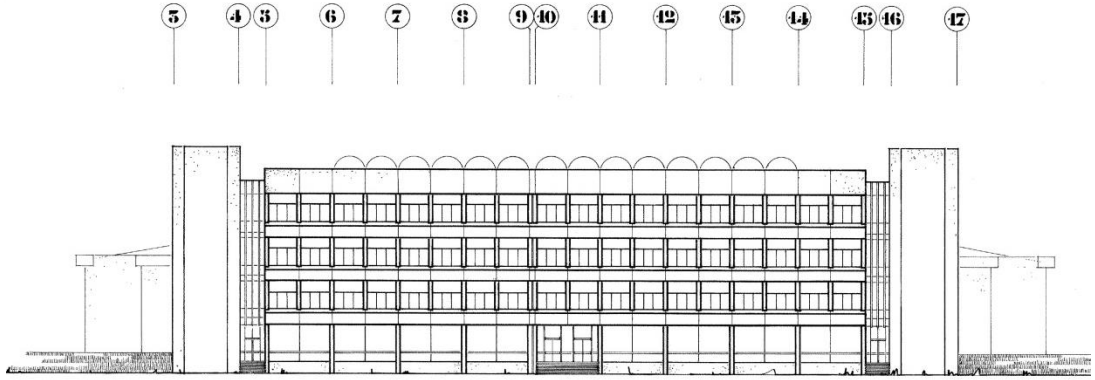
Çalışmanın referans binalarından biri olan eğitim (A-B) blok bodrum kat ile birlikte 5 kattan oluşmaktadır (Şekil 4.9). Yapı toplam 9488,2 m² kapalı alana sahiptir. Kuzey ve güney cephelere yerleştirilen Fen-Edebiyat Fakültesi derslikleri çatıdan ışık alan ve ana sirkülasyonun sağlandığı bir hol ile birleştirilmektedir. Binanın doğu ve batı cephesinde depolar ve tuvaletler bulunmaktadır. A-B blokta yapının içindeki tüm birimler cephelerde konumlandırılarak doğal aydınlatma sağlanmıştır. Yapının merkezinde konumlanan sirkülasyon alanları da çatı ışıklığı yardımı ile gün ışığı alabilmektedir. Yapının kat planları derslik, ortak alan, depo/arşiv olarak gruplandırılmıştır.



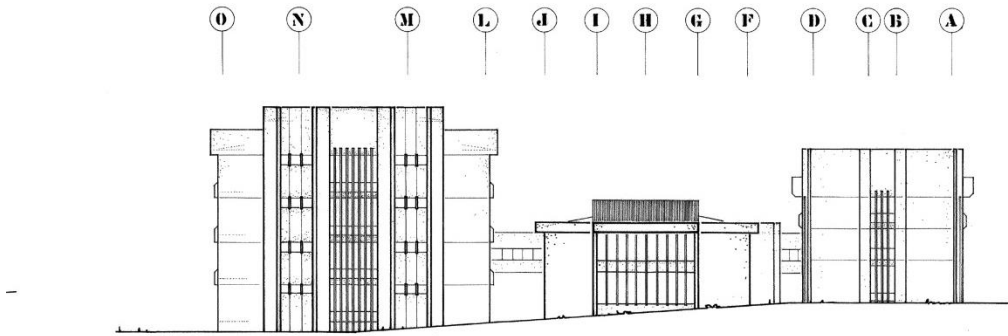
Şekil 4.9. İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi A-B blok kat planları



KUZEY GÖRÜNÜŞÜ 1/200



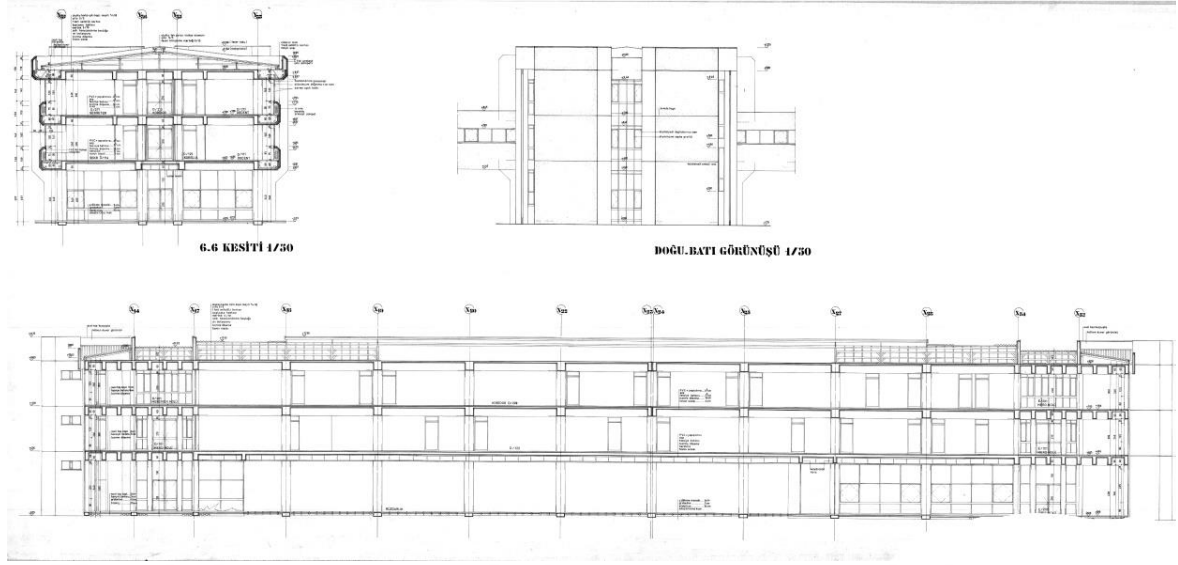
GÜNEY GÖRÜNÜŞÜ 1/200



BATI GÖRÜNÜŞÜ 1/200

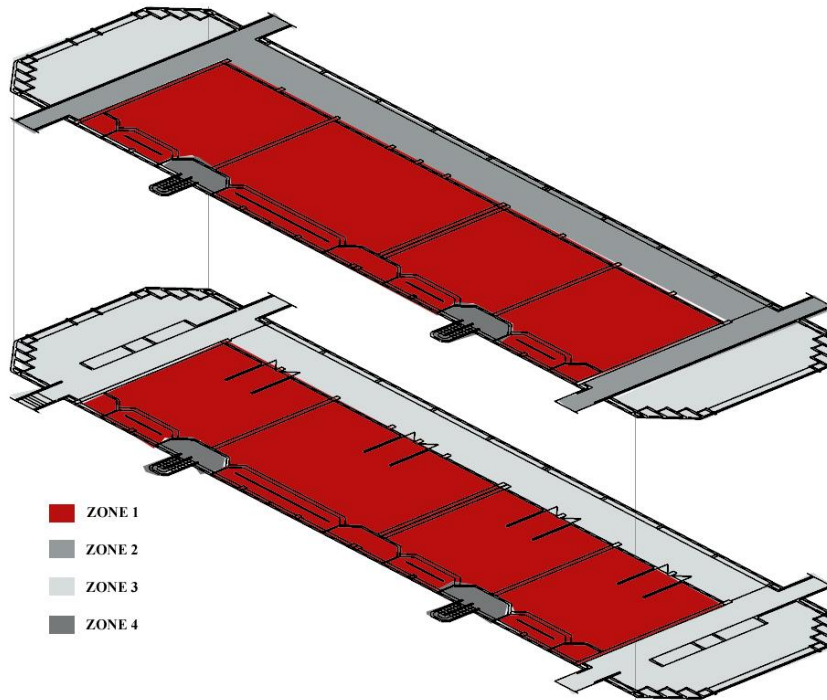
Şekil 4.10. İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi görünüşler

İdari (D-E) blok da üniversite binalarının genel yerleşim şekli olduğu gibi doğu-batı yönlü konumlandırılmıştır. Toplam 4695,7 m² kapalı alana sahip olan bina zemin+2 kattan oluşmaktadır (Şekil 4.10). Bina planı incelendiğinde kuzey ve güney cephelerde idari ofisler bulunmaktadır.

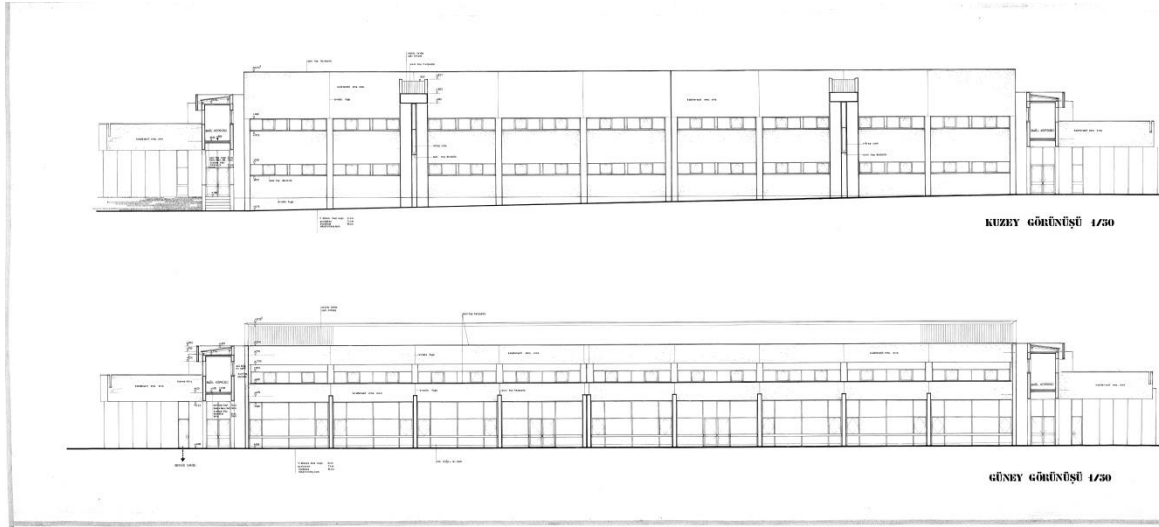


Şekil 4.12. İnönü Üniversitesi D-E blok görünüş ve kesitler

Amfi (F-G) blok zemin+1 kat olarak projelendirilmiştir. Toplam kapalı alan 2.072,2 m²'dir. Amfi blokta zemin katta amfiler yer almaktadır. Birinci katta ise eğitim binası ve idari bina ile laboratuvar, dekanlık binalarına geçiş sağlanan bir koridor görevi görmektedir (Şekil 4.13), (Şekil 4.14).



Şekil 4.13. İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi F-G blok kat planları



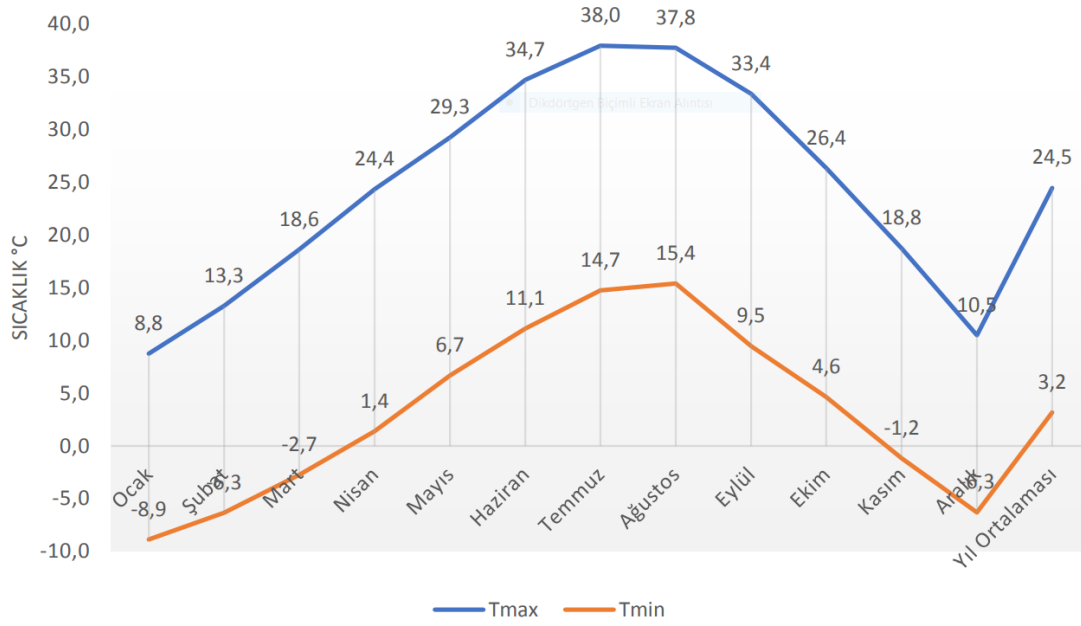
Şekil 4.14. İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi F-G blok görünüşler

4.2.2. Uygulama Alanı

Yapılan çalışmaya ait dış çevre verileri yapıyı çevre, iklim, yer şekilleri, bitki örtüsü gibi değişkenlerden oluşmaktadır. Bu değişkenlerde enerji kullanım oranında en etkili olanı iklim verileridir. İnşa edilecek her bir yapının kendi iklimine özgü ısıtma dönemleri dikkate alınarak tasarlanması gerekmektedir. Bu durumda yapı minimum enerji ihtiyacıyla ömrünü tamamlayabilecektir. Örnek çalışma için Malatya ilinin iklim verileri elde edilmiş ve bu verilere göre simülasyon sağlanmıştır.

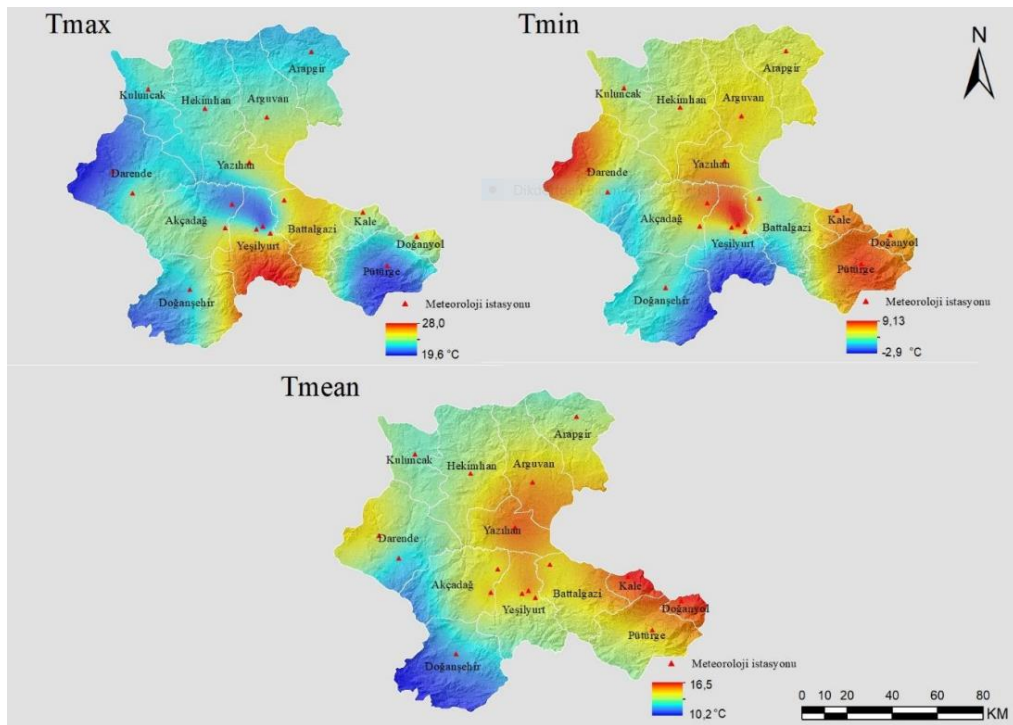
Malatya ili $38^{\circ} 45' - 39^{\circ} 08'$ doğu meridyenleri ile $35^{\circ} 54' - 39^{\circ} 03'$ kuzey paralelleri arasında konumlanmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Havzasında yer alan il ve Muş, Elazığ, Van, Bingöl, Adıyaman illerinin de bulunduğu çöküntü bölgesinin güneybatı ucunda bulunmaktadır. Elazığ, Diyarbakır, Kahramanmaraş, Adıyaman, Erzincan ve Sivas illeri ile komşudur. Kentin yüzölçümü $11.776,5 \text{ km}^2$ 'dir [108].

Malatya ili Orta Anadolu, Doğu ve Güneydoğu bölgeleri arasında yer alan bir ova [108], Doğu Anadolu Bölgesi'nin en batısında yer alan bir havzadır. Denize uzak ve yüksek rakımlı (900 m.) bölge iklimi, yaz aylarının kurak ve sıcak; kış aylarının soğuk ve yağışlı olmasına temel sebebidir. Yapılan bir çalışmada Thorntwaite Formülü incelendiğinde çalışma alanının yarı kurak, orta sıcaklıkta (Mezotermal) ve karasal iklimde olduğu belirtilmektedir [109]. Malatya ilinin bir havza oluşu, farklı bölgelerde farklı iklimsel özellikler göstermesine neden olmaktadır (Şekil 4.8). Söz konusu iklimsel özellikleri içerisinde farklı üç iklim bölgesi oluşturmaktadır. Bölgenin güney ovasında Suriye Çölü'nün yakıcı iklimi ile Fırat-Dicle nehirlerinin ılıman ikliminden etkilenen Akdeniz İklimi; yüksek kesimlerinde İç Anadolu Step İklimi ve dağlık bölgelerde, her iki bölgenin de etkisinde bulunan, kışları soğuk geçen bir iklim görülmektedir.

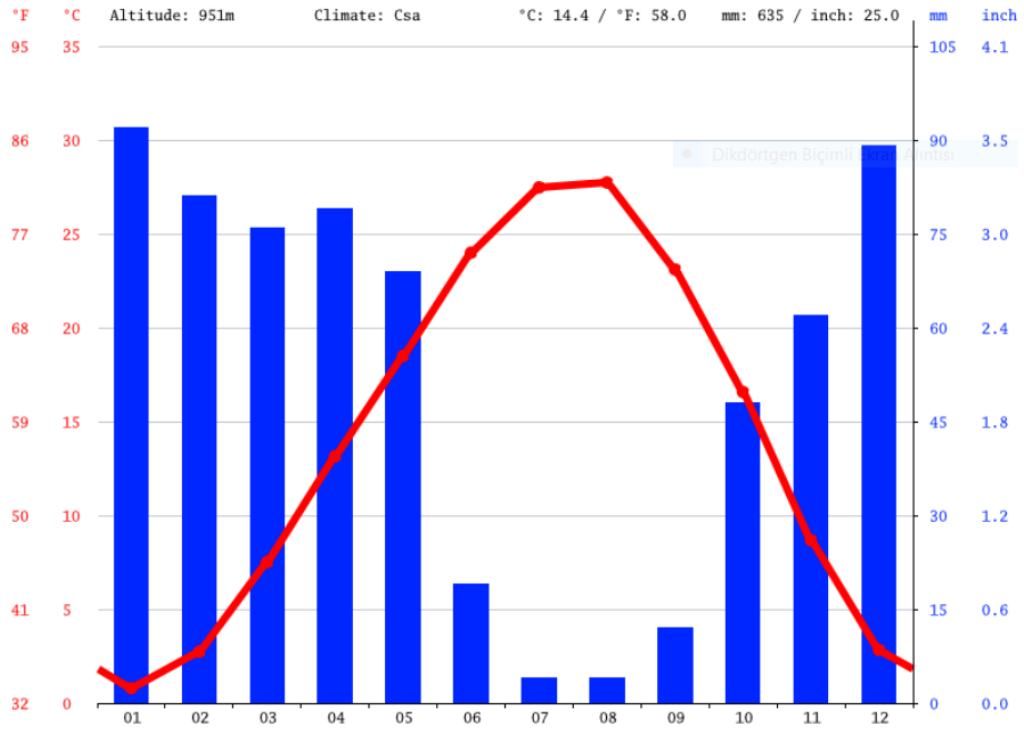


Şekil 4.15. 1959-2019 genel sıcaklık ortalaması [110]

Şekil 4.15’de Malatya ilinin 1959-2019 tarihlerinde aylara göre sıcaklık ortalaması verilmiştir. Bölgede ısıtma ihtiyacı Ekim ve Mayıs ayları arasındaki 7 aylık zaman dilimini kapsamaktadır En sıcak aylar Temmuz ve Ağustos, en soğuk aylar ise Ocak ve Şubat’tır.



Şekil 4.16. 1959-2019 yıllık ortalama Tmean, Tmax e Tmin dağılım haritası [110]



Şekil 4.17. Malatya ili iklim grafiği [111]

Malatya Battalgazi ilçesinde yer alan Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) havabilim istasyonundan alınan veriler en yüksek Tmax ölçümünün 15,6 °C (2019 yılı verisi), en düşük Tmax ölçümünün 10,6 °C (2016 yılı verisi) olduğu, en yüksek Tmin ölçümünün -6,0 °C (2018 yılı verisi), en düşük Tmin ölçümünün -16,5 °C (2016 yılı verisi) olduğunu göstermektedir [110] (Şekil 4.16). Malatya ilinde ilkbahar mevsimi yağış oranın en yüksek olduğu dönemdir (Şekil 4.17). Kent genelinde ormanlık alanlardan oluşan bitki örtüsüne rastlanmamaktadır [108].

4.3. Anahtar Performans Göstergeleri

Bina performansları değerlendirilirken çeşitli performans göstergeleri (PG) ile ifade edilmektedir [112]. Performans göstergeleri bina performans değerlerin nicel olarak aktarabilen metrik değerlerdir. IEA'dan aktarılan bilgiye göre en fazla tercih edilen gösterge enerji tüketim yoğunluğudur. (MJ/m²) ve bu gösterge ile farklı boyut ve tipteki binalar enerji kullanımına göre kıyaslanabilmektedir [112].

Bu tez çalışmasında soğutma ve ısıtma yüklerine ait gösterge kWh birimi olarak seçilmiştir. CO₂ salınımına ait gösterge ise kg birimi olarak seçilmiştir. Çalışmada 1 m³ doğalgazın yakılması ile 2,75 kg CO₂ salınımı yapıldığı kabul edilmiştir [113,114].

4.4. DesignBuilder Programı

Bina enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik detaylı analizlere ulaşabilmek için bina simülasyonları yapılmaktadır. Bina Performans Simülasyon (BPS) araçları mimari tasarımın değerlendirilmesinde oldukça etkilidir. Bu araçlar tasarım, konstrüksiyon, ısıtma ve soğutma yükleri, havalandırma ve aydınlatma sistemleri gibi birçok parametreyi ele almaktadır. Bu girdiler ısıll konfor ve enerji ihtiyacı hesapları için yazılımın simülasyon motoru ile analiz edilir. BPS araçları farklı kapsamlarda kullanılmaktadır. Kullanımlar amaç, metodoloji, girdi değişkenleri ve çıktı sonuçlarına göre sınıflandırılabilir [96].

Bu çalışmada kullanılan DesignBuilder programı EnergyPlus tabanlı bir yazılım aracıdır. EnergyPlus en güvenilir bina performans simülasyon araçlarından biri olsa da yüksek uzmanlık gerektirdiğinden mimarlar tarafından bağımsız bir program olarak kullanımı oldukça zordur [96]. Bu sebeple modelleme yapmak ve EnergyPlus'a aktarabilmek için kullanıcı dostu bir arayüz programı olarak DesignBuilder programı geliştirilmiştir. Bu simülasyon aracı farklı bina tasarımlarını enerji, aydınlatma, iç ortam konforu, karbon tüketimi gibi parametrelerle işlev ve başarımlarını kıyaslayarak çeşitli sonuçlar ortaya koymaktadır. 3D bina modellemesi ve simülasyon aracını bünyesinde barındıran program tek parametrelili bir tasarımla çalışabildiği gibi detaylı bir tasarımla uyumlu olarak da çalışabilmektedir [115].

Programın özellikleri incelendiğinde CFD (Computational Fluid Dynamics) modülü ile yapının iç ve dış ortamda hız, sıcaklık ve basınç dağılımlarını değerlendirebilmekte; farklı bina kabuğu seçimlerinde enerji tüketimi, gölgeleme ve ısınma değerleri karşılaştırılabilmekte; günışığının etkin kullanımı ve aydınlatma kontrol sistemlerinin elektrik tüketimindeki verimlilik oranlarını belirleyebilmekte; ısıtma ve soğutma performansları da dâhil olmak üzere HVAC sistemi seçiminde yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda doğal havalandırılan yapıları da ısısal açıdan simüle edebilmektedir. Bu program güneşin düştüğü açıya bağlı olarak binanın gölgelenmesini izleme imkânı sunmaktadır.

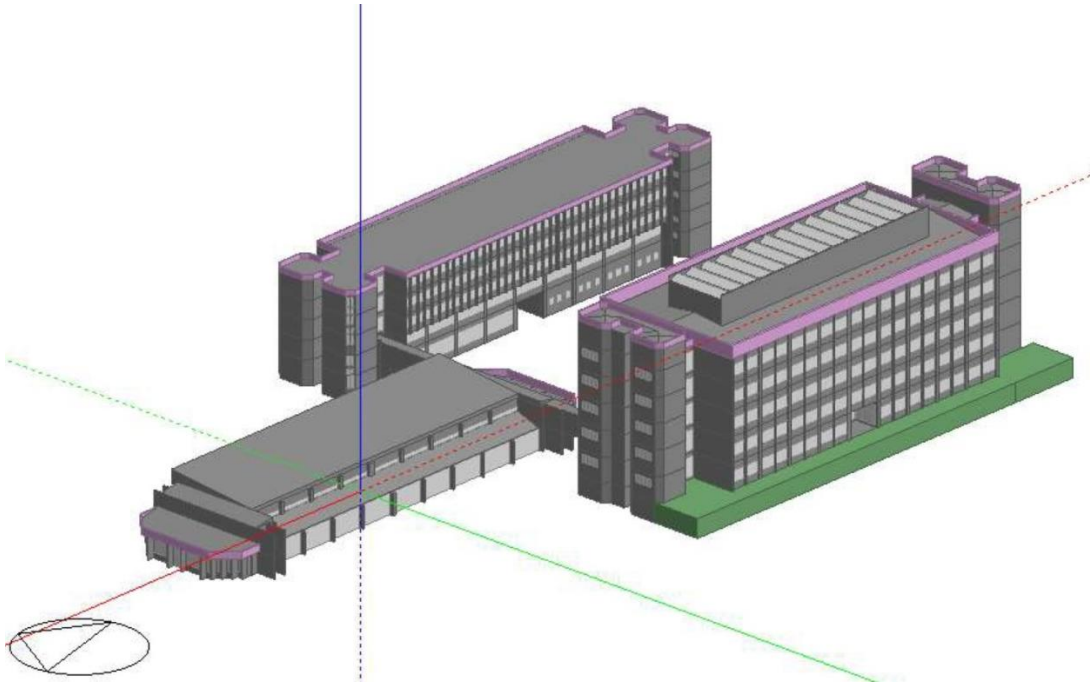
DesignBuilder programı en güncel sürümlü EnergyPlus motoru ile enerji tüketim performansını ölçmektedir. Bu program ile sonuç verileri hem tablo hem grafik şeklinde kullanıcının bilgisine sunulabilmektedir. Ayrıca sonuçların filtreye tabi tutulabilmesi bilgi karmaşasını önlemektedir. EnergyPlus motoruna ara yüz oluşturan bu program, en karmaşık yapıların bile çeşitli profillerdeki kullanıcıların tarafından kolaylıkla modellenebileceği düzeyde anlaşılır bir dile sahiptir. Program bu yönüyle disiplinler arası çalışmaları desteklemektedir. Ayrıca kapsamlı içeriği ve kolay kullanımıyla üniversite derslerinde de yerini almaktadır [115]. Bu bilgiler ışığında, çalışma kapsamında, araştırılan konunun gereksinimleri ile yazılımın güncellik, geçerlilik ve doğruluk değerleri göz önünde bulundurularak DesignBuilder programı kullanımı tercih edilmiştir.

4.5. Binaların Modellenmesi ve Performans Simülasyonu

Binalar çeşitli malzeme ve enerji kaynaklarının tüketildiği alanlardır. Yüksek performanslı bir binanın kaynak ihtiyacını en yenilikçi ve en verimli şekilde karşılaması beklenmektedir. Fakat çoğu zaman bu beklenti istenilen ölçüde karşılanamamaktadır. Enerji tüketiminde istenilen verimliliğe ulaşabilmek için öncelikle binayı kapsamlı bir şekilde analiz etmek gerekmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bilgisayar tabanlı simülasyon programları detaylı enerji analizlerinde ve binaların enerji verimliliklerinin yükseltilmesinde karar verici araçlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu araçlar hem yeni tasarımların hem de mevcut binaların, tasarım ve kullanım ömürlerini kapsayan süreç içerisinde farklı iyileştirme önlemlerinin sınanmasına olanak sağlamaktadır [116].

4.5.1. Binaların Modellenmesi

Bina enerji simülasyon programlarının kullanım aşamaları incelendiğinde öncelikle bina formu ve açıklıklar modellenmelidir. Bina modellemesine başlarken çoğu programda olduğu gibi DesignBuilder programında da CAD (Computer Aided Design/Drafting) verilerinin DXF (Data Exchange File) formatına dönüştürülerek kullanılması gerekmektedir. DesignBuilder programında tasarımın hem iki boyutlu hem de üç boyutlu görüntüsü aktarılabilir. Aşağıdaki şekilde bu çalışma kapsamında referans binaların simülasyon modeli gösterilmektedir (Şekil 4.18).

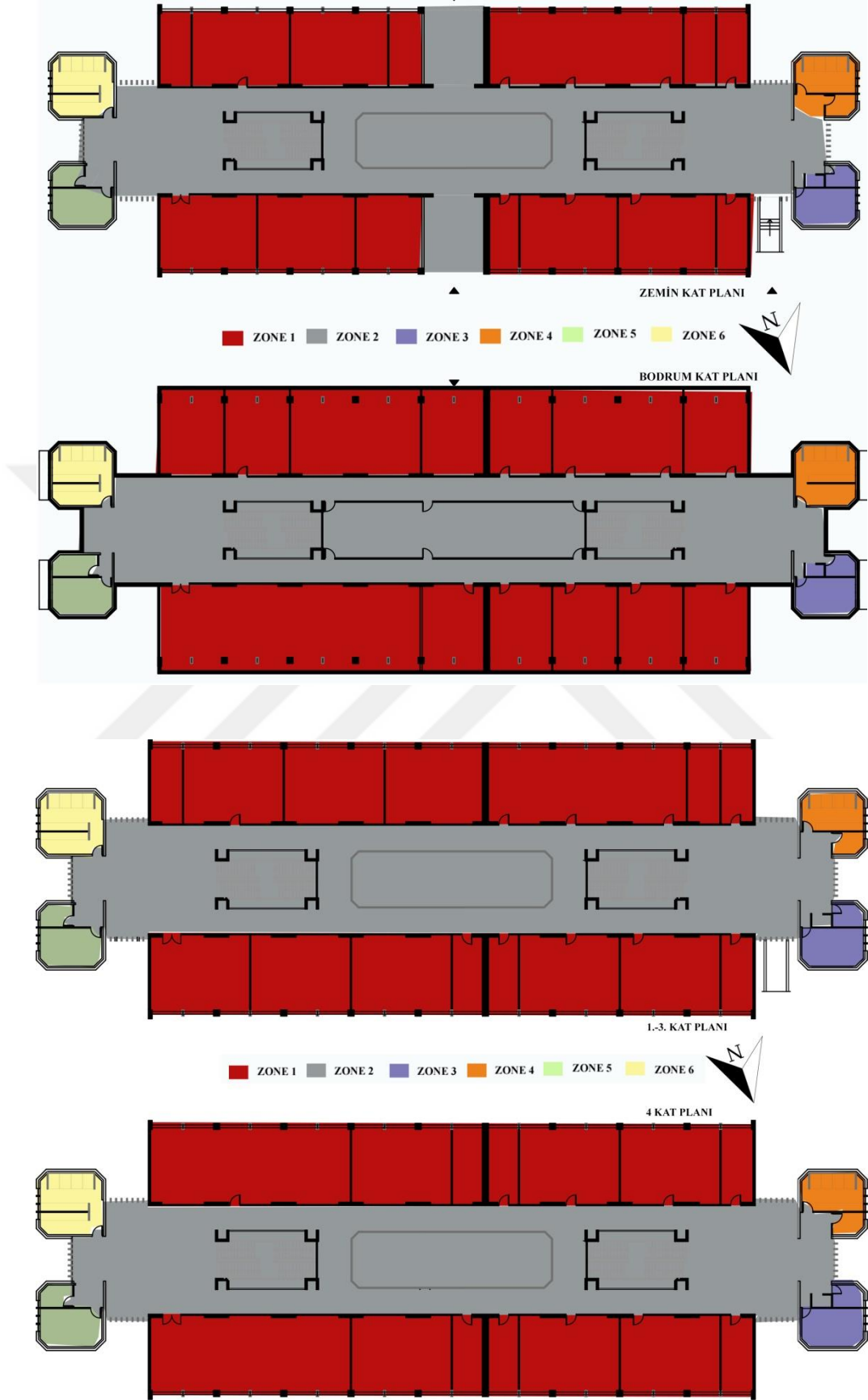


Şekil 4.18. Referans binaların DesignBuilder programında oluşturulan modeli

4.5.2. Isıl Bölgeleme

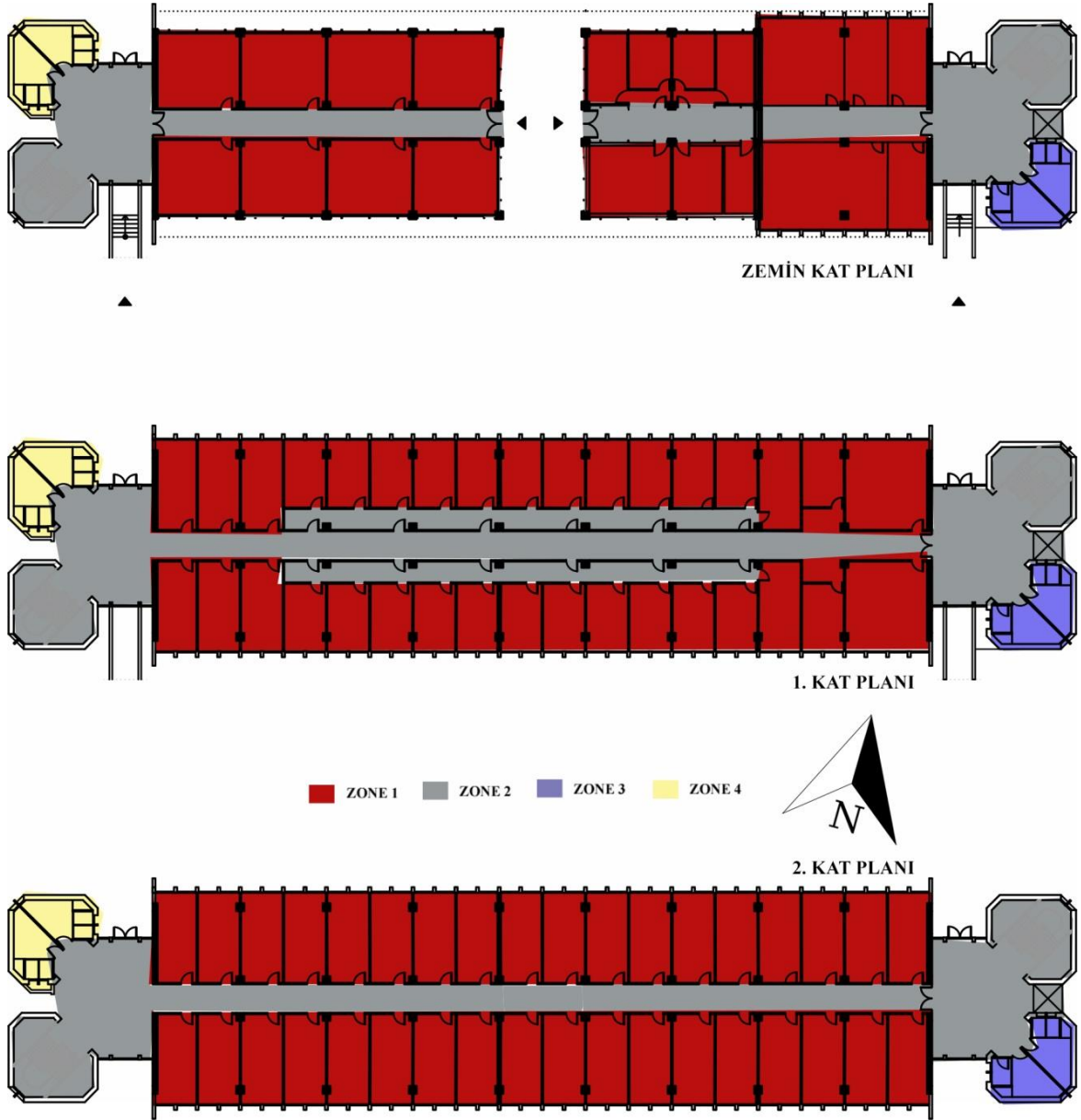
Bina modellemesinin tamamlanmasının ardından bina içerisinde benzer alan koşullarına sahip, aynı ısı koşullarında olan mekânların gruplandırılması gerekmektedir. Bu gruplandırma ısı bölgeleme olarak adlandırılmaktadır. Isıl bölgeleme yapılırken ihtiyaçlar gözetilerek minimum gruplandırma yapmaya dikkat edilmelidir. Kullanıcı deneyimlerine bağlı kararlar ile yapıların alt bölümlere ayrılmasının ardından bölgelerin kullanıcı yoğunlukları ve aktivite verileri ile yapının konumu, iklim verileri, yapı elemanlarına ait malzemelerin seçilimi ve malzemelerin ısı geçirgenlik kat sayısı değerleri, programa tanımlanmalıdır [64]. Daha sonra soğutma, ısıtma ve havalandırma için kullanılacak sistemleri belirlenmelidir.

İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi A-B (eğitim) blok modellemesine ait ısı bölgeleme Şekil 4.19’de verilmiştir. Bu modelde Zone 1 derslikleri, Zone 2 sirkülasyon alanlarını, Zone 3 ve Zone 5 depoları, Zone 4 ve Zone 6 ise WC’leri ifade etmektedir.



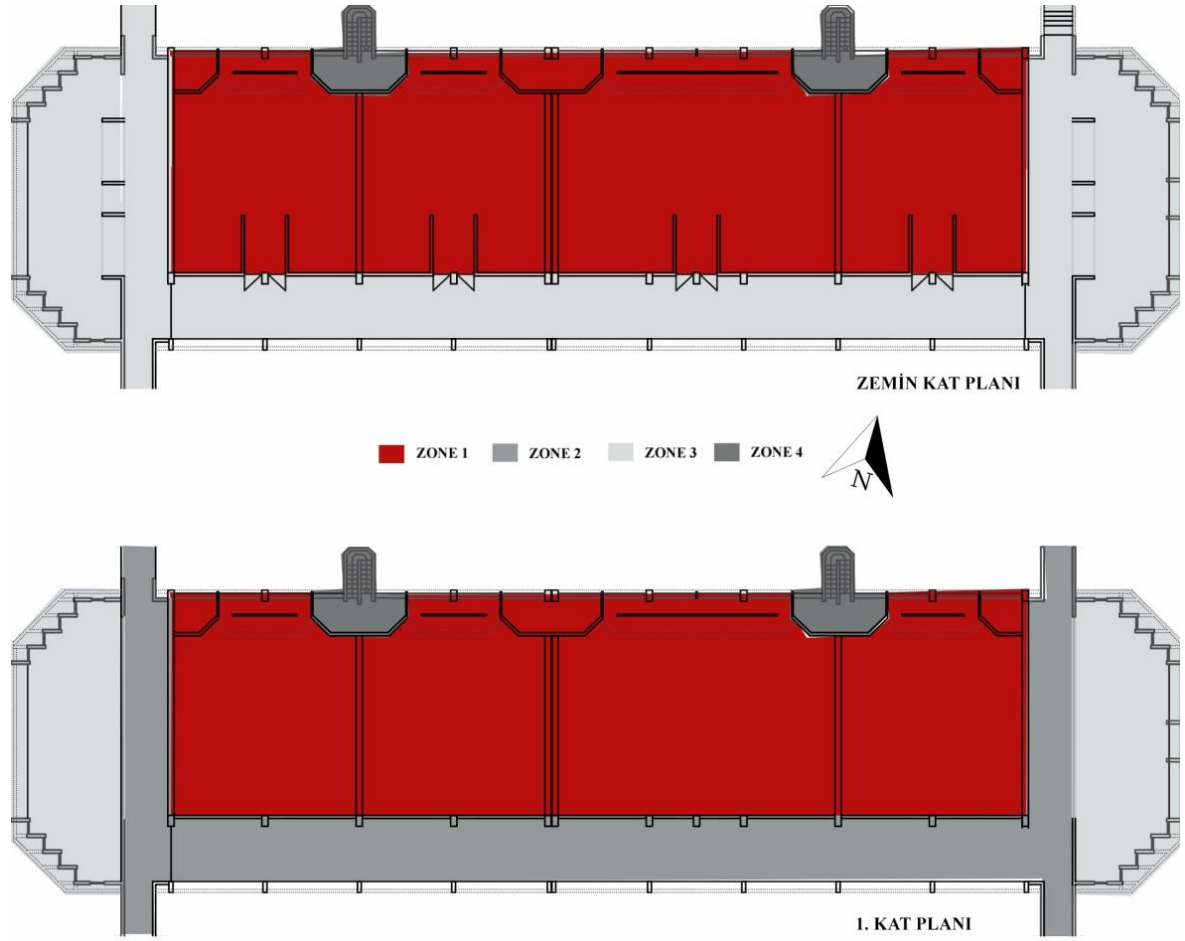
Şekil 4.19. A-B blok modelinde ısııl bölgeleme

Fen Edebiyat Fakültesi D-E blok modellemesine ait ısıl bölgeleme Şekil 4.20’de verilmiştir. Bu modelde Zone 1 ofisleri, Zone 2 sirkülasyon alanlarını, Zone 3 ve Zone 4 ise WC’leri ifade etmektedir.



Şekil 4.20. D-E blok modelinde ısıl bölgeleme

Fen Edebiyat Fakültesi D-E (idari) blok modellemesine ait ısıl bölgeleme Şekil 4.15’de verilmiştir. Bu modelde Zone 1 ofisleri, Zone 2 sirkülasyon alanlarını, Zone 3 ve Zone 4 ise WC’leri ifade etmektedir.



Şekil 4.21. F-G blok modelinde ısı bölgeleme

Fen Edebiyat Fakültesi D-E (idari) blok modellemesine ait ısı bölgeleme Şekil 4.21’de verilmiştir. Bu modelde Zone 1 amfileri, Zone 2, Zone 3 ve Zone 4 ise sirkülasyon alanlarını ifade etmektedir. Her zone grubunda sıcaklığın aynı olduğu varsayılmaktadır.

4.5.3. Binalara Ait Veriler

Bina enerji analizleri için yapılan simülasyonlarda binanın kullanım ve kullanıcı bilgileri gibi konularda bazı kabuller yapılması gerekmektedir. Bu kabuller varsayımsal olabileceği gibi bazı standartlardan destek alınarak oluşturulmuş olabilmektedir [117].

Bu çalışmada DesignBuilder programının aktivite, konstrüksiyon, açıklıklar, aydınlatma ve havalandırma başlıkları altında verilen girdiler Özlük (2021) tarafından hazırlanan tablodan hareketle oluşturulmuştur (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. DesignBuilder programında bina simülasyonuna ait girdiler

		A-B	D-E	F-G
Soğutma	Termostat ayar sıcaklığı (°C)	23	24	23
Isıtma	Termostat ayar sıcaklığı (°C)	20	21	20
Havalandırma	Doğal Havalandırma	Evet	Evet	Evet
	Mekanik Havalandırma	-	-	-
Aydınlatma	Aydınlatma Güç Yoğunluğu	5	5	5
Isıtma Saatleri	Hafta İçi	06.00-20.00	06.00-20.00	06.00-20.00
Kullanıcı yoğunluğu	kişi/m ²	0,2034	0,1030	0,2017
Tatil Gün Sayısı	-	12	12	12
Ekipman	W/m ²	4,74	11,99	1,83
Giysi Yalıtım Değerleri	Kış için (clo)	1,0	1,0	1,0
	Yaz için (clo)	0,5	0,5	0,5

Çalışma kapsamında incelenen İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi eğitim (A-B) blok, idari (D-E) blok ve amfi (F-G) blok bütüncül bir yaklaşımla köprüler halindeki bloklar olarak inşa edildiğinden yapı kabukları aynı malzemelerden oluşmaktadır. İnönü Üniversitesinden alınan yapı malzemelerine ait veriler Tablo 4.2’de sunulmaktadır. Malzemelere ait sayısal veriler için DesignBuilder TM programının kütüphanesi kullanılmıştır.

Tablo 4.2. Referans binaların mevcut yapı bileşenlerine ait termofiksel özellikler

	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isıl İletkenlik λ (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	U Değeri W/(m ² K)	Isıl Direnç R (m ² K) /W
DIŞ DUVAR	Kaba Sıva (Dış)	0,02	0,500	1300	0,801	1,249
	Tuğla	0,10	0,840	1700		
	EPS1	0,03	0,046	10		
	Tuğla	0,135	0,620	1700		
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000		
İÇ DUVAR	Kaba Sıva (Dış)	0,02	0,500	1300	2,004	0,499
	Tuğla	0,10	0,840	1700		
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000		
ARA DÖŞEME	Mozaik Kaplama	0,02	2,000	2243	2,247	0,445
	Tesviye Betonu	0,03	1,130	2000		
	Betonarme Döş.	0,10	1,130	2000		
	Tavan Sıvası	0,02	0,400	1000		
ZEMİN	Mozaik Kaplama	0,01	2,000	2243	2,643	0,378
	Koruma Betonu	0,03	1,130	2000		
	Grobeton	0,03	1,130	2000		
	Betonarme Döşeme	0,10	1,130	2000		
	Su yalıtımı	0,005	0,230	1100		
ÇATI	Paslanmaz Çelik Sac	0,002	17,00	7900	3,994	0,250
	Bitüm Membran	0,005	0,230	1100		
	Betonarme Döşeme	0,100	1,130	2000		
ÇATI IŞIKLIK TÜRÜ	Berrak Cam LowE	0,003	0,9	-	0,786	-
	Argon Gazı	0,013	-	-		
	Berrak Cam	0,003	0,9	-		
	Argon Gazı	0,013	-	-		
	Low-E Cleat Rev	0,003	0,9	-		
CAM TÜRÜ	Berrak Cam LowE	0,003	0,900	-	0,786	0,661
	Argon Gazı	0,013	-	-		
	Berrak Cam	0,003	0,900	-		
	Argon Gazı	0,013	-	-		
	Low-E Cleat Rev	0,003	0,900	-		
PENCERE DOĞRAMASI	PVC	0,020	0,170	1390	3,476	0,288

Simülasyonun başlatılabilmesi için en önemli parametrelerden biri yapının konumlandığı bölgenin saatlik iklimsel verileridir. Bu verileri, bazı programlarda, manuel olarak işlenebilse de

programlar yaygın olarak farklı formatlardaki (TRY, TMY, BIN, WYEC, vb.) paket iklim verilerini kullanmaktadır. Bu çalışmada Malatya ili 2007-2021 yıllarına ait saatlik iklimsel verilerin bulunduğu dosyaya ulaşarak [118] ddy, epw ve stat uzantılı veriler programa girdi olarak sunulmuştur.

4.5.4. Enerji Simülasyonu Kalibrasyonu

Lam vd. (2008)'ne göre binaları modellemek ve simülasyon sonuçlarının gerçek tüketim verileri ile kalibrasyonunu sağlamak en yaygın doğrulama yöntemidir [112].

Bina enerji verimliliğinde kullanılan ASHRAE 14 Yönetmeliği incelendiğinde simülasyon ve gerçek tüketim değerlerinin kalibrasyonu için iki katsayı kullanılmaktadır. Bunlardan ilki CV_RMSE (Coefficient of Variation of The Root Mean Square Error) ve ikincisi NMBE (Normalized Mean Bias Error) katsayısıdır (Denklem 4.1), (Denklem 4.2). Bu katsayıların formülleri;

$$MBE (\%) = \frac{\sum_{i=1}^{Np} (m_i - s_i)}{\sum_{i=1}^{Np} (m_i)} \quad (4.1)$$

$$CV\ RMSE (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{Np} (m_i - s_i)^2 / Np}}{\overline{m_p}} \quad (4.2)$$

Bu formülde;

m_i : gerçek enerji tüketim değeri

s_i : simülasyon programı enerji tüketim değeri

N_p : “p” aralığındaki verilerin sayısıdır ($N_{aylık}=12$).

$\overline{m_p}$: ölçülen gerçek değerlerin ortalaması

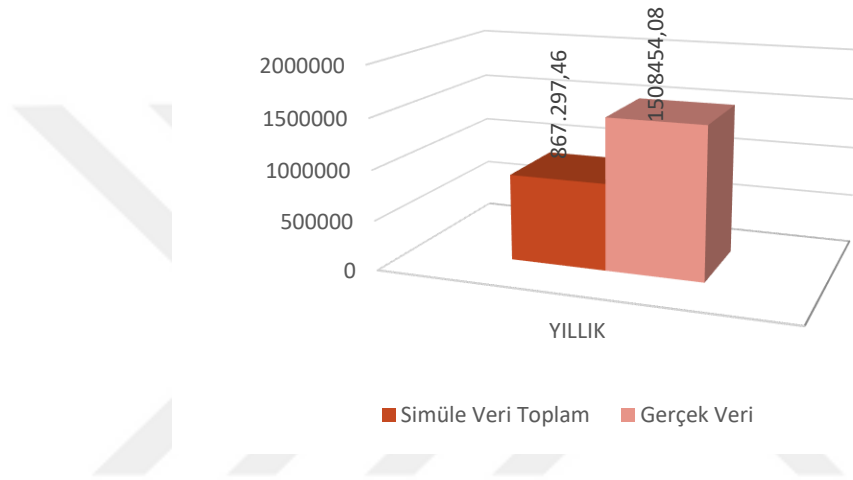
ASHRAE 14 için binanın aylık tüketim değerlerine göre CV_RMSE değerinin %15'in altında olması önerilirken, NMBE değerinin ise %5'in altında olması beklenmektedir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Simülasyon modeli kalibrasyonu için ASHRAE kabul edilebilir sınır değerleri [119]

Standart	Saatlik Kriter		Aylık Kriter	
	MBE	CVRMSE	MBE	CVRMSE
ASHRAE	15	30	5	15

Bu çalışmada yapılan modelleme ve simülasyonun ürünü olan ısıtma enerjisi ile gerçek doğalgaz tüketim verileri (Şekil 4.22) ASHRAE standartlarındaki CV_RMSE ve NMBE

formüllerine göre kalibre edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda CV_RMSE ve NMBE değerleri sırasıyla %0,26 ve %0,43 olarak tespit edilmiştir. Her iki değerin de ASHRAE 14 yönetmeliğinde aylık kriterlerde tavsiye edilen maksimum değerlerin altında olduğu görülmektedir. Bu durum bina enerji modelindeki hata paylarının kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğunu göstermektedir. Sonuçlar oluşturulan modelin doğruluğunu ve gerçek binaları temsil edebileceğini göstermektedir. Bu çalışmada referans bina modelinin soğutma enerjisine ait gerçek tüketim verilerine ulaşamamıştır. Bu nedenle kalibrasyon sağlamak için sadece ısıtma enerjisi tüketimi kullanılmıştır.



Şekil 4.22. Ölçülen doğalgaz tüketim değerleri ile simülasyon tüketim değerlerinin karşılaştırılması

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Mevcut yapılarda enerji tüketim ihtiyacının azaltılmasına yönelik pasif iyileştirme önerili senaryolar ile optimum enerji tüketimi sağlanabilmektedir. Bu tez çalışmasında minimum enerji kullanımı sağlamak amacıyla İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi'nin farklı kullanımlı üç yapısının (A-B, D-E ve F-G blok) varsayımsal ve uygulanabilir senaryolar ile enerji analizi yapılmıştır. Uygulanabilir senaryolar başlığı altında yapıların bina kabuk malzemeleri ile pencere-duvar oranları değiştirilmiş ve gölgeleme elemanı eklenmiştir. Değiştirilen parametrelerin her biri ile senaryo oluşturulmuş ve her bir senaryo için enerji tüketimi ve karbon salınımı açısından yeni tüketim değerleri analiz edilmiştir. Çalışmanın analiz sonuçları tablolaştırılarak tüm senaryolardan enerji tasarruf değeri en yüksek olanları tespit edilmiş ve her bir simülasyon sonucu aşağıdaki ilgili başlıklar altında grafikler yardımıyla gösterilmiştir. Tespitler sonucunda optimum malzemeler ve katmanlaşma etkileri göz önünde bulundurularak en iyi senaryo olan S39-ALT senaryosu ile mevcut binalar yeniden simüle edilmiştir.

Çalışma sonunda mevcut bina performansı ve S39-ALT senaryosuna bağlı en iyi performans yıllık kapsamda ısıtma, soğutma, toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi ve karbondioksit salınımındaki azalış oranları ile grafikler halinde literatüre sunulmuştur.

5.1. Bina Performans Simülasyonu

Vaka çalışmasında her bir bina 1 Kasım ve 30 Nisan tarihleri arasında 181 gün ve 06.00-20.00 saatleri arasında 14 saat ısıtılmaktadır. Binaların toplam alanı 16.256,1 m²'dir. Tüm binalar tek bir sayaca bağlı olup çalışma kapsamında son 3 yıllık veriler değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında DesignBuilder programında binalara ait tüm veriler tanıtılmış ve simülasyon gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda binaların yıllık ısıtma enerjisi tüketiminin 53,35 kWh/m², soğutma enerjisi tüketiminin 11,40 kWh/m² ve toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketiminin 64,72 kWh/m² olduğu gözlemlenmiştir.

Referans binaların 2019,2020 ve 2021 yılı gerçek doğalgaz tüketim verileri ortalaması ile DesignBuilder modellerinin ısıtma enerjisi tüketim sonuçları karşılaştırıldığında ASHRAE standardındaki MBE %5 üst sınır değeri %0,74 oranla, CV RMSE %15 üst sınır değeri %3,165 oranla sağlanabilmiştir. Kalibre edilen modele ait senaryolar;

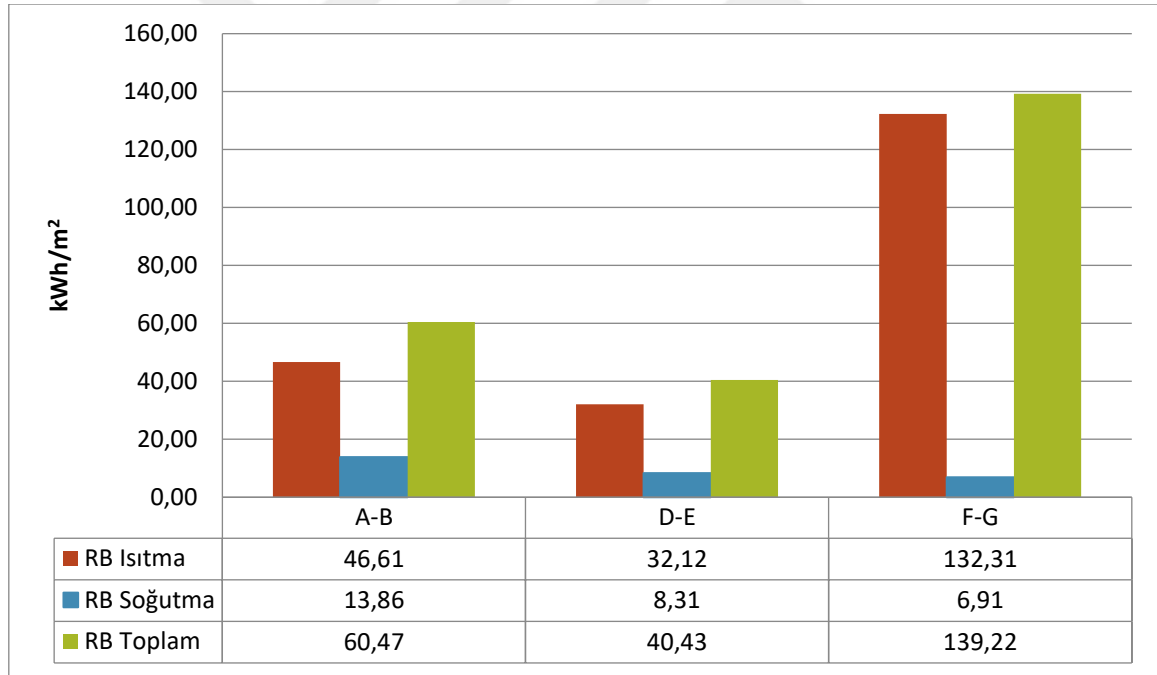
- Yıllık ısıtma enerjisi tüketimi,
- Yıllık soğutma enerjisi tüketimi,
- Yıllık toplam (ısıtma ve soğutma) enerji tüketimi,
- Yıllık karbondioksit salınımı
- Aydınlatma enerjisi tüketimi (gölgeleme elemanı kullanıldığı dönemlerde)

- Yıllık toplam soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimi (gölgeleme elemanı kullanıldığı dönemlerde) başlıkları altında karşılaştırılmıştır.

Analiz edilen senaryoların en iyi parametreler seçilerek S39-ALT senaryosu kurgulanmış ve sonuçlar RB senaryosu ile karşılaştırılarak enerji tüketiminde ve karbondioksit salınımında maksimum verimin hangi oranda gerçekleştiği izlenmiştir.

5.1.1. Referans Binaların Mevcut Enerji Tüketim Değerleri

Referans binalara ilişkin veriler DesignBuilder programında modellenip, iklim, konum, malzeme, ısıtma, soğutma ve kullanım verileri programa tanıtılmış ve daha sonra simülasyon başlatılmıştır. Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.1’de metrekare başına düşen enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır. Referans binalarda toplam ısıtma enerjisi tüketimi 867.297,45 kWh olup bu değer yaklaşık 224.160,52 kg CO₂ salınımına eşdeğerdir.



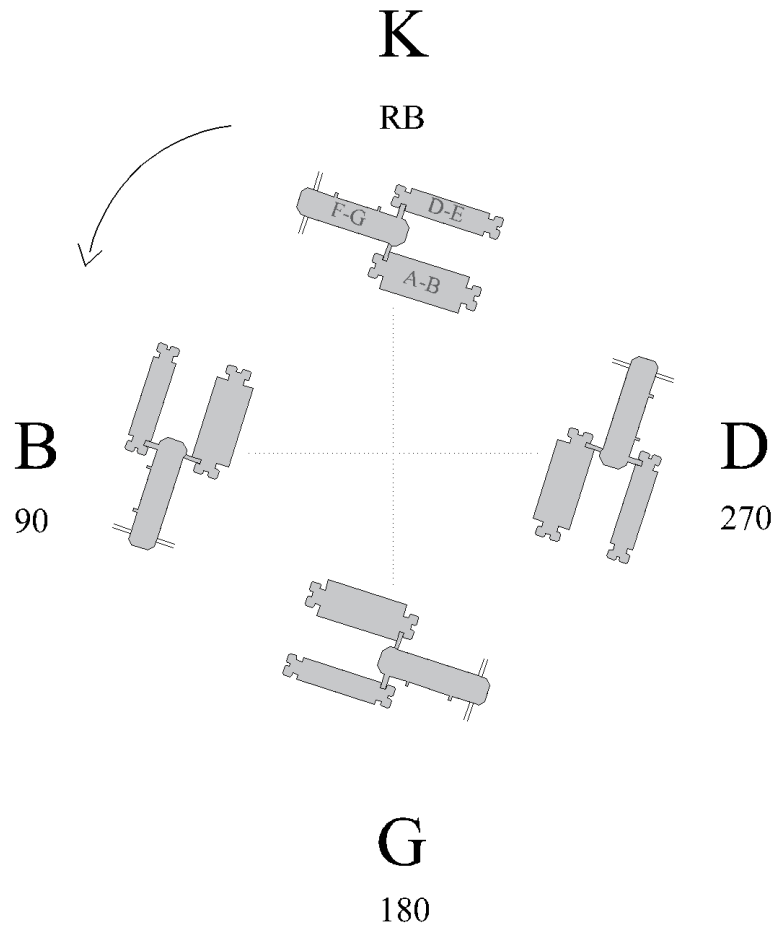
Şekil 5.1. Referans binaların DesignBuilder programındaki ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri

5.1.2. Bina Yönleneğinde Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi

Referans binalara ilişkin iklim, aktivite, konstrüksiyon, ısıtma ve soğutmaya ilişkin veriler DesignBuilder programına tanıtıldıktan sonra ısıtma ve soğutma tüketimlerinin değerlendirilebilmesi için farklı parametreler oluşturulmuştur. Bu parametrelerden ilki

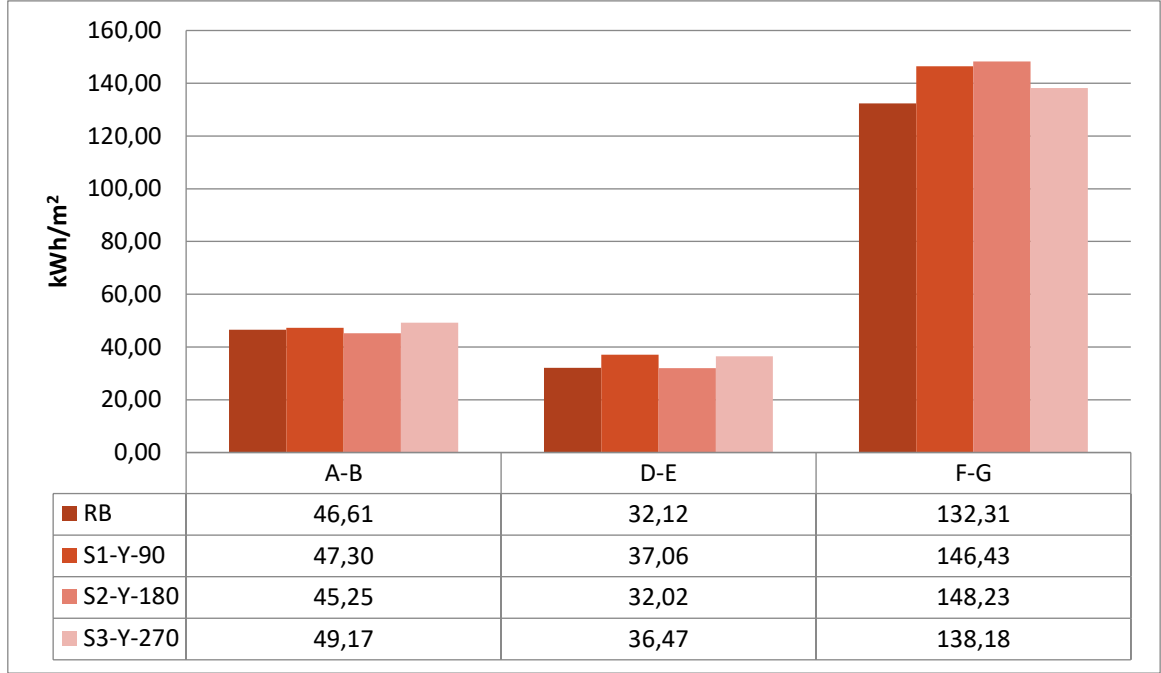
yönlenmedir. Isıtma enerjisi tüketimini doğrudan etkileyen bina yönlenmesi, bu çalışmada mevcut binalar üzerinden varsayımsal bir parametre olarak ele alınmaktadır.

Vaka çalışmasının gerçekleştiği İnönü Üniversitesi kampüsünde yer alan binalar ortak bir yönelim açısına sahiptir. Malatya Çevre Yolu'na (D-300) paralel bir yerleşim düzenine sahip üniversitede neredeyse tüm binalar doğu-batı yönelimli konumlanmıştır. Tez çalışmasında Doğu-Batı yönelimli A-B, D-E ve F-G blok binalarının enerji etkinliği analiz edilmek üzere mevcut yönlenmenin haricinde 3 farklı yönelim senaryosu kurulmuş ve her bir senaryonun enerji tüketim analizi incelenmiştir. Yönelim senaryoları, referans binaların mevcut yönelimi 15° kabul edilerek, binaların 90°, 180° ve 270° döndürülmesi ile oluşturulmuştur (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Referans binaların yönlenme alternatifleri

Çalışmada 90° döndürülen yapıların senaryosu S1-Y-90 kodu, 180° döndürülen yapıların senaryosu S2-Y-180 kodu, 270° döndürülen yapıların senaryosu S3-Y-270 kodu ile belirtilmektedir.

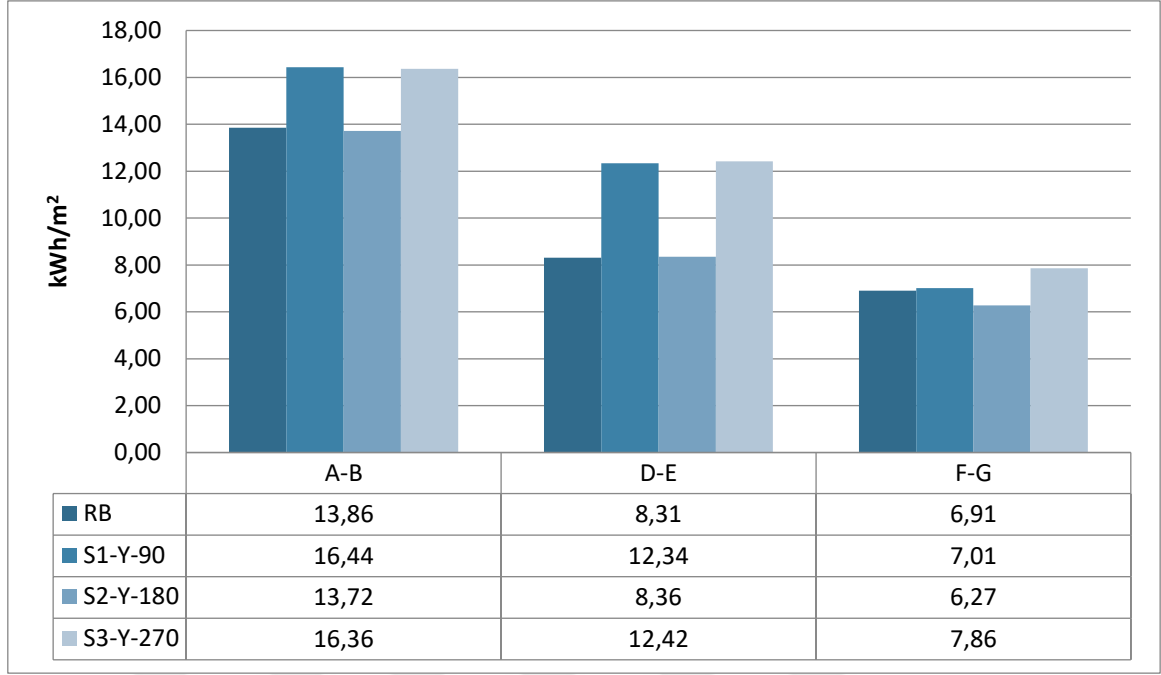


Şekil 5.3. Yönlenme alternatiflerinin yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.3'te metrekare başına düşen toplam ısıtma enerjisi tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Mevcut blokların yıllık ısıtma enerji tüketiminin en fazla olduğu senaryo sırasıyla 926.275,11 kWh ile S1-Y-90 kodlu senaryo, 924.152,58 kWh ile S3-Y-270 kodlu senaryo, 886.860,95 kWh ile S2-Y-180 kodlu senaryo ve 867.297,46 kWh ile RB senaryosudur. Değerler incelendiğinde, referans blokların mevcut yönlenme (RB) açısındaki ısıtma enerji tasarruf potansiyelinin, alternatif olarak sunulan diğer yönlenme açılarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Binaların mevcut yönlenme açısında maksimum verimliliği göstermesi erken tasarım aşamasında verilmiş olan doğru kararları yansıtmaktadır.

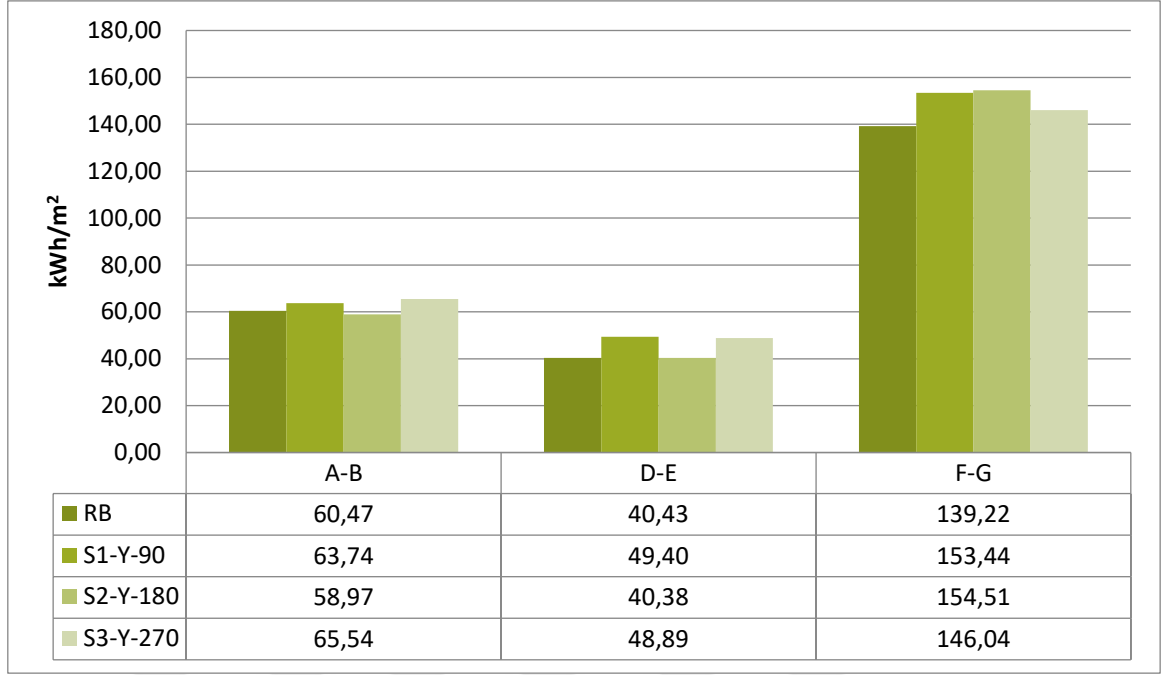
Çalışmada RB senaryosunun (mevcut durum) S3-Y-270 senaryosuna göre yıllık toplam 56.855,13 kWh daha az enerji tüketerek ortalama %6,15 ısıtma enerjisi tasarrufu sağladığını sonucuna ulaşılmıştır. Bu değer yaklaşık 14.534,39 kg daha az CO₂ salınımına eş değerdir.



Şekil 5.4. Yönlenme alternatiflerinin yıllık soğutma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.4’de binaların yönlenme açılarının değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen toplam soğutma enerjisi tüketiminin en fazla A-B blokta, en az ise F-G blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Mevcut blokların yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimi sırasıyla en fazla 229.868,32 kWh ile S3-Y-270 kodlu senaryo, 228.471,96 kWh ile S1-Y-90 kodlu senaryo, 184.821,75 kWh ile RB kodlu senaryo ve 182385,9 kWh ile S2-Y-180 kodlu senaryoda gerçekleşmiştir. Değerler incelendiğinde, referans blokların mevcut yönlenme (RB) açısındaki soğutma enerji tasarruf potansiyelinin, alternatif olarak sunulan S1-Y-90 ve S1-Y-270 kodlu senaryolardan fazla olduğu fakat S1-Y-180 senaryosundan daha az olduğu görülmektedir. En az enerji harcayan yönlenme senaryoları sırasıyla S1-Y-180, S1-Y-90 ve S1-Y-270 kodlu senaryolar olmuştur.



Şekil 5.5. Yönlenme alternatiflerinin yıllık toplam enerji tüketimleri

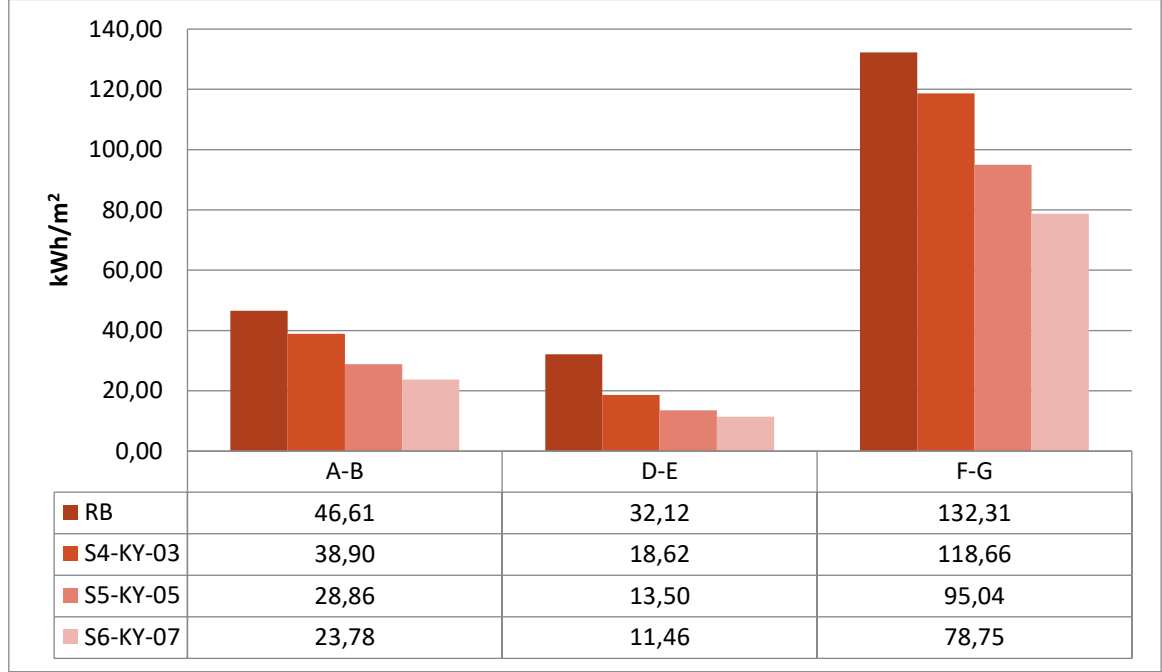
Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.5'te binaların yönlenme açılarının değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Simülasyon sonuçlarına göre yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi RB senaryosunda 1.052.119,21 kWh, S1-Y-90 kodlu senaryosunda 1.154.747,07 kWh, S1-Y-180 kodlu senaryosunda 1.069.246,85 kWh, S1-Y-270 kodlu senaryosunda 1.154.020,9 kWh değerindedir. Değerler incelendiğinde, referans blokların mevcut yönlenme (RB) açısındaki enerji tasarruf potansiyelinin, alternatif olarak sunulan S1-Y-90, S1-Y-180, S1-Y-270 senaryolarından fazla olduğu görülmektedir. En az enerji harcayan yönlenme senaryoları sırasıyla S1-Y-180, S1-Y-270 ve S1-Y-90 olmuştur. Bu durum daha yüksek saydam alanların ve daha büyük yüzey alanlı cephelerin güneşe yerleştirilmesi ile maksimum enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermiştir.

5.1.3. Kullanıcı Yoğunluğunda Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi

Tez çalışmasında referans binaların varsayımsal iyileştirme parametrelerinden ikincisi kullanıcı yoğunluğudur. Referans binalardan A-B blok 0,2034 kullanıcı yoğunluğuna, D-E blok 0,1030 kullanıcı yoğunluğuna ve F-G Blok 0,2017 kullanıcı yoğunluğuna sahiptir. Çalışma kapsamında binaların kullanıcı yoğunlukları 0,3, 0,5 ve 0,7 de sabitlenerek her bir senaryoda bina ısıtma enerjisi kullanımının hangi ölçüde azaldığı gözlenmek istenmiştir. 0,3 yoğunluk senaryosu

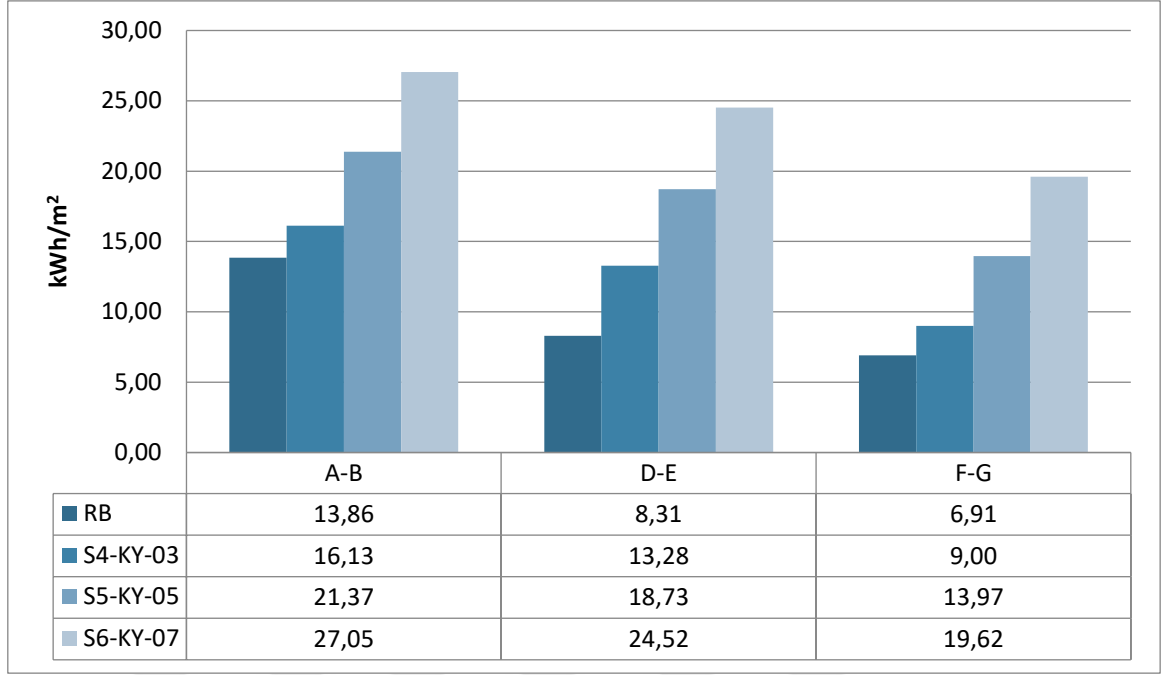
S4-KY-03 kodu, 0,5 yoğunluk senaryosu S5-KY-05 ve 0,7 yoğunluk senaryosu S6-KY-07 kodu ile gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Kullanıcı yoğunluğu alternatiflerinin yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçları kullanıcı yoğunluğu arttıkça üç binanın da ısıtma enerjisi tüketiminin azaldığını ortaya koymaktadır (Şekil 5.6). Referans binalarda kullanıcı yoğunluğunun 0,7 kullanıcı yoğunluklu SX-KY-07 kodlu senaryo ile değişmesiyle A-B blokta 216.649,04 kWh, D-E blokta 96.999,30 kWh, F-G blokta 110.979,52 kWh enerji kazancı sağlanmıştır. Bu durum kullanıcı yoğunluğundaki artışın iç ortam ısını arttırdığının bir göstergesidir.

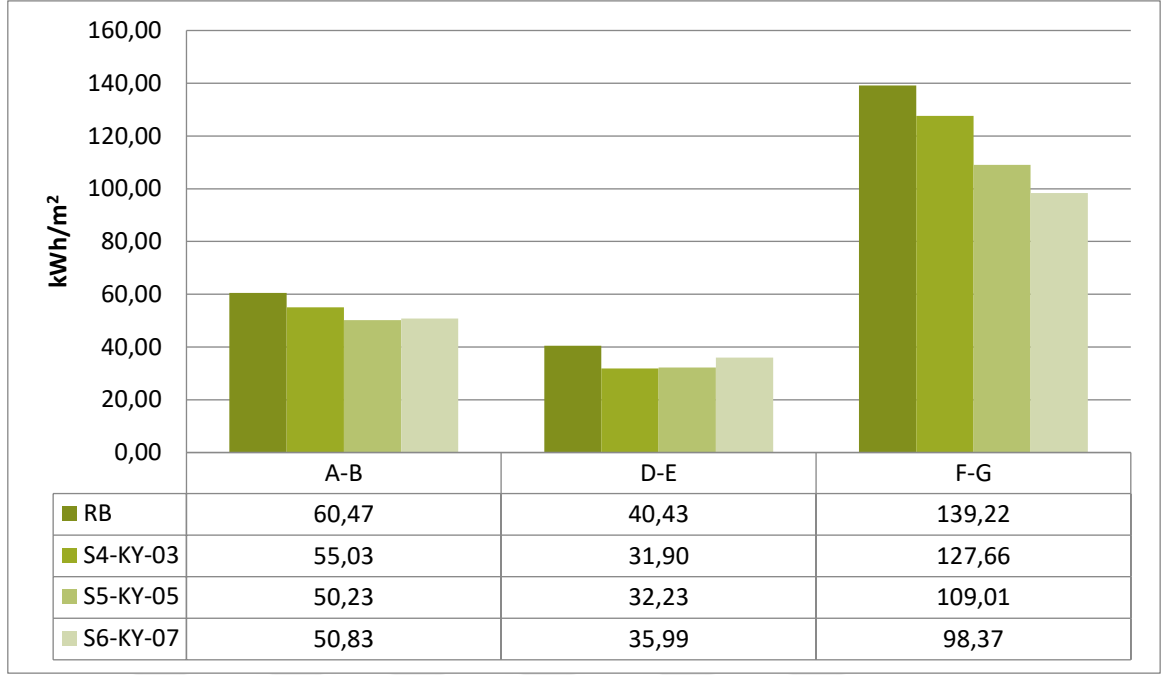
Çalışma sonucunda kullanıcı yoğunluğunun 0,7 oranına sabitlenmesi ile bir yılda toplam 424.627,27 kWh ısıtma enerji tasarrufu ile ısıtma enerjisi tüketiminden %48,95 oranında tasarruf sağlanabildiğini göstermektedir. Bu oran yaklaşık 109.748,59 kg CO₂ salınımına eşdeğerdir.



Şekil 5.7. Kullanıcı yoğunluğu alternatiflerinin yıllık enerji tüketimleri

Simülasyon sonuçları kullanıcı yoğunluğu arttıkça üç binanın da soğutma enerjisi tüketiminin arttığını ortaya koymaktadır (Şekil 5.7). Referans binaların kullanıcı yoğunluğu değiştirilerek oluşturulmuş senaryolara ait yıllık soğutma enerjisi tüketimi incelendiğinde soğutma enerjisine en az ihtiyaç duyulan durum 184.821,75 kWh ile mevcut kullanıcı yoğunluklarındadır. Alternatif senaryolar arasından en yüksek enerji tasarrufu sağlayanlar sırasıyla 234.079,18 kWh ile S4-KY-03 kodlu senaryo 319.662,54 kWh ile S5-KY-05 kodlu senaryo ve 412.482,0 kWh ile S6-KY-07 kodlu senaryodur.

Çalışma kullanıcı yoğunluğunun 0,7 değerine sabitlenmesi ile yıllık toplam 227.660,33 kWh daha fazla soğutma enerjisi tüketimi gerçekleştirildiğini göstermektedir.



Şekil 5.8. Kullanıcı yoğunluğu alternatiflerinin yıllık toplam enerji tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.8’de binaların kullanıcı yoğunluğunun değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Referans binaların kullanıcı yoğunluğu değiştirilerek oluşturulmuş senaryolara ait yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimi incelendiğinde en yüksek enerji tasarrufu sırasıyla 853.853,89 kWh ile S5-KY-05 kodlu, 855.152,27 kWh ile S6-KY-07 kodlu, 936.431,66 ile S4-KY-03 kodlu senaryodur. Mevcut kullanıcı yoğunluğu ise 1.052.119,21 kWh ile en fazla enerji tüketen durum olarak analiz edilmiştir.

Isıtma enerjisi tüketimi bağlamında referans binaların mevcut kullanım yoğunluklarının diğer yoğunluk alternatiflerine göre çok daha fazla olması toplam enerji tüketiminde en son sırada yer almasına yol açmıştır. 0,5 kullanıcı yoğunluklu S5-KY-05 senaryosu 0.3 ve 0.7 kullanıcı yoğunluklu alternatif senaryolardan daha fazla enerji tasarrufu sağlamıştır.

Çalışma sonucunda kullanıcı yoğunluğunun 0,5 oranında değiştirilmesi ile bir yılda toplam 198.265,32 kWh enerji tasarrufu sağlanabildiği görülmektedir. Bu durum %18,84 oranında tasarrufa eş değerdir.

5.1.4. Dış Duvar Ana Malzemesinde Farklı Alternatiflerin Enerji Tületimine Etkisi

Türkiye de kabul gören TS 825 standartları farklı bölgeler için bina bileşenlerinin (pencere, duvar, tavan, zemin) maksimum U (ısı geçirme katsayısı) değerini belirlemiştir. Tez çalışmasında

3.derece gün bölgesine ait U değerleri göz önünde bulundurularak dış duvar materyallerinin ısıtma enerjisini hangi ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda simülasyon sırasında değişen senaryonun parametresi hariç diğer tüm program değerleri ve bina materyalleri sabit tutulmuştur.

Çalışmada İnönü Üniversitesi binalarında ısıtma ihtiyacını azaltacak en yüksek performanslı duvar tipini belirlemek adına mevcut bina duvarından farklı 3 ayrı senaryo kurgulanmıştır:

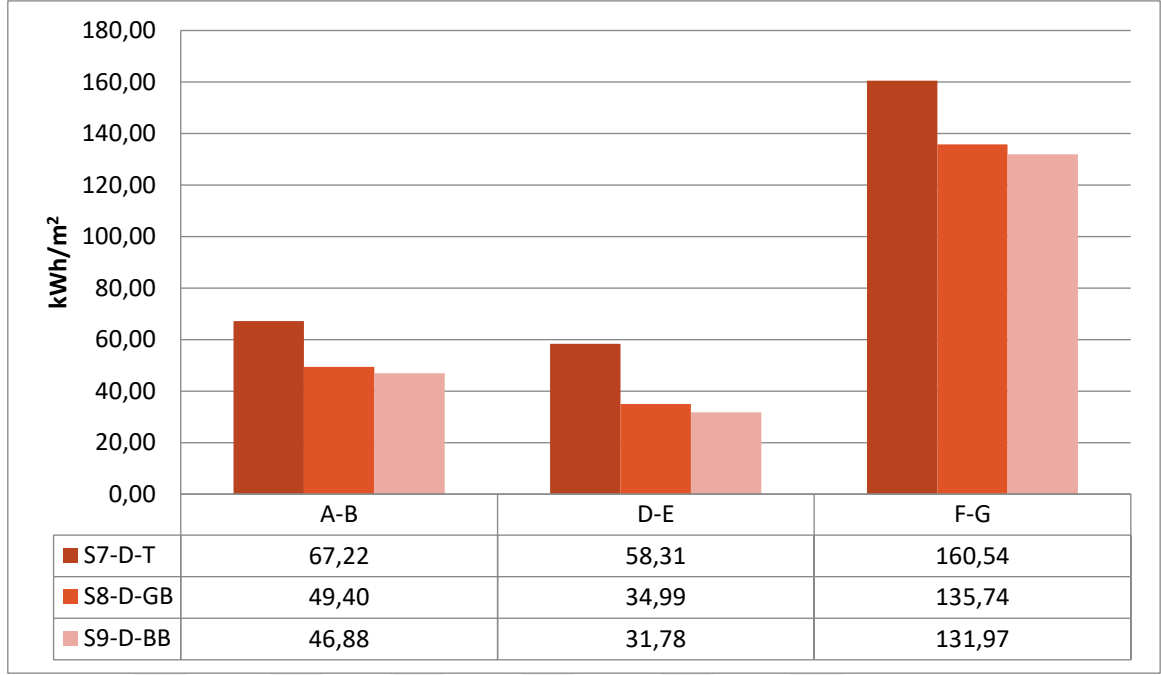
- Tuğla Duvar
- Gazbeton Duvar
- Beton Blok Duvar

S7-D-T kodu tuğla malzemeli duvara, S8-D-GB kodu gazbeton malzemeli duvara, S9-D-BB beton blok malzemeli duvara ait senaryoyu temsil etmektedir (Tablo 5.1).

Tablo 5.1. Referans binaların duvar ana malzemesi senaryolarına ait duvar katmanları

Duvar Tipi	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isıl İletkenlik λ (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	U Değeri W/(m ² K)	Isıl Direnç R (m ² K) /W	TS 825 maks. U değeri (W/m ² K)
S7-D-T	Kaba Sıva (Dış)	0,02	0,500	1300	2,068	0,484	
	Tuğla	0,19	0,85	1500			
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000			
	Toplam	0,23					
S8-D-GB	Kaba Sıva (Dış)	0,02	0,500	1300	0,951	1,052	0,500
	Gazbeton	0,19	0,240	750			
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000			
	Toplam	0,23					
S9-D-BB	Kaba Sıva (Dış)	0,02	0,500	1300	0,794	1,260	
	Beton Blok	0,19	1,630	2300			
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000			
	Toplam	0,23					

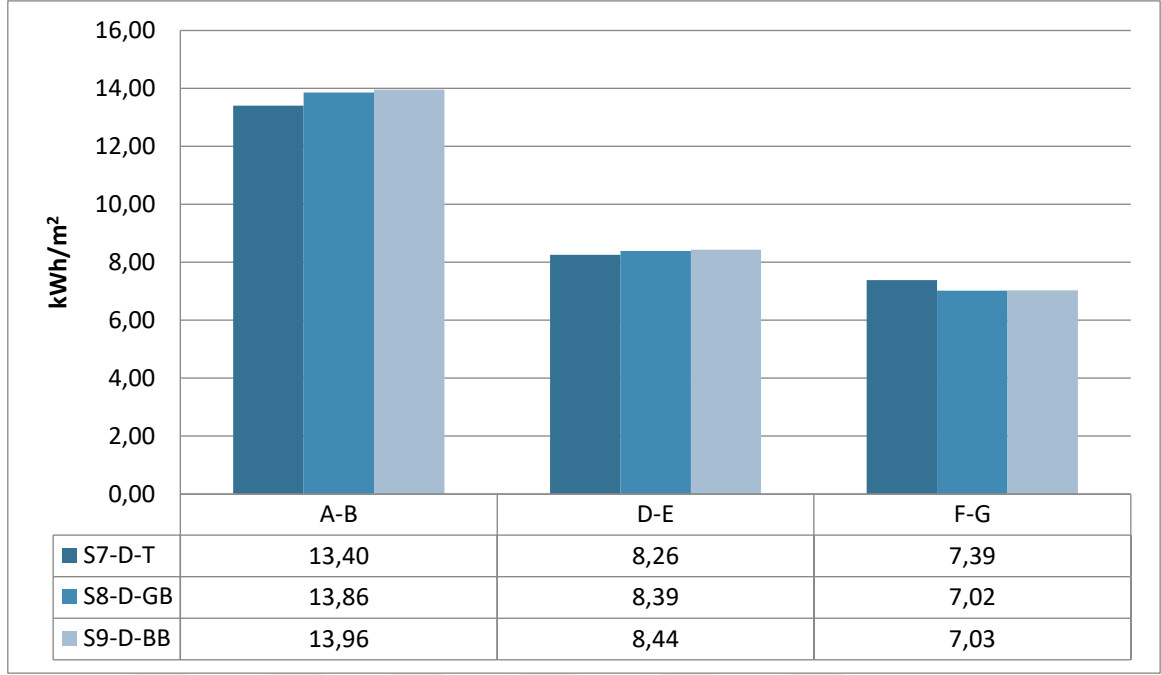
Kurgulanan 3 senaryo da Türkiye standartlarında bir bina için uygun U değeri taşımamaktadır. Fakat bu senaryolar yalıtımsız salt malzeme ısı enerjisi tüketim değerlerini ortaya koymayı hedeflemektedir.



Şekil 5.9. Duvar ana malzeme alternatiflerinin yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.9’da duvar ana malzemesinin değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

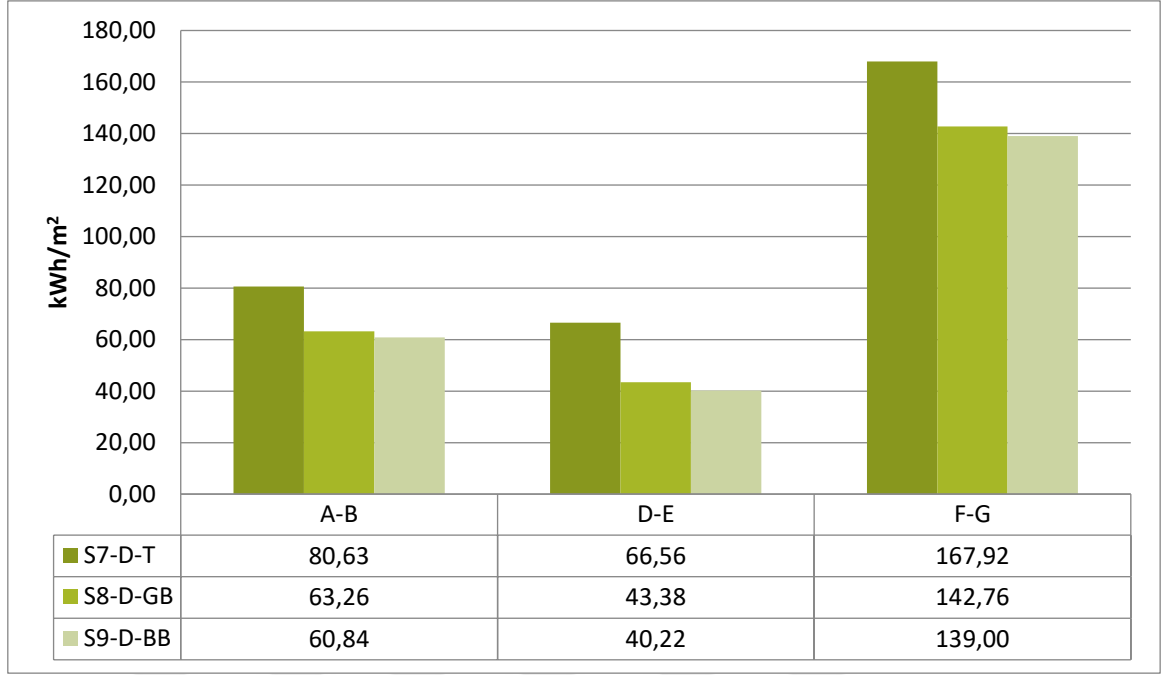
Duvar ana malzemelerine ilişkin senaryo sonuçları incelendiğinde yıllık ısıtma enerjisi tüketimi en fazla olan senaryolar sırasıyla 1.244.293,72 kWh ile S7-D-T, 914.292,635 kWh ile S8-D-GB, 867.550,476 kWh ile S9-D-BB senaryolarıdır. S9-D-BB senaryosu S7-D-T senaryosuna göre 376.743,25 kWh daha az yıllık ısıtma enerjisi tüketmektedir. Duvar ana malzemesinde beton blok kullanımı tuğla kullanımına göre %30,2 oranında tasarruf sağlamaktadır. Bu değer yaklaşık 97.372,55 kg CO₂ salınımına eş değerdir.



Şekil 5.10. Duvar ana malzeme alternatiflerinin yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.10’da duvar ana malzemesinin değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla A-B blokta, en az ise F-G blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Referans binaların duvar ana malzemeleri değiştirilerek oluşturulmuş senaryolara ait yıllık soğutma enerjisi tüketimi incelendiğinde en fazla tüketim sırasıyla 186.592,24 kWh ile S9-D-BB, 185.424,37 kWh ile S8-D-GB, 184.821,75 kWh ile RB ve 181.263,60 kWh ile S7-D-T senaryolarındadır. S9-D-BB senaryosu S7-D-T senaryosuna göre 5.328,64 kWh daha fazla yıllık soğutma enerji tüketmektedir. Duvar ana malzemesinde tuğla kullanımı beton blok kullanımına göre %2,85 oranında tasarruf sağlamaktadır.



Şekil 5.11. Duvar ana malzeme alternatiflerinin yıllık toplam enerji tüketimi

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.11’de binaların duvar ana malzemesinin değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Duvar ana malzeme alternatiflerinin karşılaştırıldığı yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri sonuçları en fazla tüketimin 1.425.557,33 kWh ile S7-D-T, en az tüketimin ise 1.054.142,71 kWh ile S9-D-BB senaryosunda olduğunu göstermektedir.

Çalışma S9-D-BB senaryosunun S7-D-T senaryosuna tercih edilmesiyle yıllık toplam 371.414,62 kWh enerji tüketimi azalacağını ortaya koymaktadır. Bu değer enerji tüketiminde %26,05 oranında tasarruf sağlanabileceğini göstermektedir.

5.1.5. Dış Duvar Isı Yalıtım Malzeme Konumunun Enerji Tüketimine Etkisi

Tez çalışmasında 3.derece gün bölgesine ait U değerleri göz önünde bulundurularak dış duvar ısı yalıtım malzemesinin mevcut durumdaki sandviç duvar modelinden farklı olarak içte ve dışta olduğu durumlar analiz edilmiş ve ısıtma enerjisini hangi ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda ısı yalıtım malzemesinin konumu hariç diğer tüm program değerleri ve bina materyalleri sabit tutulmuştur.

Çalışmada İnönü Üniversitesi için ısıtma ihtiyacını azaltacak en yüksek performanslı ısı yalıtım konumunu belirlemek adına mevcut bina duvarından farklı 2 ayrı senaryo kurgulanmıştır:

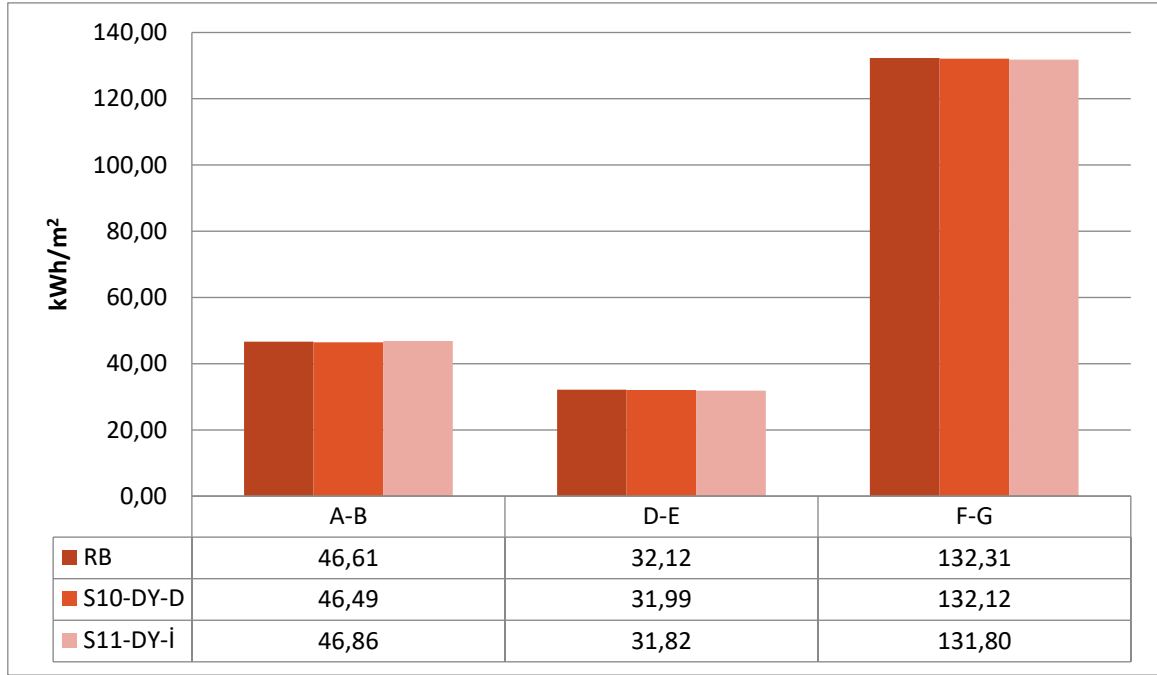
- Dışta konumlanan ısı yalıtımı

– İçte konumlanan ısı yalıtımı

S10-DY-D kodu duvarın dış tarafında konumlanan yalıtım katmanına ve S11-DY-İ kodu duvarın iç tarafında konumlanan yalıtım katmanına ait senaryoyu temsil etmektedir (Tablo 5.2).

Tablo 5.2. Referans binaların duvar yalıtım konumu senaryolarına ait duvar katmanları

Isı Yalıtım Konumu	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isıl İletkenlik λ (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	U Değeri W/(m ² K)	Isıl Direnç R (m ² K) /W	TS 825 maks. U değeri (W/m ² K)
RB	Kaba Sıva (Dış)	0,02	0,500	1300	0,801	1,249	
	Tuğla	0,10	0,840	1700			
	EPS1	0,03	0,046	10			
	Tuğla	0,135	0,620	1700			
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000			
	Toplam	30,5					
S10-DY-D	Kaba Sıva (Dış)	0,02	0,500	1300	0,801	1,249	0,500
	EPS1	0,03	0,046	10			
	Tuğla	0,10	0,840	1700			
	Tuğla	0,135	0,620	1700			
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000			
	Toplam	30,5					
S11-DY-İ	Kaba Sıva (Dış)	0,02	0,500	1300	0,801	1,249	
	Tuğla	0,10	0,840	1700			
	Tuğla	0,135	0,620	1700			
	EPS1	0,03	0,046	10			
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000			
	Toplam	30,5					

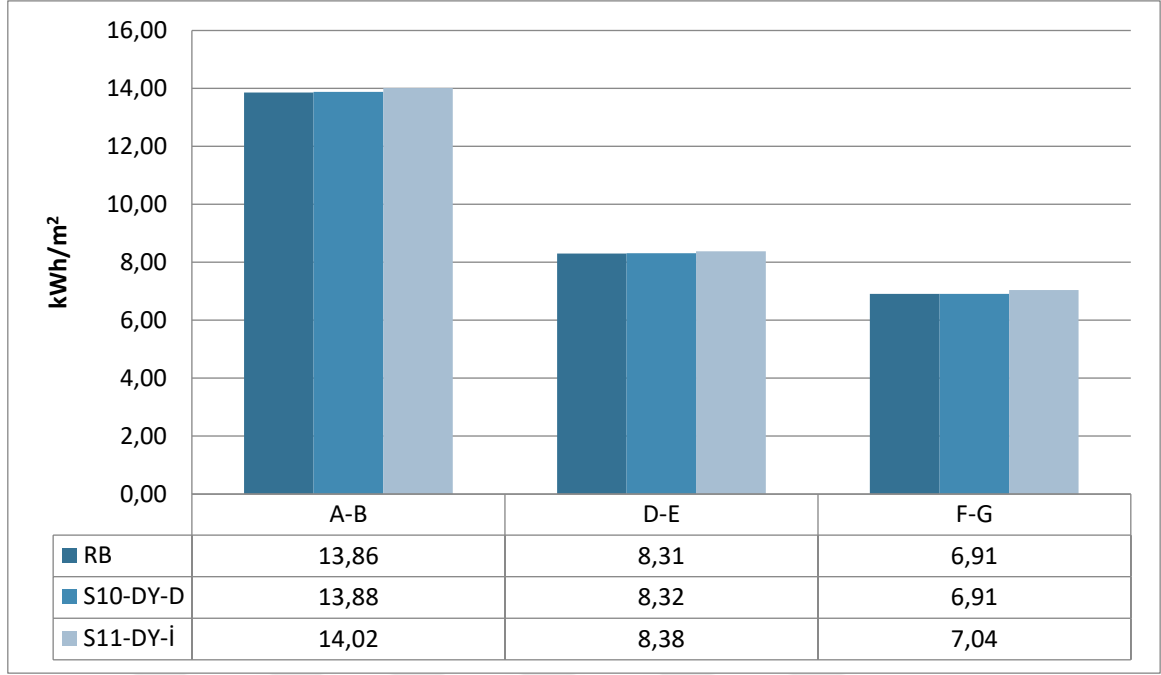


Şekil 5.12. Duvar yalıtım konumu alternatiflerinin yıllık ısıtma enerji tüketimleri

Kurgulanan senaryolar Türkiye standartlarında bir bina için uygun U değerini taşımamaktadır. Fakat bu senaryolar ısı yalıtımı konumunun mevcut durumla kıyasını sağlayabilmek adına malzeme özellikleri değiştirilmeden enerji tüketim değerlerini ortaya koymayı hedeflemektedir.

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.12’de duvar ısı yalıtım malzemesi konumunun değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

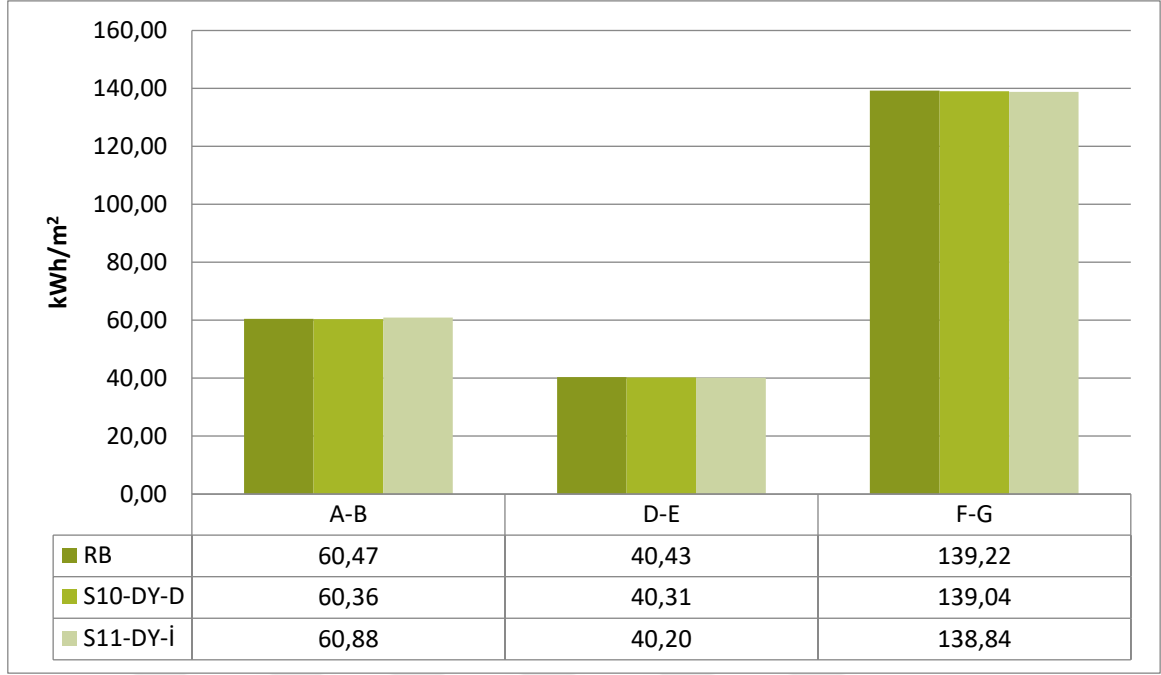
Duvar ısı yalıtım malzemesi konumuna ilişkin senaryo sonuçları incelendiğinde ısıtma enerjisi tüketimi en fazla olan senaryo sırasıyla 867.297,457 kWh ile mevcut durum (RB) senaryosu, 867.112,37 kWh ile S11-DY-İ senaryosu ve 865.093,83 kWh ile S10-DY-D senaryosudur. Bu çalışma yalıtım katmanının duvarın dış tarafında kullanılması ile bir yılda 2.203,62 kWh ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanabildiğini göstermektedir. Duvar ısı yalıtımının dışta kullanılması mevcut sandviç duvar modelinden %0,25 oranda daha fazla ısıtma enerjisi tasarrufu sağlamaktadır. Bu oran yaklaşık 569,54 kg CO₂ salınımına eşdeğerdir.



Şekil 5.13. Duvar yalıtım konumu alternatiflerinin yıllık soğutma enerji tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.13'te duvar ısı yalıtım malzeme konumunun değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla A-B blokta, en az ise F-G blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Simülasyon sonuçları duvar yalıtım konumu alternatiflerinin yıllık soğutma enerjisi tüketimi değerleri enerji tüketimi en fazla olduğu senaryonun S11-DY-İ senaryosu, en az olduğu senaryonun ise RB senaryosu olduğunu göstermektedir. Çalışma mevcut yalıtım konumunun yalıtımın içte olduğu duruma göre yılda toplam 2.132,46 kWh daha az soğutma tüketimine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu değer mevcut durumun değişmesi ile yaklaşık %1,14 daha fazla soğutma enerjisi tüketildiğini göstermektedir.



Şekil 5.14. Duvar yalıtım konumu alternatiflerinin yıllık toplam enerji tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.14’de duvar ısı yalıtım malzeme konumunun değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Çalışma ısı yalıtım konumu alternatifleri kıyaslandığında yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketiminin sırasıyla en fazla 1.054.066,60 kWh ile S11-DY-İ senaryosunda, 1.052.119,21 kWh ile RB senaryosunda ve 1.050.158,76 kWh ile S11-DY-D senaryosunda olduğunu göstermektedir. Yalıtım konumunun içte olduğu durum dışta olduğu durumdan yıllık toplam 3907,83 kWh daha fazla enerji tüketimine yol açmaktadır. Bu değer yalıtım konumunun değişmesi ile toplam enerji tüketiminin %0,37 oranında azaltılabileceğini göstermektedir.

5.1.6. Duvar Isı Yalıtım Malzemelerinde Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi

Bu çalışma kapsamında incelenen A-B, D-E ve F-G blok mevcut ısı yalıtım malzemesinin EPS1 olduğu bilinmektedir. Çalışmada 3.derece gün bölgesine ait U değerleri göz önünde bulundurularak mevcut EPS yalıtımının cam yünü, taş yünü, EPS2 ve XPS olduğu durumlardaki enerji tasarruf potansiyeli değişimi analiz edilmiş ve ısıtma enerjisini hangi ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Senaryo simüle edilmeden önce ısı yalıtım malzemesi türü hariç diğer tüm program değerleri ve bina materyalleri sabit tutulmuştur.

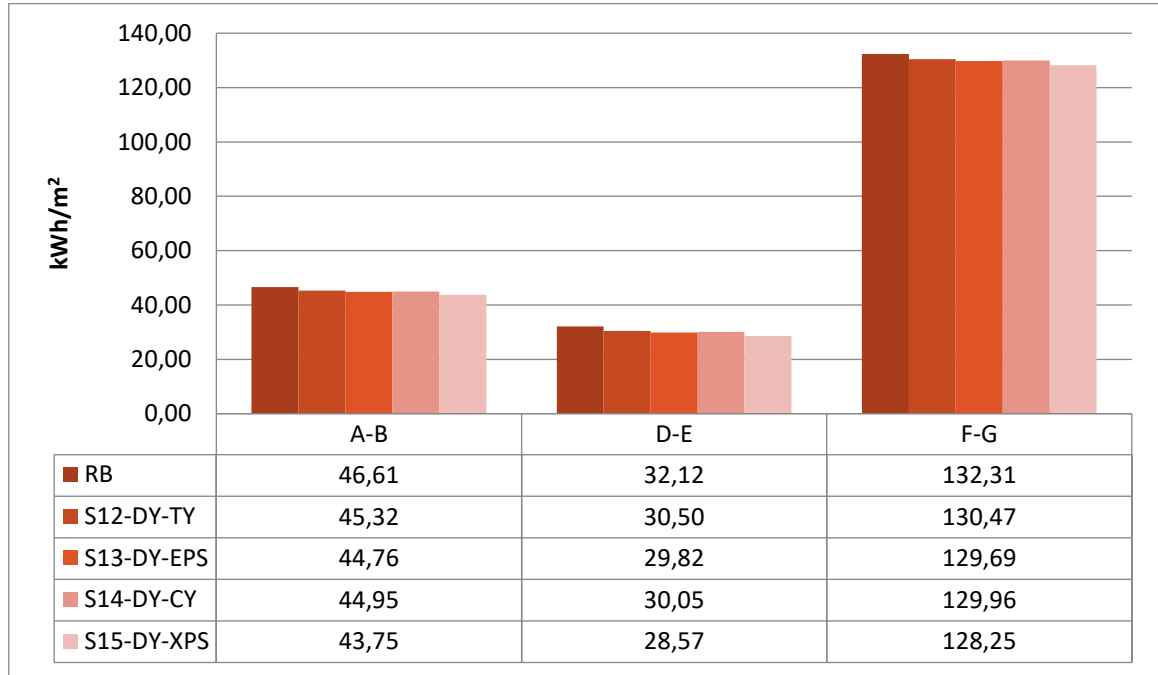
Çalışma kapsamındaki binalar için ısıtma ihtiyacını azaltacak en yüksek performanslı ısı yalıtım malzemesini belirlemek adına mevcut bina duvarından farklı 4 farklı senaryo kurgulanmıştır: Cam yünü, EPS2, taş yünü, XPS.

S12-DY-TY kodu taş yünü, S13-DY-EPS kodu EPS2, S14-DY-CY kodu cam yünü, S14-DY-XPS kodu XPS yalıtımına ait senaryoyu temsil etmektedir (Tablo 5.3).

Tablo 5.3. Referans binaların duvar yalıtım malzemesi senaryolarına ait duvar katmanları

Isı Yalıtım Türü	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isıl İletkenlik λ (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	U Değeri W/(m ² K)	Isıl Direnç R (m ² K) /W	TS 825 maks. U değeri (W/m ² K)
RB	Kaba Sıva (Dış)	0,02	0,500	1300	0,801	1,249	0,500
	Tuğla	0,10	0,840	1700			
	EPS1	0,03	0,046	10			
	Tuğla	0,135	0,620	1700			
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000			
	Toplam	30,5					
S12-DY-TY	Kaba Sıva (Dış)	0,02	0,500	1300	0,721	1,386	
	Tuğla	0,10	0,840	1700			
	Taş Yünü	0,03	0,0380	40			
	Tuğla	0,135	0,620	1700			
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000			
	Toplam	30,5					
S13-DY-EPS	Kaba Sıva (Dış)	0,02	0,500	1300	0,688	1,454	
	Tuğla	0,10	0,840	1700			
	EPS2	0,03	0,035	25			
	Tuğla	0,135	0,620	1700			
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000			
	Toplam	30,5					
S14-DY-CY	Kaba Sıva (Dış)	0,02	0,500	1300	0,699	1,430	
	Tuğla	0,10	0,840	1700			
	Cam Yünü	0,03	0,036	20			
	Tuğla	0,135	0,620	1700			
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000			
	Toplam	30,5					
S15-DY-XPS	Kaba Sıva (Dış)	0,02	0,500	1300	0,626	1,597	
	Tuğla	0,10	0,840	1700			
	XPS	0,03	0,030	35			
	Tuğla	0,135	0,620	1700			
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000			
	Toplam	30,5					

Kurgulanan senaryolar Türkiye standartlarında bir bina için uygun U_D değerini taşımamaktadır. Fakat bu senaryolar mevcut ısı yalıtımın enerji tasarruf potansiyeli ile farklı ısı yalıtım malzeme alternatiflerinin enerji tasarruf potansiyellerini kıyaslayabilmek adına simülasyon sırasında değişen senaryo parametresi hariç diğer tüm program değerleri ve bina materyalleri sabit tutulmuştur.

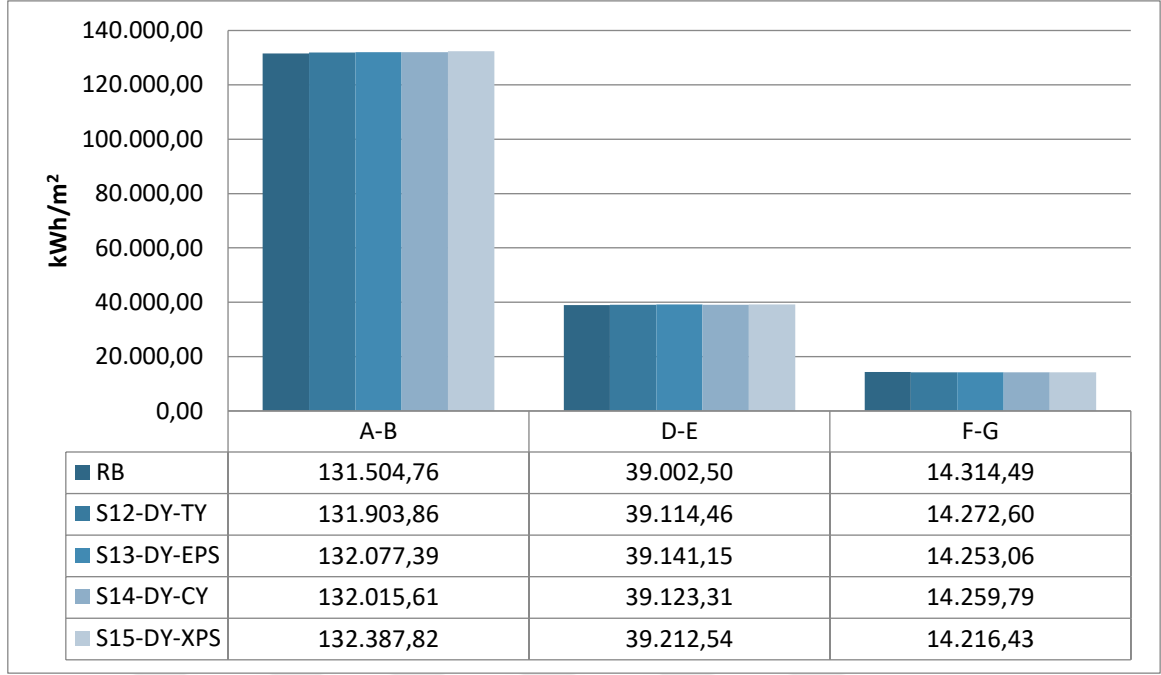


Şekil 5.15. Duvar yalıtım malzemelerinin yıllık ısıtma enerji tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.15’de duvar ısı yalıtım malzemesinin değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Duvar ısı yalıtım malzemesi türüne ilişkin senaryo sonuçları incelendiğinde ısıtma enerjisi tüketimi en fazla olan senaryo sırasıyla 867.297,45 kWh ile RB, 843.535,42 kWh ile S12-DY-TY, 836.895,61 kWh ile S14-DY-CY, 833.453,17 kWh ile S13-DY-EPS ve 814.973,08 kWh ile S-DY-XPS senaryosudur. Referans binalar için enerji tasarrufu en yüksek malzeme XPS iken enerji tasarrufu en düşük malzeme mevcutta kullanılan EPS1 malzemesidir.

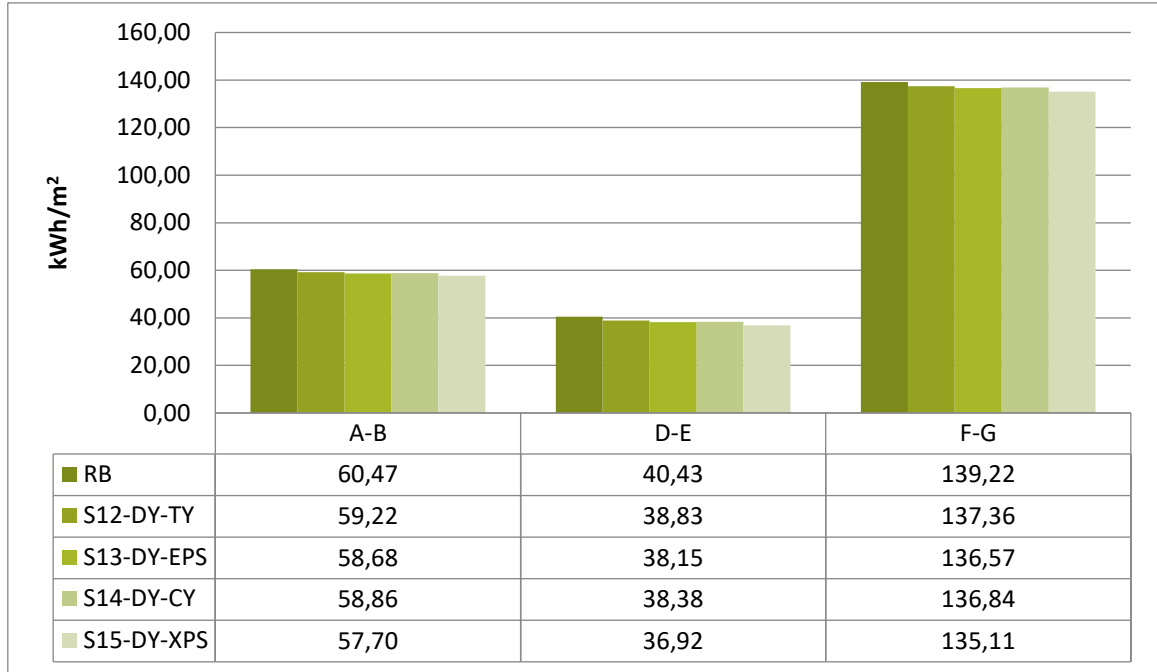
Bu tabloya göre mevcut binalarda sadece ısı yalıtım malzemesi değiştirilerek yıllık toplam 52.324,372 kWh enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Bu tasarruf oranı referans binaların yıllık toplam ısıtma enerjisi ihtiyacının %6,0’sını oluşturmaktadır. Aynı zamanda duvar yalıtım malzemesi değişimi ile elde edilen ısı tasarrufu 13.523,68 kg CO₂ salınımına eşdeğerdir.



Şekil 5.16. Duvar yalıtım malzemelerinin yıllık soğutma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.16’da duvar ısı yalıtım malzemesinin değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla A-B blokta, en az ise F-G blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Duvar yalıtım konumu alternatiflerinden yıllık soğutma enerjisi tüketimi en fazla olan senaryo sırasıyla 185816,78 kWh ile S15-DY-XPS senaryosu, 185471,59 kWh ile S13-DY-EPS senaryosu, 185398,71 kWh ile S14-DY-CY senaryosu, 185290,92 kWh ile S12-DY-TY senaryosudur. Referans binaların mevcut duvarları 184.821,75 kWh ile en az yıllık soğutma enerjisi tüketimine sahiptir. Çalışma S15-DY-XPS senaryosunun bir yılda RB senaryosundan 995,03 kWh daha fazla soğutma enerjisi tüketimine sahip olduğunu göstermektedir. Bu değer yaklaşık olarak %0,53 oranında enerji kaybı demektir.



Şekil 5.17. Duvar yalıtım malzemelerinin yıllık toplam enerji tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.17’de duvar ısı yalıtım malzemesinin değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Çalışma duvar yalıtım malzeme alternatiflerinin yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketim analizinde en fazla enerji tüketiminin sırasıyla 1.052.119,211 kWh ile RB senaryosu, 1.028.826,35 kWh ile S12-DY-TY senaryosu, 1.022.294,327 ile S14-DY-CY senaryosu, 1.018.924,771 kWh ile S13-DY-EPS senaryosu ve 1.000.789,871 kWh ile S15-DY-XPS senaryosunda gerçekleştiğini göstermektedir. RB senaryosu yerine S15-DY-XPS senaryosu kullanıldığında yıllık enerji tüketimi 51.329,34 kWh azalmaktadır. Bu değer duvar katmanındaki yalıtım türü değiştirilerek %4,87 oranında toplam enerji tüketimi tasarrufu sağlanabildiğini göstermektedir.

5.1.7. Çatı Isı Yalıtım Malzemelerinde Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi

Tez çalışması kapsamında incelenen A-B ve F-G blok mevcut kırma çatı katmanlarında betonarme döşeme üzerine su yalıtımı ile sandviç panel kaplama kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra çatı katmanları arasında cam yünü katmanı da bulunmakta olup yalıtımı sağlayamayacak kadar deforme olduğundan simülasyon hesaplarına dahil edilmemiştir. D-E blok gezilemeyen teras çatısı ise betonarme döşeme üzerine ısı yalıtımı (EPS1), su yalıtımı ve çakıl taşı kaplanarak kapatılmıştır.

Çalışmada 3.derece gün bölgesine ait U değerleri göz önünde bulundurularak çatı yalıtımının cam yünü, taş yünü, EPS2 ve XPS olduğu durumlardaki enerji tüketimi değişimi analiz edilmiştir. Senaryo simüle edilmeden önce ısı yalıtım malzemesi türü hariç diğer tüm program değerleri ve bina materyalleri sabit tutulmuştur.

Çalışma kapsamındaki binalar için enerjisi tüketimini azaltacak en yüksek performanslı çatı ısı yalıtım malzemesini belirlemek adına mevcut bina çatı katmanından farklı 5 senaryo kurgulanmıştır:

- Taş Yünü
- Cam Yünü
- Kaya Yünü
- EPS2
- XPS

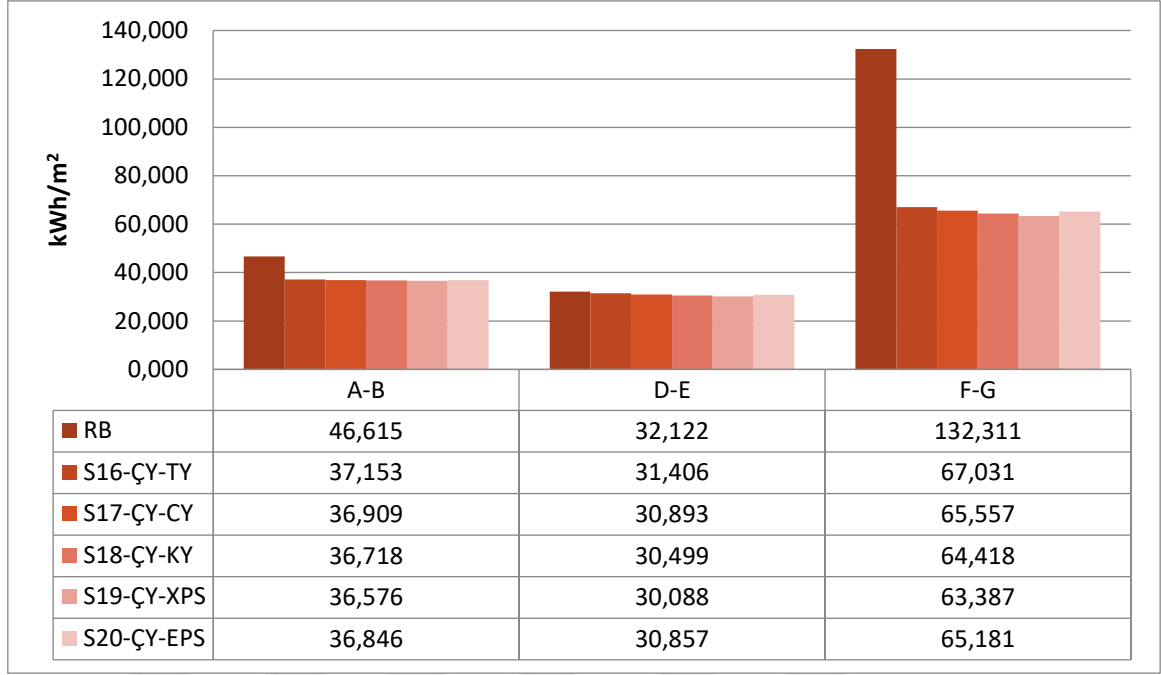
S16-ÇY-TY kodu taş yünü, S17-ÇY-CY kodu cam yünü, S18-ÇY-KY kodu kaya yünü, S19-ÇY-XPS kodu XPS, S20-ÇY-EPS kodu EPS2 yalıtımına ait senaryoyu temsil etmektedir (Tablo 5.4), (Tablo 5.5).

Tablo 5.4. Çatı yalıtım malzemesi senaryolarına ait A-B ve F-G blok çatı katmanları

Çatı Yalıtım Türü	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isıl İletkenlik λ (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	U Değeri W/(m ² K)	Isıl Direnç R (m ² K) /W	TS 825 maks. U değeri (W/m ² K)
RB KIRMA ÇATI	Paslanmaz Çelik Sac	0,002	17,00	7900	3,994	0,250	
	Bitüm Membran	0,005	0,230	1100			
	Betonarme Döşeme	0,100	1,130	2000			
	Toplam	0,107					
S16-ÇY-TY	Paslanmaz Çelik Sac	0,002	17,00	7900	0,667	1,500	
	Bitüm Membran	0,005	0,230	1100			
	Taş Yünü	0,050	0,040				
	Betonarme Döşeme	0,100	1,130	2000			
	Toplam	0,157					
S17-ÇY-CY	Paslanmaz Çelik Sac	0,002	17,00	7900	0,610	1,639	
	Bitüm Membran	0,005	0,230	1100			
	Cam Yünü	0,050	0,036	20			
	Betonarme Döşeme	0,100	1,130	2000			
	Toplam	0,157					
S18-ÇY-KY	Paslanmaz Çelik Sac	0,002	17,00	7900	0,566	1,766	0,300
	Bitüm Membran	0,005	0,230	1100			
	Kaya Yünü	0,050	0,033	100			
	Betonarme Döşeme	0,100	1,130	2000			
	Toplam	0,157					
S19-ÇY-XPS	Paslanmaz Çelik Sac	0,002	17,00	7900	0,522	1,917	
	Bitüm Membran	0,005	0,230	1100			
	XPS	0,050	0,030	35			
	Betonarme Döşeme	0,100	1,130	2000			
	Toplam	0,157					
S20-ÇY-EPS	Paslanmaz Çelik Sac	0,002	17,00	7900	0,596	1,679	
	Bitüm Membran	0,005	0,230	1100			
	EPS2	0,050	0,035	25			
	Betonarme Döşeme	0,100	1,130	2000			
	Toplam	0,157					

Tablo 5.5. Çatı yalıtım malzemesi senaryolarına ait D-E blok çatı katmanları

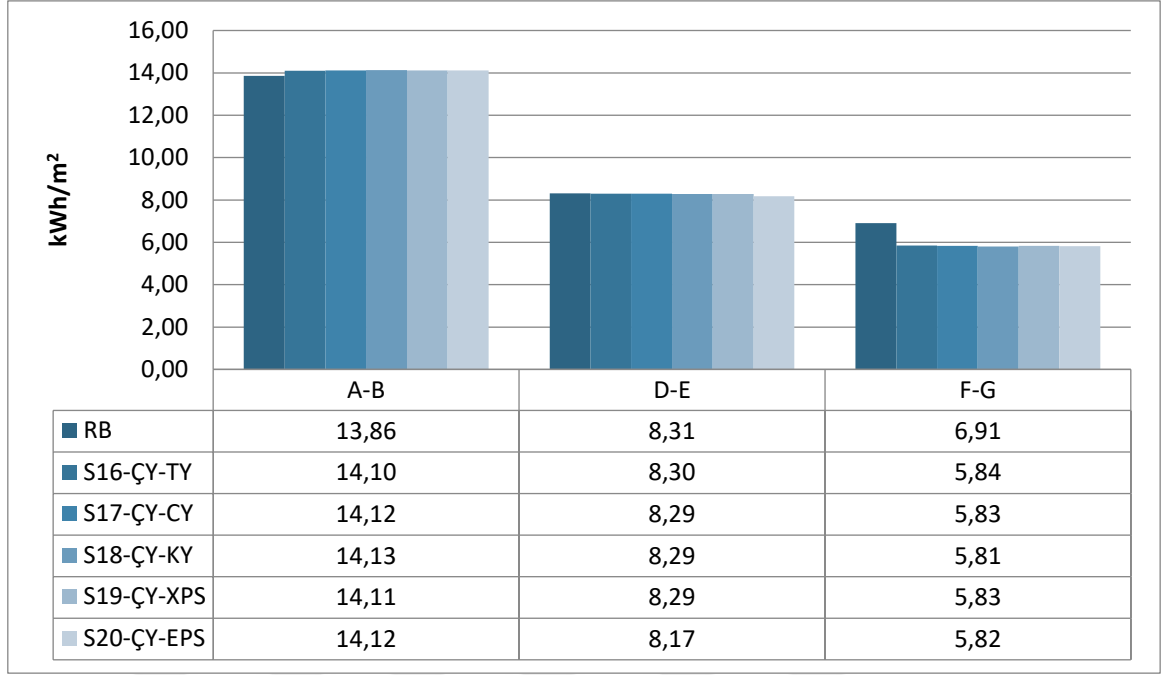
Çatı Yalıtım Türü	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isıl İletkenlik λ (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	U Değeri W/(m ² K)	Isıl Direnç R (m ² K) /W	TS 825 maks. U değeri (W/m ² K)
RB GEZİLE-MEYEN TERAS ÇATI	Çakıl Taşı	0,020	0,960	1800	0,710	1,408	
	Bitüm Membran	0,005	0,230	1100			
	EPS1	0,050	0,046	10			
	Betonarme Döşeme	0,100	1,130	2000			
	Alçı Sıva (İç)	0,020	0,400	1000			
	Toplam	0,195					
S16-ÇY-TY	Çakıl Taşı	0,020	0,960	1800	0,637	1,571	
	Bitüm Membran	0,005	0,230	1100			
	Taş Yünü	0,050	0,040	30			
	Betonarme Döşeme	0,100	1,130	2000			
	Alçı Sıva (İç)	0,020	0,400	1000			
	Toplam	0,195					
S17-ÇY-CY	Çakıl Taşı	0,020	0,960	1800	0,585	1,710	
	Bitüm Membran	0,005	0,230	1100			
	Cam Yünü	0,050	0,036	20			
	Betonarme Döşeme	0,100	1,130	2000			
	Alçı Sıva (İç)	0,020	0,400	1000			
	Toplam	0,195					
S18-ÇY-KY	Çakıl Taşı	0,020	0,960	1800	0,545	1,836	0,300
	Bitüm Membran	0,005	0,230	1100			
	Kaya Yünü	0,050	0,033	100			
	Betonarme Döşeme	0,100	1,130	2000			
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000			
	Toplam	0,195					
S19-ÇY-XPS	Çakıl Taşı	0,020	0,960	1800	0,503	1,988	
	Bitüm Membran	0,005	0,230	1100			
	XPS	0,050	0,030	35			
	Betonarme Döşeme	0,100	1,130	2000			
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000			
	Toplam	0,195					
S20-ÇY-EPS	Çakıl Taşı	0,020	0,960	1800	0,572	1,750	
	Bitüm Membran	0,005	0,230	1100			
	EPS2	0,050	0,035	25			
	Betonarme Döşeme	0,100	1,130	2000			
	Alçı Sıva (İç)	0,02	0,400	1000			
	Toplam	0,195					



Şekil 5.18. Çatı ısı yalıtım malzemelerinin yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.18’de çatı ısı yalıtım malzemesinin değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

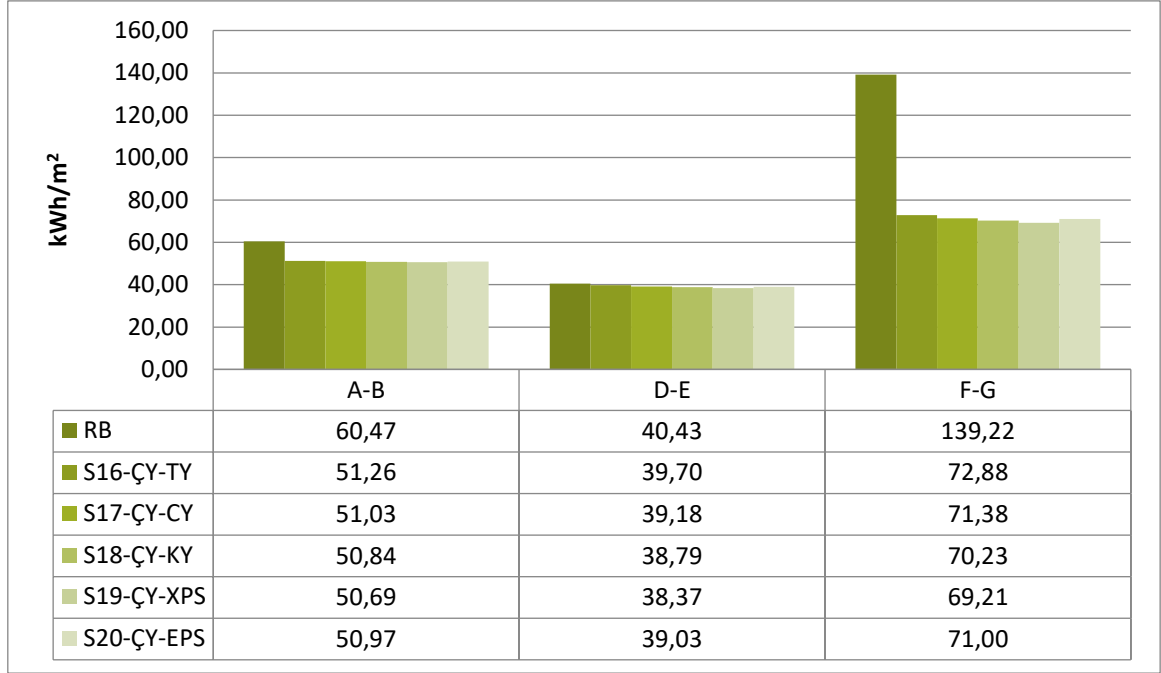
Çatı ısı yalıtım türü senaryoları yıllık ısıtma enerjisi tüketimlerine göre sıralandığında en az tüketim sağlayan senaryo sırasıyla 619.675,10 kWh ile S19-ÇY-XPS olup ardından sırasıyla 625.089,27 kWh ile S18-ÇY-KY, 629.561,60 kWh ile S20-ÇY-EPS, 631.112,00 kWh ile S17-ÇY-CY, 638.885,74 kWh ile S16-ÇY-TY kodlu senaryodur. Yıllık toplam 867.297,457 kWh ısıtma enerjisi tüketimi olan mevcut çatı katmanları, S19-ÇY-XPS senaryosu katmanları ile değiştirildiğinde yıllık 247.622,356 kWh değerinde ısıtma enerjisi tasarrufu gerçekleşmektedir. Bu değer %38,76 enerji tasarrufunun yanı sıra 64.000,13 kg CO₂ salınımına eşdeğerdir.



Şekil 5.19. Çatı ısı yalıtım malzemelerinin yıllık soğutma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.19’da çatı ısı yalıtım malzemesinin değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla A-B blokta, en az ise F-G blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Çatı ısı yalıtım türü senaryoları yıllık soğutma enerjisi tüketimlerine göre sıralandığında en fazla enerji tüketimi sırasıyla 184.994,15 kWh ile S18-ÇY-KY, 184939,13 kWh ile S17-ÇY-CY, 184.896,40 kWh ile S16-ÇY-TY, 184.855,14 kWh ile S19-ÇY-XPS, 184.821,75 kWh ile RB ve 184.419,82 kWh ile S20-ÇY-EPS senaryosunda gerçekleşmektedir. Yıllık toplam 184.821,75 kWh soğutma enerjisi tüketimi olan mevcut çatı S18-ÇY-KY senaryosu ile değiştirildiğinde yıllık 172,4 kWh soğutma enerjisi tasarrufu sağlamaktadır. Bu değer %0,093 oranında soğutma enerjisi tasarrufuna denk gelmektedir.



Şekil 5.20. Çatı ısı yalıtım malzemelerinin toplam enerji tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.20’de çatı ısı yalıtım malzemesinin değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Çatı ısı yalıtım türü senaryoları yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerine göre sıralandığında enerji tüketimi en fazla olan senaryo sırasıyla 1.052.119,21 kWh ile RB, 823.782,13 kWh ile S16-ÇY-TY, 816.051,14 kWh ile S17-ÇY-CY, 813.981,43 kWh ile S20-ÇY-EPS, 810.083,42 kWh ile S18-ÇY-KY ve 804.530,24 kWh ile S19-ÇY-XPS senaryosudur. Bu durum mevcut çatı katmanlarının XPS malzemeyi temsil eden S19-ÇY-XPS senaryosu katmanları ile değiştirildiğinde yıllık toplam 247.588,97 kWh enerji tüketimi azaltılabileceğini göstermektedir. Çalışma çatı ısı yalıtımı değişimi ile %23,53 oranında enerji tasarrufu sağlanabildiğini ortaya koymaktadır.

5.1.8. Saydam Yüzey Elemanlarında Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi

Saydam yüzey elemanları için TS 825 standartları U_p değeri tüm derece gün bölgeleri için 2,4 W/m²K olsa da bu değerın kaplamalı camlar kullanılarak 1,8 W/m²K’e kadar indirilmesi tavsiye edilmektedir. Tez çalışmasında bu durum göz önünde bulundurularak farklı cam türü alternatiflerinin ısıtma enerjisini hangi ölçüde etkilediği gözlemlenmektedir. Çalışma kapsamında cam türü hariç diğer tüm program değerleri ve bina materyalleri sabit tutulmuştur. Tez çalışması kapsamında ele alınan referans binaların mevcut pencere çerçeve konstrüksiyonu alüminyum

doğrama olup cam türü ise 3 mm berrak camdır. Bu camın DesignBuilder programında U_P değeri: 6,257 W/m²K'dir.

Bu çalışmada A-B, D-E ve F-G blok için ısıtma ihtiyacını azaltacak en yüksek performanslı cam türünü belirlemek adına mevcut cam türünden farklı 2 ayrı senaryo kurgulanmıştır:

- Çift cam Low-E berrak cam; argon gazı dolgulu 6 mm/13 mm

Bu cam sistemi 6 mm Low-E berrak 2 cam arasındaki boşluğun 13 mm argon gazı dolgusu ile doldurulmasıyla oluşturulan çift katmanlı cam sistemidir.

- Üçlü Low-E berrak cam; argon gazı dolgulu 6mm/13mm

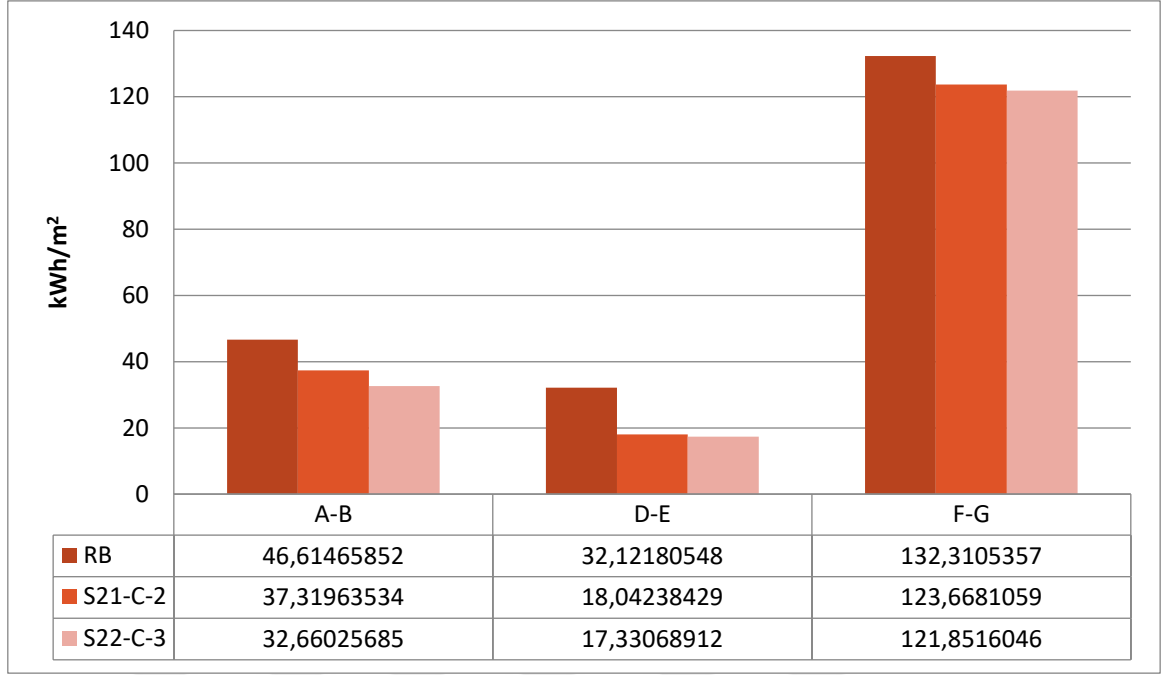
Bu cam sistemi 6 mm Low-E berrak 3 cam ve bu camlar arasındaki boşluğun 13 mm argon gazı dolgusu ile doldurulmasıyla oluşturulan 3 katmanlı cam sistemidir.

S21-C-2 kodu argon dolgulu çift katmanlı cam sistemine ait senaryoyu, S22-C-3 kodu argon dolgulu üç katmanlı cam sistemine ait senaryoyu temsil etmektedir (Tablo 5.6).

Tablo 5.6. Referans binaların cam türü senaryolarına ait cam katmanları

Cam Türü	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isıl İletkenlik λ (W/mK)	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı SHGC	U Değeri W/(m ² K)	Gün ışığı geçirgenlik değeri (VT)	TS 825 maks. U değeri (W/m ² K)
RB	Berrak Cam	0,003	0,9	0,858	6,257	0,898	
S21-C-2	Berrak Cam	0,006	0,9			0,840	
	Low-E						
	Argon Gazı	0,013	-	0,564	1,499	-	
	Berrak Cam	0,006	0,9			0,881	
	Toplam	0,026					
S22-C-3	Berrak Cam	0,003	0,9			0,850	2,400
	Low-E						
	Argon Gazı	0,013	-			-	
	Berrak Cam	0,003	0,9			0,898	
	Argon Gazı	0,013	-	0,470	0,786	-	
	Low-E Cleat	0,003	0,9			0,850	
	Rev						
	Toplam	0,035					

Bu çalışmada kullanılan cam türlerine ait U_P değerleri Tablo 5.6'da belirtilmiştir. Kalınlık ve ısı iletkenlikle doğrudan ilişkili olan U_P değeri çok katmanlı cam sistemlerinde bileşenlerin cam türleri, ara dolgu malzeme türü, katman sayısı ve camlar arasındaki boşluğa göre değişmektedir. Dolayısıyla her bir alternatifin U değeri farklı olmaktadır.

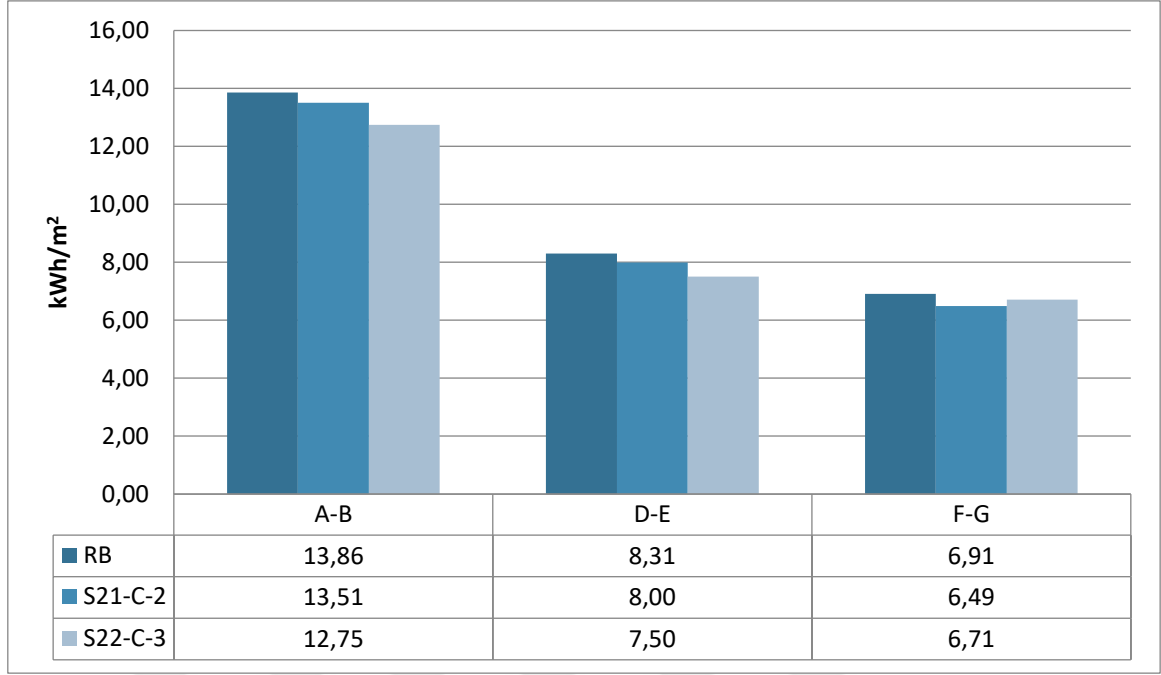


Şekil 5.21. Cam türlerinin yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.21’de cam türünün değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Analizler sonucunda enerji tasarruf potansiyeli en yüksek senaryo 6 mm berrak cam ve 13 mm argon gaz dolgulu 3 katmanlı cam sistemini temsil eden S21-C-3 senaryosudur. Referans binanın yıllık ısıtma enerji tüketim tüketim değeri 867.297,457 kWh iken S21-C-3 senaryosu ile bu değer 643.767,660 kWh’a düşmektedir.

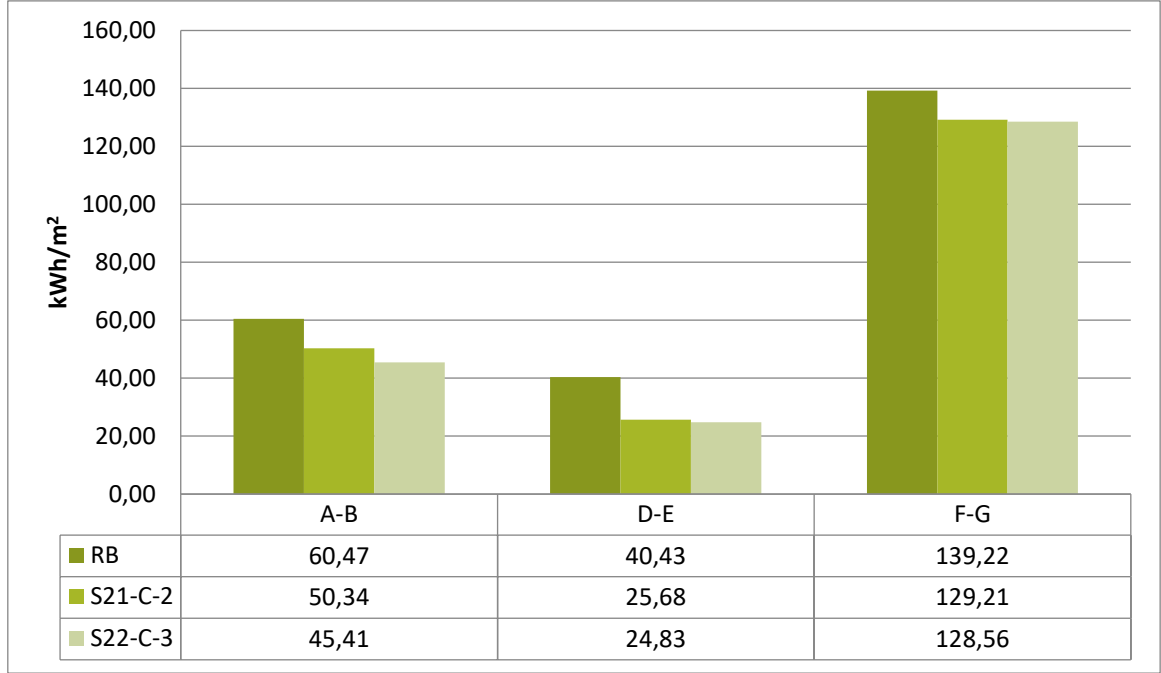
Bu çalışma ile referans binalara S21-C-3 senaryosunun uygulandığı durumda, mevcut duruma göre yıllık toplam 223.529,796 kWh enerji tasarrufu sağlanabildiği görülmektedir. Bu değer bina kabuklarında saydam yüzey materyallerinin değişmesi ile mevcut yıllık ısıtma enerjisi tüketiminden %25,77 oranında tasarruf edilebildiğini göstermektedir. Çalışmada S21-C-3 senaryosunun ısıtma enerjisi tasarrufu ile 57.773,2 kg daha az CO₂ salınımı sağlandığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.22. Cam türlerinin yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.22’de cam türünün değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla A-B blokta, en az ise F-G blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Cam yüzeylerin değiştirilmesi durumunda soğutma enerjisi tüketimi en yüksek senaryo sırasıyla 184.821,75 kWh ile RB, 179.176,23 kWh ile S21-C-2, 170.087,12 kWh ile S22-C-3 senaryosudur. Mevcut durumun soğutma enerjisi tüketimi S22-C-3 kodlu 3 katlı cam sistemi senaryosu ile yıllık toplam 14.734,63 kWh azalabilmektedir. Bu değer %7,97 oranında enerji tasarrufuna denk gelmektedir.



Şekil 5.23. Cam türlerinin yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.23'te cam türünün değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Cam yüzeylerin değiştirilmesi durumunda yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimi en yüksek senaryo sırasıyla 1.052.119,21 kWh ile RB, 865.970,65 kWh ile S21-C-2, 813.854,7815 kWh ile S22-C-3 senaryosudur. Mevcut durumun enerji tüketimi S22-C-3 kodlu 3 katlı cam sistemi senaryosu ile yıllık toplam 238.264,43 kWh azalabilmektedir. Çalışma bina saydam yüzey türü değiştirildiğinde yıllık toplam %22,65 oranında enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermektedir.

5.1.9. Pencere Çerçevelerinde Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi

Pencereler için TS 825 standartları Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U_p değeri tüm derece gün bölgeleri için 2,4 W/m²K olarak belirtilmiştir. Ayrıca Türkiye'deki ısı bölgelerine uygun cam seçiminde kullanılmak üzere hazırlanmış pencere ısıl geçirgenlik (U_p) katsayıları da Tablo 3.2'de gösterilmektedir.

Tez çalışmasında bu durum göz önünde bulundurularak farklı pencere doğrama alternatiflerinin ısıtma enerjisini hangi ölçüde etkilediği gözlemlenmektedir. Çalışma kapsamında pencere doğraması hariç diğer tüm program değerleri ve bina materyalleri sabit tutulmuştur. Tez

çalışması kapsamında ele alınan referans binaların mevcut pencere çerçeve konstrüksiyonu alüminyum doğrama olup DesignBuilder programında U_p değeri 65,881 W/m²K 'dir.

Bu çalışmada A-B, D-E ve F-G blok için ısıtma ihtiyacını azaltacak en yüksek performanslı pencere konstrüksiyonunu belirlemek adına RB senaryosundan farklı 2 ayrı senaryo kurgulanmıştır:

–PVC (Polivinilklorür)

Bu pencere konstrüksiyonu 0,02 m PVC maddesinden üretilmektedir.

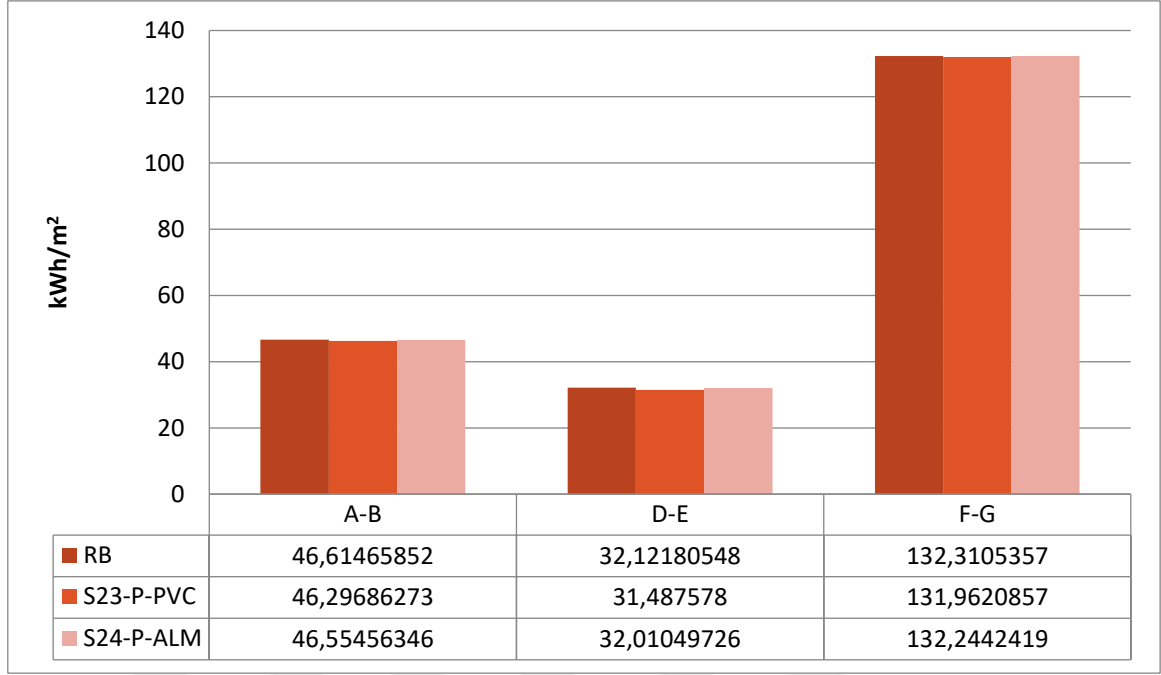
–Alüminyum-Termal Köprülü

Bu pencere konstrüksiyonu 0,02 m alüminyum, 0,05 PVC ve 0,02 gazbetondan oluşmaktadır.

S23-P-PVC kodu PVC pencere doğramasına ait senaryoyu, S24-P-AT kodu termal köprülü alüminyum pencere doğramasına ait senaryoyu temsil etmektedir (Tablo 5.7).

Tablo 5.7. Referans binaların pencere doğrama senaryolarına ait doğrama katmanları

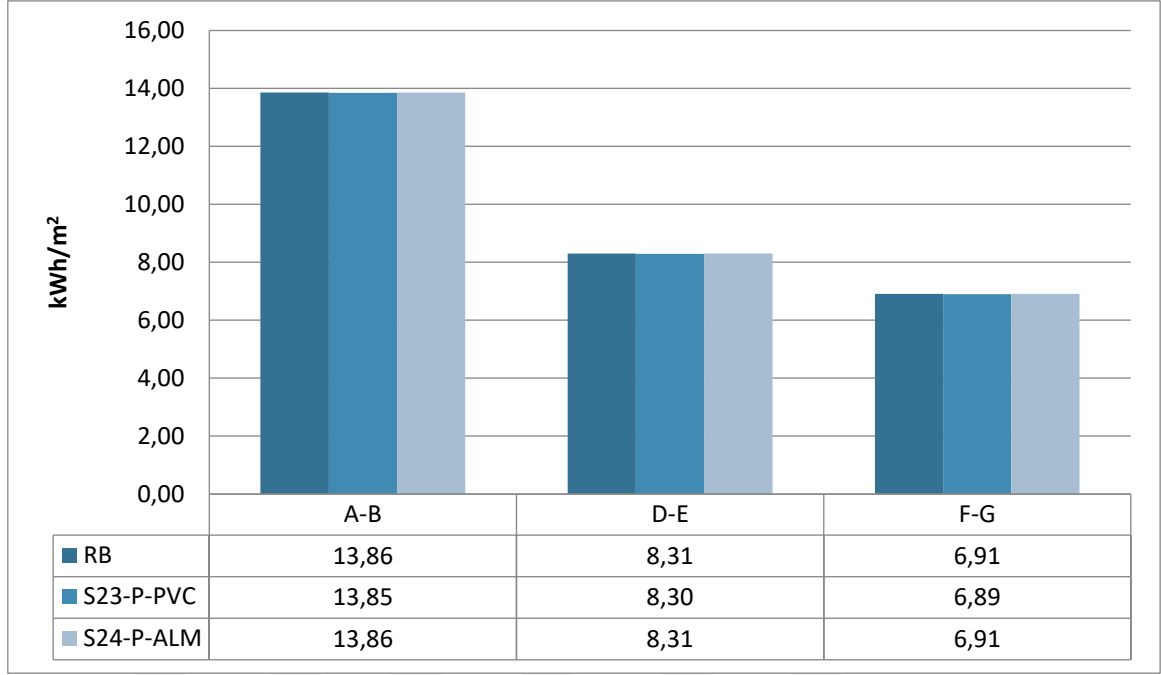
Pencere Doğrama Türü	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isıl İletkenlik λ (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	U Değeri W/(m ² K)	Isıl Direnç R (m ² K) /W	TS 825 maks. U değeri (W/m ² K)
RB	Alüminyum	0,05	160	2800	5,881	0,170	
S23-P-PVC	PVC (Polivinilklorür)	0,02	0,17	1390	3,476	0,288	
S24-P-ALM	Alüminyum	0,02	160	2800			2,4
	PVC (Polivinilklorür)	0,05	0,17	1390	4,719	0,212	
	Gazbeton	0,02	0,16	500			



Şekil 5.24. Pencere doğrama türlerinin yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.24'te pencere çerçeve türünün değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır. Grafiğe göre pencere çerçeve değişiminin 3 bina için benzer oranda değişiklik gösterdiği görülmektedir.

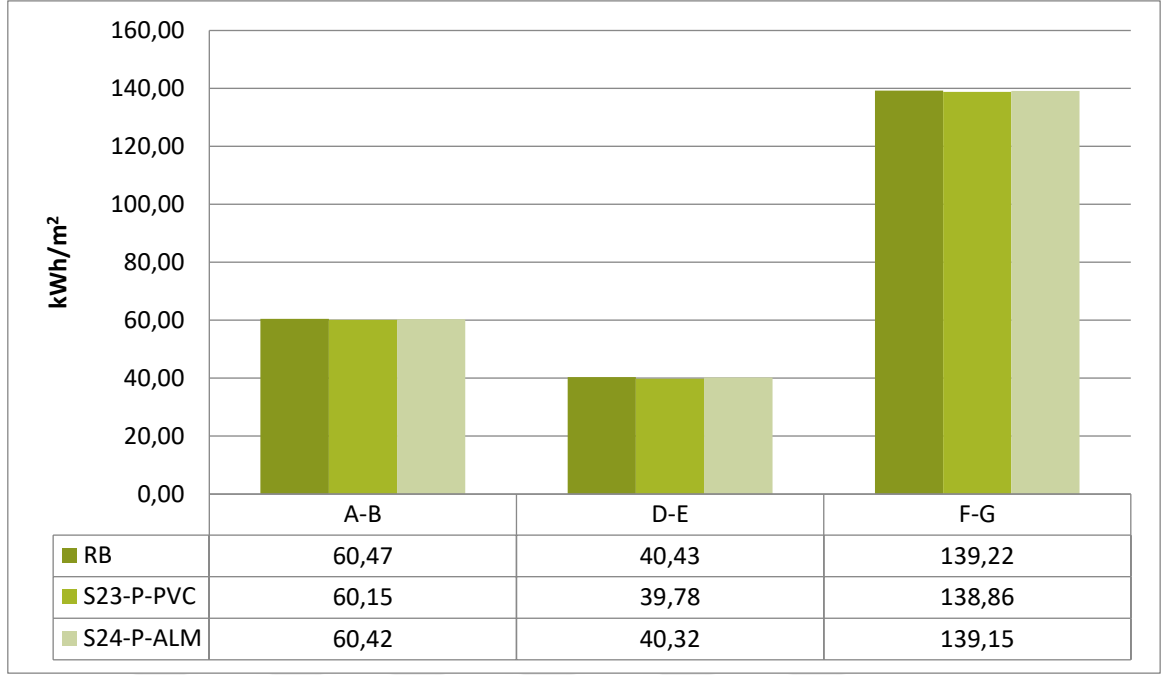
Çalışma sonuçlarına göre mevcut RB senaryosu en fazla ısı enerjisi tüketimi gerçekleştirmektedir. En iyi enerji performansını ise PVC doğrama sağlamaktadır. Pencere çerçevelerinin PVC doğrama ile değiştirilmesi durumunda yıllık toplam ısıtma enerjisi tasarrufunun 115.619,948 kWh ile %13,33 oranında azaltılabileceğini göstermektedir. Bu değer yaklaşık 29.882,97 kg CO₂ salınımına eşdeğerdir.



Şekil 5.25. Pencere doğrama türlerinin yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.25'te pencere çerçeve türünün değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla A-B blokta, en az ise F-G blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Simülasyon sonucuna göre yıllık toplam soğutma enerjisi en yüksek senaryo 184.838,17 kWh ile S24-P-ALM, 184.821,75 kWh ile RB ve 184.684,37 kWh ile S23-P-PVC senaryosudur. RB senaryosu S23-P-PVC senaryosuna göre yıllık 137,38 kWh daha fazla soğutma enerjisi tüketimine sahiptir. Çalışma pencere doğrama türünün değişim ile %0,07 oranında soğutma enerjisi tasarrufu sağlanabileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 5.26. Pencere çerçeve türü alternatiflerinin yıllık toplam enerji tüketimi sonuçları

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.26’da pencere çerçeve türünün değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Pencere çerçeve türlerinin yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerine bakıldığında mevcut pencere doğraması 1.052.119,21 kWh ile diğer alternatiflerden daha fazla yıllık enerji tüketimine sahiptir. RB senaryosunun ardından en yüksek enerji tüketimi 1.050.905,38 kWh ile S24-P-ALM senaryosundadır. Yıllık enerji tüketiminin en az olduğu pencere türü senaryosu ise 1.045.266,316 kWh ile S23-P-PVC senaryosudur. Çalışma pencere doğramaları değiştirilerek yıllık toplam 6.852,894 kWh tasarruf ile %0,65 oranında tasarruf sağlanabildiğini göstermektedir.

5.1.10. Çatı Işıklık Malzemelerinde Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi

Pencereler için TS 825 standartları bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U_p değeri tüm derece gün bölgeleri için $2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak belirtilmiştir. Bu değer in kaplamalı camlar kullanılarak $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ’e kadar indirilmesi tavsiye edilmektedir. Tez çalışmasında bu durum göz önünde bulundurularak farklı cam türü alternatiflerinin ısıtma enerjisini hangi ölçüde etkilediği gözlemlenmektedir. Çalışma kapsamında çatı ışıklık malzemesi türü hariç diğer tüm program değerleri ve bina materyalleri sabit tutulmuştur. Tez çalışması kapsamında ele alınan referans binaların mevcut pencere çerçeve konstrüksiyonu alüminyum

doğrama olup saydam kısım ise şeffaf 3 odacıklı 9,31 mm polikarbonat malzemedir. Çatı ışıklığının DesignBuilder programında U_P değeri: 4,796 W/m²K'dir.

Bu çalışmada A-B, D-E ve F-G blok için ısıtma ihtiyacını azaltacak en yüksek performanslı çatı ışıklık malzemesi türünü belirlemek adına mevcut malzemeden farklı 3 ayrı senaryo kurgulanmıştır:

- Işıklık yok
- Plexiglass
- Üçlü Low-E berrak cam; argon gazı dolgulu 6mm/13mm

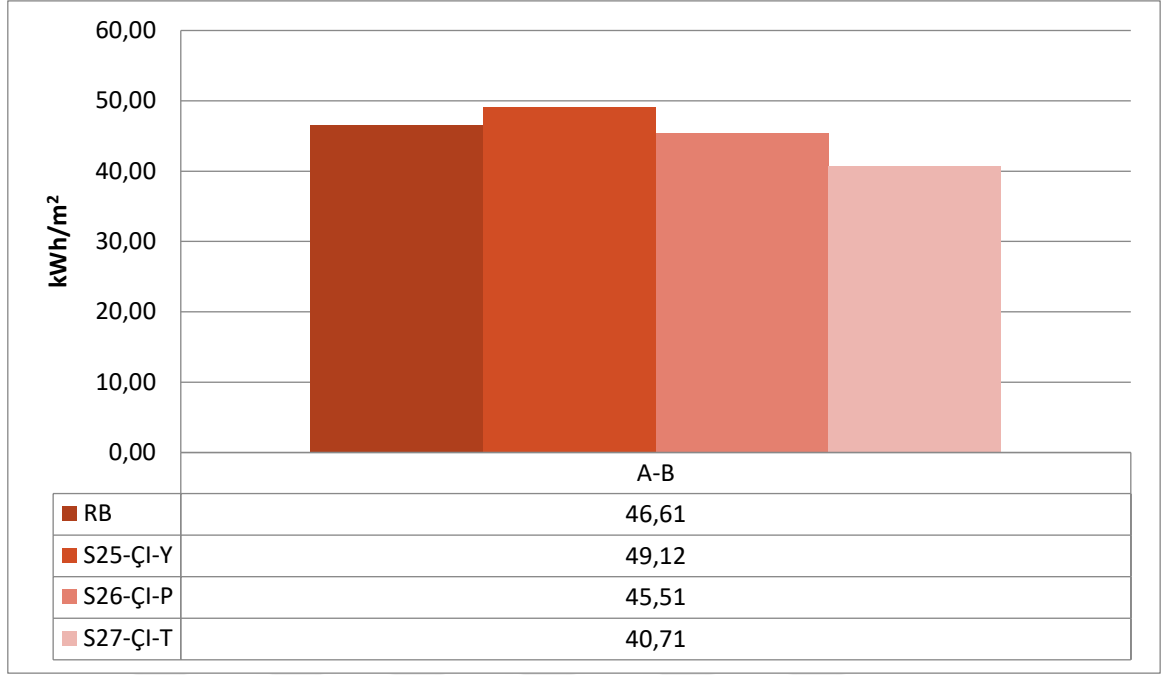
Bu cam sistemi 6 mm Low-E berrak 3 cam ve bu camlar arasındaki boşluğun 13 mm argon gazı dolgusu ile doldurulmasıyla oluşturulan 3 katmanlı cam sistemidir.

S25-ÇI-Y kodu pencere camının olmadığı senaryoyu, S26-ÇI-P plexiglass malzemeye ait senaryoyu, S27-ÇI-T argon dolgulu 3 katmanlı cam sistemine ait senaryoyu temsil etmektedir (Tablo 5.8).

Tablo 5.8. Referans binaların çatı ışıklık senaryolarına ait saydam yüzey katmanları

Çatı Saydam Yüzey Türü	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isıl İletkenlik λ (W/mK)	U Değeri W/(m ² K)	TS 825 maks. U değeri (W/m ² K)
RB	UV Polikarbonat	9,3145	0,2000	4,796	
S25-ÇI-Y	Sandviç Panel Kırma Çatı	-	-	-	
S26-ÇI-P	Plexiglass	5,994	0,1869	5,162	
S27-ÇI-T	Berrak Cam LoeE	0,003	0,9		
	Argon Gazı	0,013	-		2,400
	Berrak Cam	0,003	0,9		
	Argon Gazı	0,013	-	0,786	
	Lowe Cleat Rev	0,003	0,9		
	Toplam	0,035			

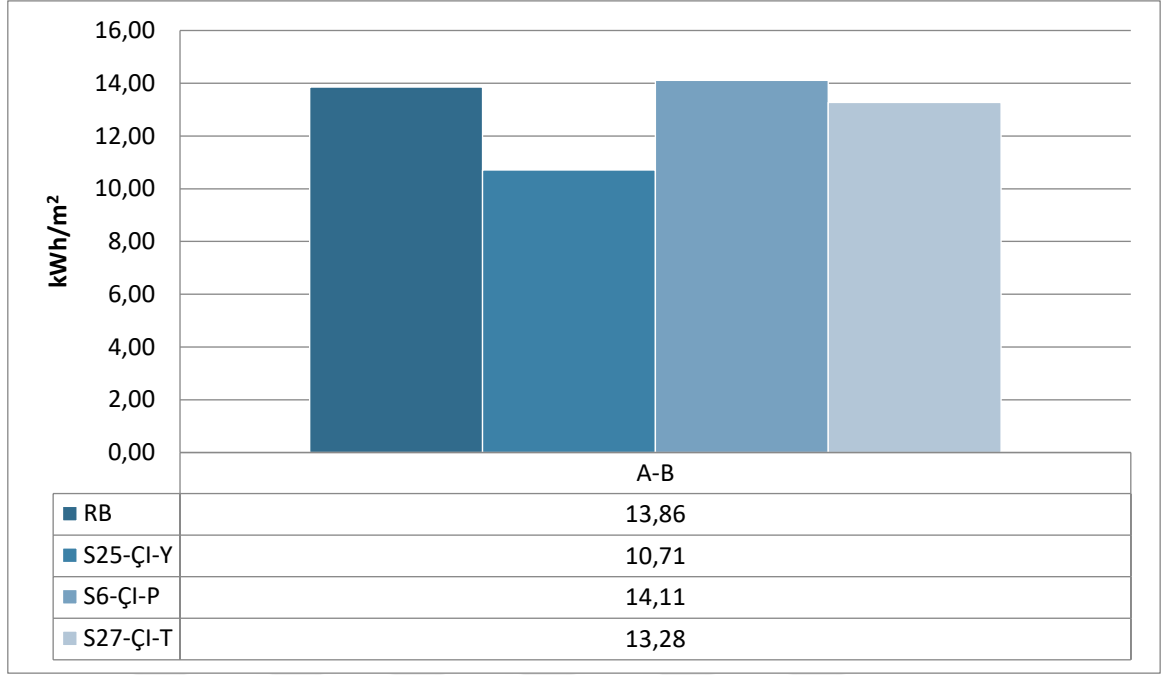
Kurgulanan senaryoların tamamı Türkiye standartlarında bir bina için uygun U değerini taşımamaktadır. Fakat bu senaryolar ısı yalıtımı konumunun mevcut durumla kıyasını sağlayabilmek adına malzeme özellikleri değiştirilmeden enerji tüketim değerlerini ortaya koymayı hedeflemektedir.



Şekil 5.27. Çatı ışıklık malzeme türlerinin yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.27’de çatı ışıklık malzeme türünün değiştirilmesi üzerine A-B blokta metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimi incelenmektedir.

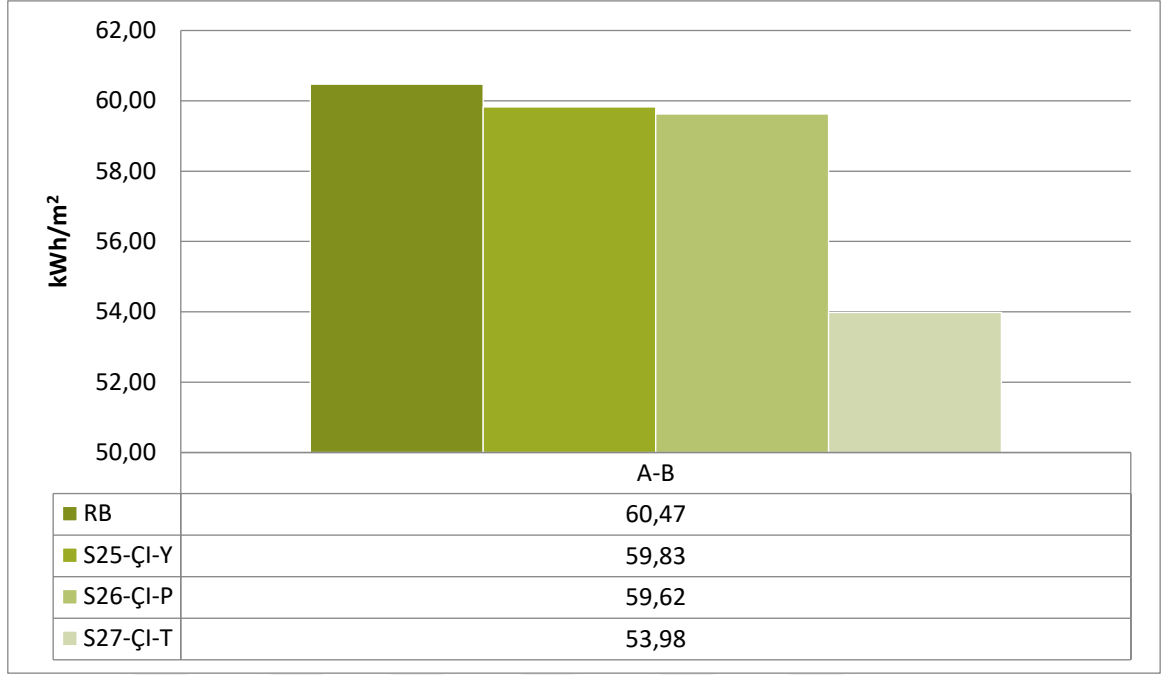
Çatı ışıklık malzeme türüne ilişkin senaryo sonuçları incelendiğinde ısıtma enerjisi tüketimi en fazla olan senaryo 466.068,63 kWh ile S25-ÇI-Y kodlu senaryodur. Isıtma enerjisi tüketiminin en az olduğu senaryo ise 386.249,21 kWh ile S27-ÇI-T kodlu 3 katmanlı cam sistemi senaryosudur. Bu çalışma çatı ışıklık malzemesi türünün değiştirilmesi ile bir yılda 79.819,42 kWh ısıtma enerjisi ile tasarrufu sağlanabildiğini göstermektedir. Bu değer bir yılda %17,12 oranında ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanabildiğini göstermektedir. Çalışmada S27-ÇI-T kodlu 3 katmanlı cam sisteminde ısıtma enerjisi tasarrufunun 20.630,02 kg CO₂ salınımına olduğu görülmüştür.



Şekil 5.28. Çatı ışıklık malzemesi türlerinin yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.28’de çatı ışıklık malzeme türünün değiştirilmesi üzerine A-B blokta metrekaşe başına düşen yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir.

Çatı ışıklık malzeme türüne ilişkin senaryo sonuçları incelendiğinde soğutma enerji tüketimi en fazla olan senaryo 133.874,12 kWh ile S27-ÇI-T kodlu senaryodur. Soğutma enerji tüketiminin en az olduğu senaryo ise 101.598,65 kWh ile S25-ÇI-Y kodlu senaryodur. Bu çalışma çatı ışıklık malzemesi türünün değiştirilmesi ile bir yılda 32.275,47 kWh soğutma enerjisi tasarrufu sağlanabildiğini göstermektedir. Bu değer bir yılda %24,10 oranında soğutma enerjisi tasarrufu sağlanabildiğini göstermektedir.



Şekil 5.29. Çatı ışıklık malzemesi türlerinin yıllık toplam enerji tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.29’da çatı ışıklık malzeme türünün değiştirilmesi üzerine A-B blokta metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir.

Çatı ışıklık malzeme türüne ilişkin senaryo sonuçları incelendiğinde toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketiminin en fazla olduğu senaryo 573.793,96 kWh ile RB senaryosudur. Toplam enerji tüketiminin en az olduğu senaryo ise 512.208,85 kWh ile S27-ÇI-T kodlu senaryodur. Bu çalışma çatı ışıklık malzemesi türü değiştirilerek bir yılda 61.585,11 kWh ile %10,73 oranında enerji tüketim tasarrufu sağlanabildiğini göstermektedir.

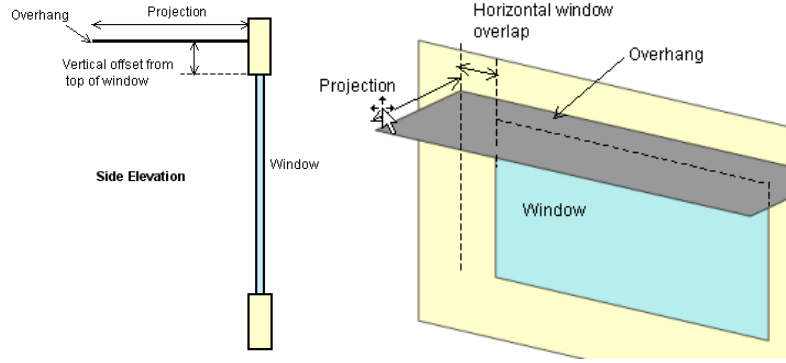
5.1.11. Gölgeleme Elemanı Türünde Farklı Alternatiflerin Enerji Tüketimine Etkisi

Bina cephelerinde ısı geçişi kontrolünü sağlamak için gölgeleme elemanları kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında referans binalarda farklı gölgeleme tiplerinin enerji tüketimine etkileri incelenmiştir. Bu doğrultuda simülasyon sırasında gölgeleme tipi hariç diğer tüm bina materyalleri sabit tutulmuştur.

Çalışmada enerji tüketimini azaltacak en yüksek performanslı gölgeleme tipini belirlemek adına mevcut bina pencerelerine 0,5 m çıkma uzunluğuna sahip 3 ayrı senaryo kurgulanmıştır:

–Üstten Asılı

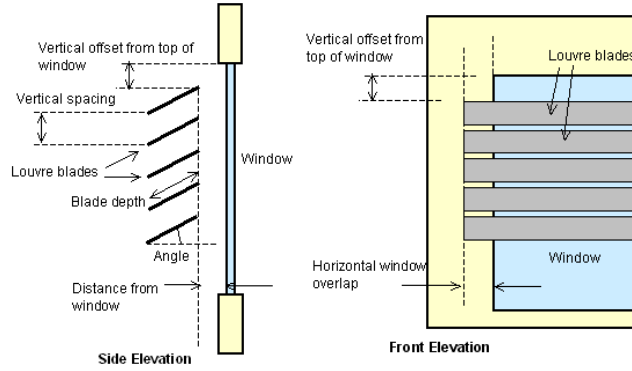
Üstten asılı gölgeleme elemanı pencerenin üst konumundan sabitlenerek farklı açılı ve uzunluklar ile gün ışığını engelleyebildiği gölgeleme sistemidir (Şekil 5.30).



Şekil 5.30. Üstten asılı gölgeleme tipi [120]

–Panjurlu

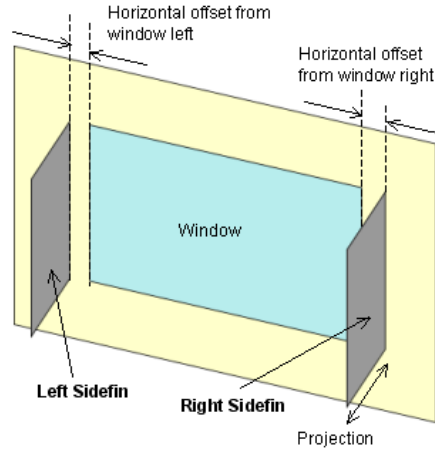
Panjurlu gölgeleme elemanı aynı açıdaki birden fazla elemanın pencere boyunca istenilen alanda sabitlenerek farklı açılı ve uzunluklar ile gün ışığını engelleyebildiği gölgeleme sistemidir (Şekil 5.31).



Şekil 5.31. Panjurlu gölgeleme tipi [120]

–Yan Kanatlı

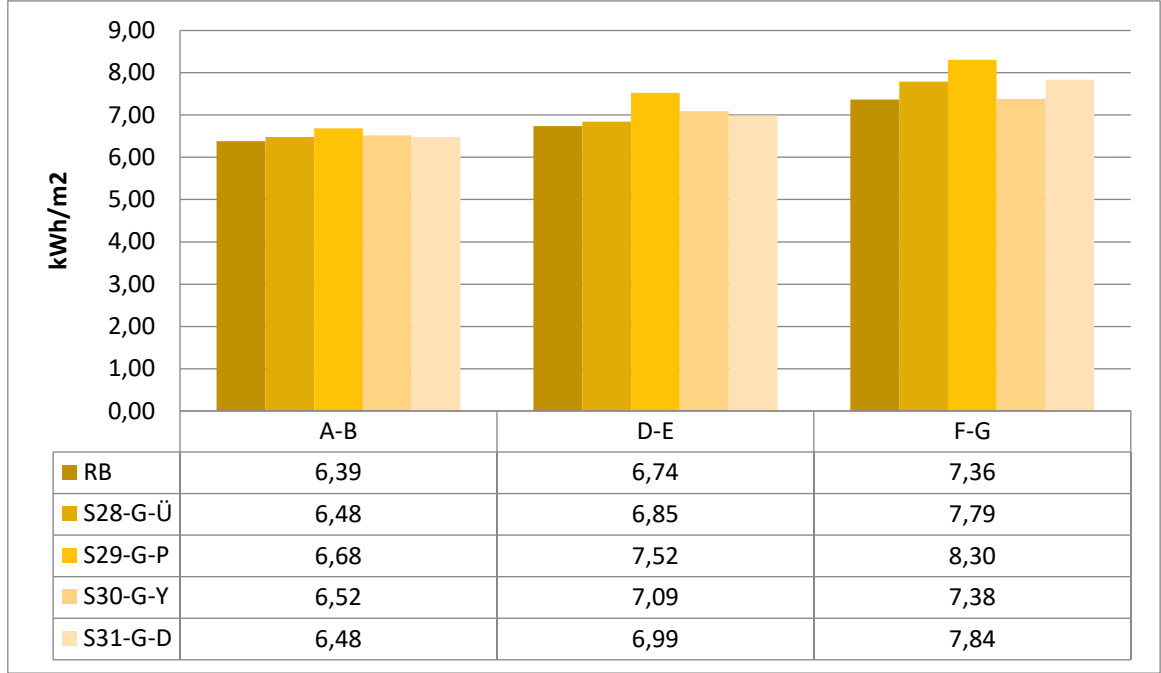
Yan kanatlı gölgeleme elemanı pencerenin bir ya da her iki yanına sabitlenerek farklı açılı ve uzunluklar ile gün ışığını engelleyebildiği gölgeleme sistemidir (Şekil 5.32).



Şekil 5.32. Yan kanatlı gölgeleme tipi [120]

Gölgeleme elemanlarının yazın ısıtma enerjisi tasarrufu sağladığı bilirse de kullanıldığı mekânlarda aydınlatma enerjisi tüketimine etkisi de düşünülmelidir. Özellikle derslik ve ofis gibi aydınlatma ihtiyacı olan mekânlarda bu durum gözden kaçırılmamalıdır. Bu nedenle çalışmada yaz aylarında kullanılan gölgeleme elemanı türünün aydınlatma enerjisi tüketimine etkisi de incelenmiştir.

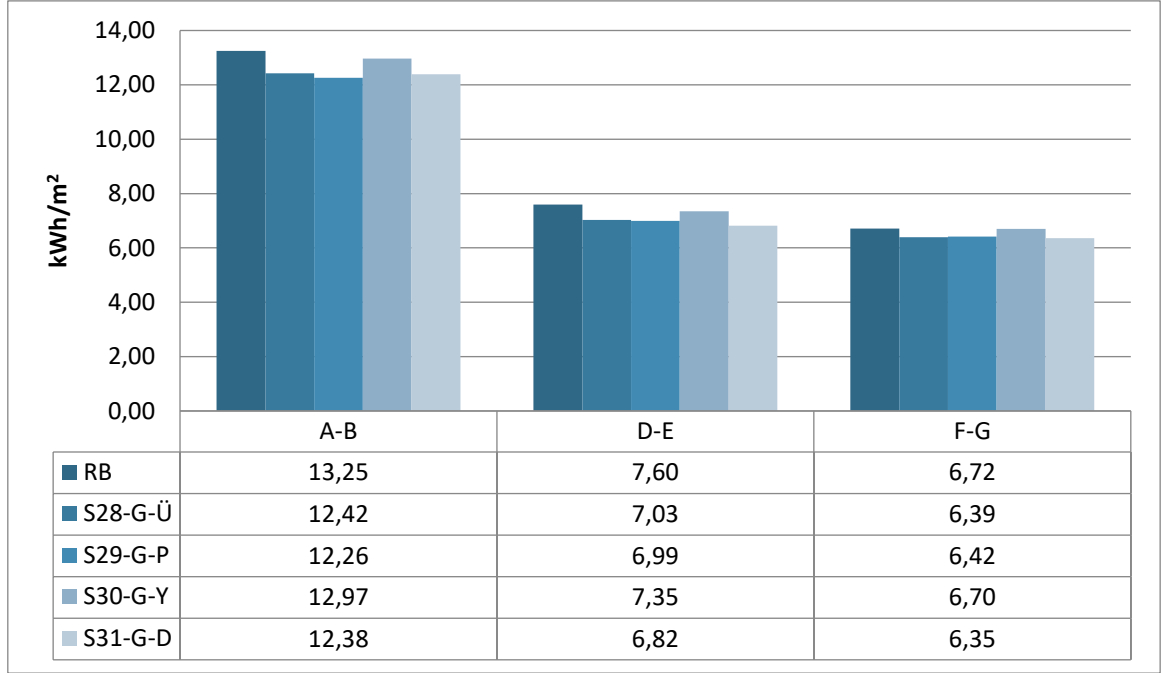
Gölgeleme elemanları özellikle güney cephelerdeki yüksek gün ışığı ve ısı kazancını engellemek üzere kullanılmaktadır. Referans binalar kuzeydoğu ve güneybatı yönlü konumlandığından çalışma kapsamındaki senaryolardan S31-G-D kodlu senaryoda bina genelinde üstten asılı yatay gölgeleme elemanı kullanılırken, kuzey doğu yönünde yan kanatlı düşey gölgeleme elemanı kullanılmıştır. S28-P-Ü kodu üstten asılı gölgeleme tipine ait senaryoyu, S29-G-P kodu panjurlu gölgeleme tipine ait senaryoyu, S30-G-Y yan kanatlı gölgeleme tipine ait senaryoyu temsil etmektedir.



Şekil 5.33. Gölgeleme elemanı alternatiflerinin yaz döneminde aydınlatma enerjisi tüketimleri

Şekil 5.33 incelendiğinde gölgeleme elemanı türüne bağlı aydınlatma enerji tüketiminde metrekare başına düşen en yüksek enerji tüketiminin F-G, en düşük enerji tüketiminin A-B blokta gerçekleştiği görülmektedir.

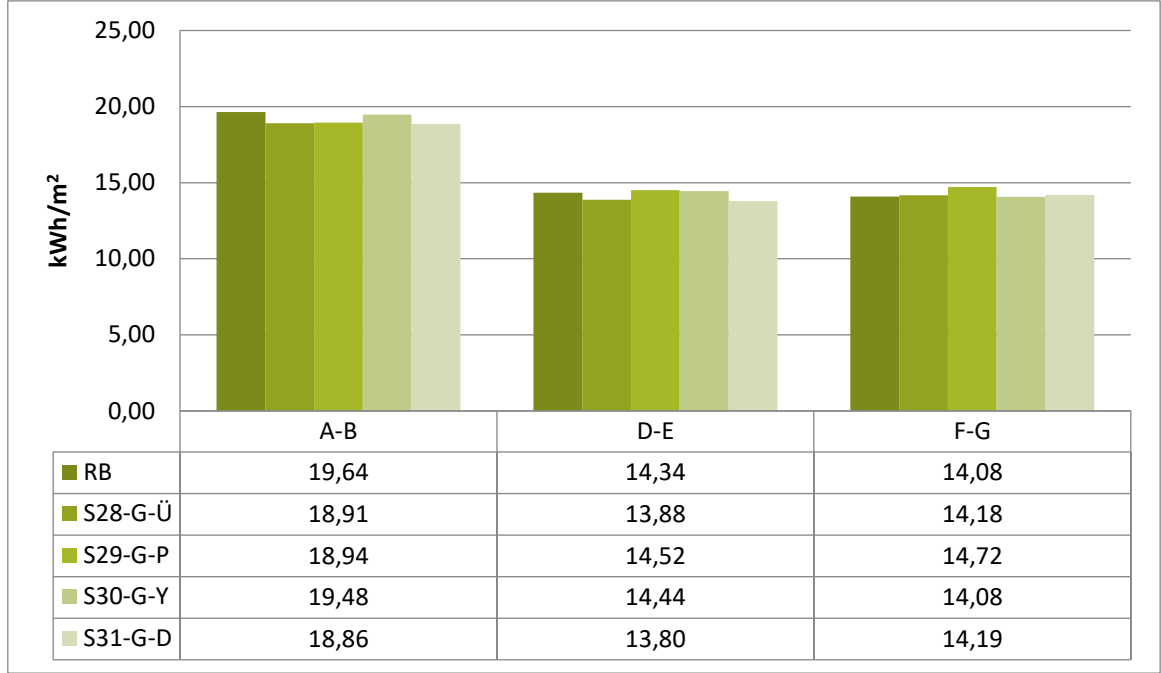
Simülasyon sonuçları enerji tüketiminin sırasıyla en fazla 115.932,85 kWh ile S29-G-P kodlu senaryoda, 110.501,65 kWh ile S31-G-D kodlu senaryoda, 110.419,10 kWh ile S30-G-Y kodlu senaryoda, 109.800,90 kWh ile S28-G-Ü kodlu senaryoda, 107.484,20 kWh ile RB kodlu mevcut durumda gerçekleştiğini göstermiştir. Yaz döneminde panjurlu gölgeleme elemanı kullanımı mevcut duruma göre 8.448,65 kWh daha fazla aydınlatma enerjisi tüketmektedir.



Şekil 5.34. Gölgeleme elemanı alternatiflerinin yaz döneminde soğutma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.34'te gölgeleme türünün değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yaz dönemi toplam soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla A-B blokta, en az ise F-G blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Farklı gölgeleme stillerine göre yapılan enerji analizleri en fazla soğutma enerjisi tüketimi sırasıyla 175.332,30 kWh ile RB, 171.411,59 kWh ile S30-G-Y, 164.154,07 kWh ile S28-G-Ü, 162.676,94 kWh ile S31-G-D, 162.436,75 kWh ile S29-G-P senaryosunda olduğunu göstermektedir. Gölgeleme elemanının kullanılmadığı mevcut durumda soğutma enerjisi tüketimi maksimum değerdedir. Soğutma enerjisi tüketimi en az olan senaryo S29-G-P kodlu gölgeleme sistemi senaryosudur. RB senaryosu S29-G-P senaryosundan yıllık 12.895,55 kWh daha fazla soğutma enerjisi tüketimine sahiptir. Bu değer soğutma enerjisinden yıllık %7,35 tasarruf edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 5.35. Gölgeleme elemanlarının yaz döneminde toplam soğutma ve aydınlatma enerji tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.35'te gölgeleme türünün değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yaz dönemi toplam soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla A-B blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Simülasyon sonuçları yıllık toplam soğutma ve aydınlatma enerji tüketimi en fazla olan senaryoların sırasıyla 282.816,50 kWh ile RB, 281.830,69 kWh ile S30-G-Y, 278.369,60 kWh ile S29-G-P, 273.954,97 kWh ile S28-G-Ü, 273.178,60 kWh ile S31-G-D senaryosu olduğunu göstermektedir. Gölgeleme elemanının kullanılmadığı mevcut durumda yıllık toplam soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimi maksimum değerdedir. RB senaryosu S31-G-D senaryosundan 9.637,9 kWh daha fazla enerji tüketimine sahiptir. Bu değer gölgeleme elemanının yaz dönemi boyunca kullanılması durumunda toplam soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketiminde %3,41 enerji tasarrufuna sağlanabileceğini göstermektedir.

5.1.12. Gölgeleme Elemanı Çıkma Uzunluklarının Enerji Tüketimine Etkisi

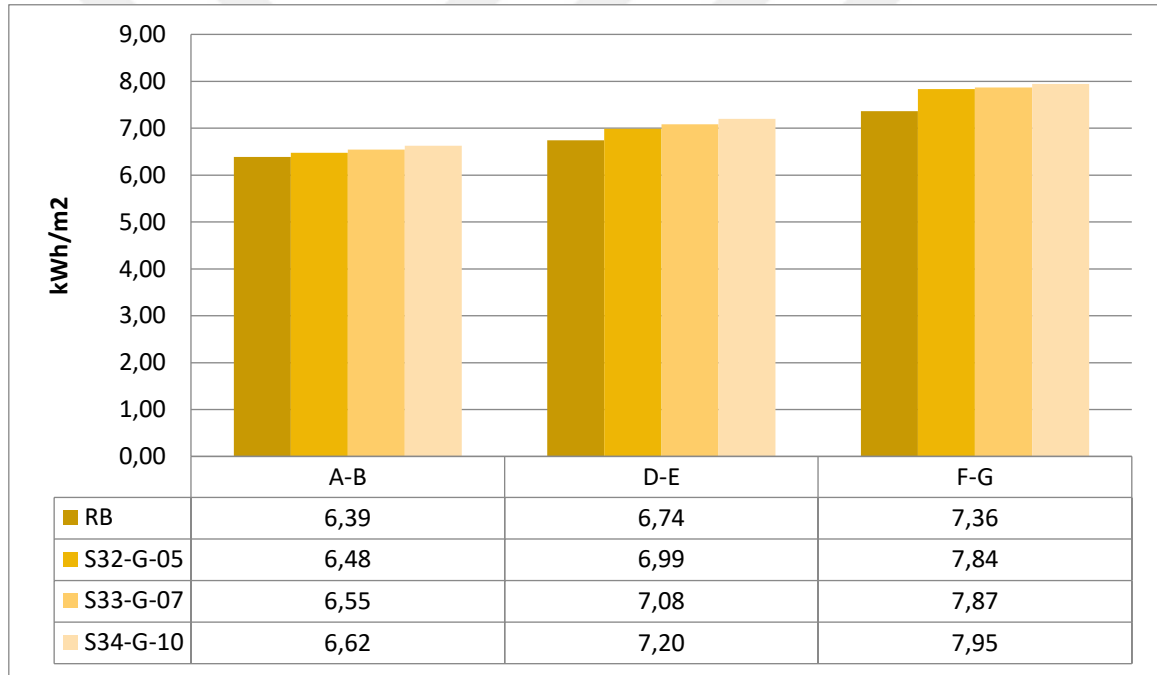
Bina cephelerinde ısı geçişi kontrolünü sağlamak için gölgeleme elemanları kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında referans binalarda gölgeleme elemanı çıkma uzunluklarında farklı alternatiflerin enerji tüketimine etkileri incelenmiştir. Bu doğrultuda bina genelinde yatay, kuzeydoğu yönünde düşey gölgeleme elemanı kullanılmıştır. Çalışmada gölgeleme elemanı çıkma uzunluğu hariç diğer tüm bina materyalleri sabit tutulmuştur.

Çalışmada enerji tüketimini azaltacak en yüksek performanslı gölgeleme tipini belirlemek adına mevcut bina pencerelerine 3 ayrı senaryo kurgulanmıştır:

- 0,5 m çıkma
- 0,7 m çıkma
- 1,0 m çıkma

Çalışmada S32-G-05 kodu 0,5 m çıkma uzunluğuna ait senaryoyu, S33-G-1 kodu 0,7 m çıkma uzunluğuna ait senaryoyu, S34-G-15 kodu 1,0 m çıkma uzunluğuna ait senaryoyu temsil etmektedir.

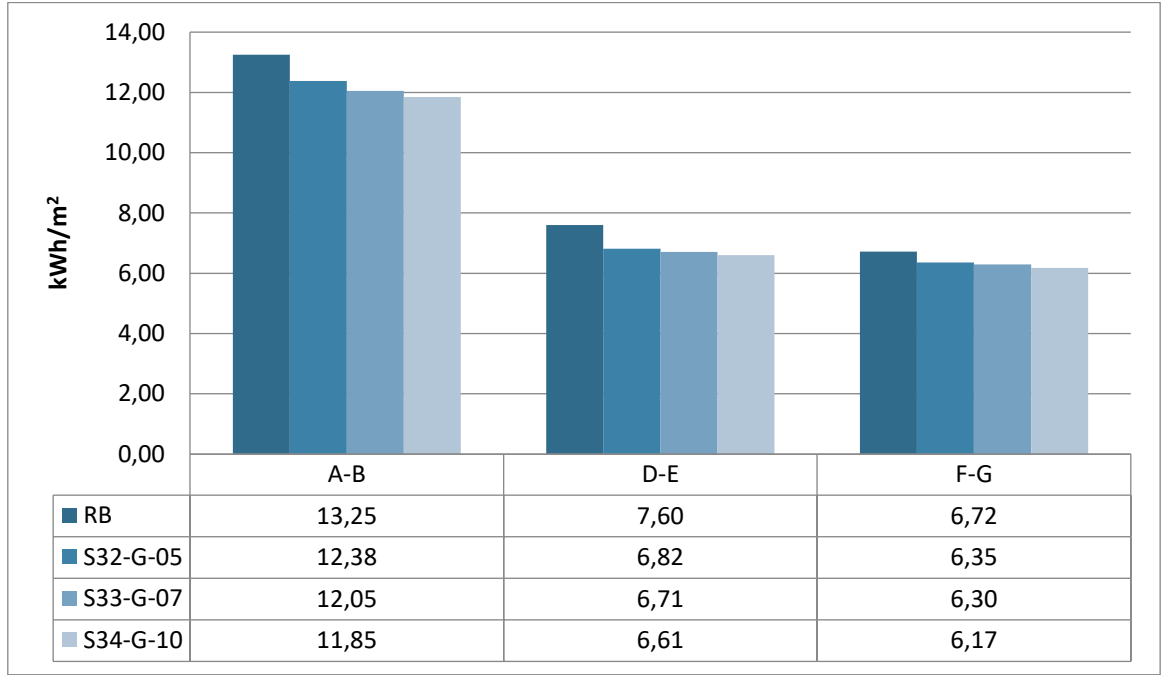
Gölgeleme elemanlarının yazın ısıtma enerjisi tasarrufu sağladığı bilinse de kullanıldığı mekânlarda aydınlatma enerjisi tüketimine etkisi de düşünülmelidir. Bu nedenle çalışmada gölgeleme elemanı çıkma uzunluğunun aydınlatma enerjisi tüketimine etkisi de incelenmiştir.



Şekil 5.36. Farklı gölgeleme elemanı çıkma uzunluklarının yıllık aydınlatma enerjisi tüketimleri

Şekil 5.36 incelendiğinde gölgeleme elemanı çıkma uzunluğuna bağlı aydınlatma enerji tüketiminde metrekare başına düşen en yüksek enerji tüketiminin F-G, en düşük enerji tüketiminin A-B blokta gerçekleştiği görülmektedir.

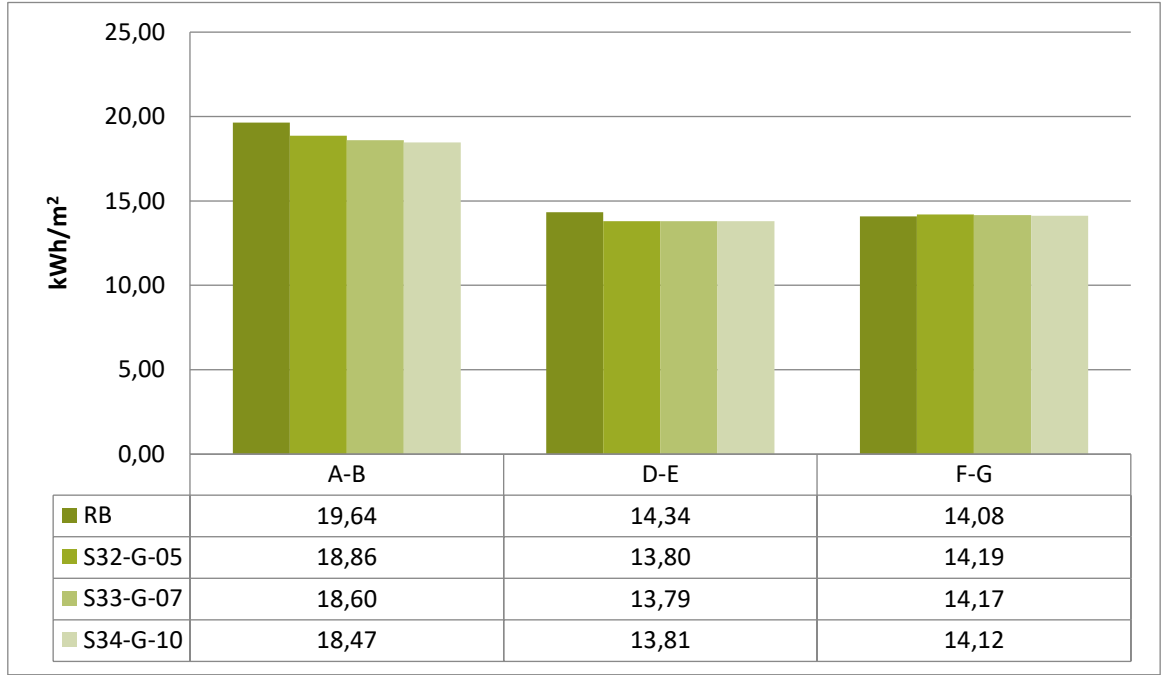
Simülasyon sonuçları enerji tüketiminin sırasıyla en fazla 113.114,14 kWh ile S34-G-10 kodlu senaryoda, 111.659,76 kWh ile S33-G-07 kodlu senaryoda, 110.501,65 kWh ile S32-G-05 kodlu senaryoda, 107.484,2 kWh ile RB kodlu mevcut durumda gerçekleştiğini göstermiştir. Bir yılda 1 m çıkıntılı gölgeleme elemanı kullanımı mevcut durumdan 5.629,94 kWh daha fazla aydınlatma enerjisi tüketmektedir.



Şekil 5.37. Farklı gölgeleme elemanı çıkma uzunluklarının yıllık soğutma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.37’de gölgeleme elemanı çıkma uzunluğunun değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yaz dönemi toplam soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla A-B blokta, en az ise F-G blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Farklı gölgeleme stillerine göre yapılan enerji analizleri en fazla soğutma enerjisi tüketiminin sırasıyla 175.332,3 kWh ile RB, 162.676,937 kWh ile S32-G-05, 158.920,64 kWh ile S33-G-07, 156.220,76 kWh ile S34-G-10 senaryosunda olduğunu göstermektedir. Gölgeleme elemanının kullanılmadığı mevcut durumda soğutma enerjisi tüketimi maksimum değerdedir. Güneş ışınlarını en fazla engelleyen senaryo S34-G-10 kodlu 1 m çıkma uzunluğundaki gölgeleme sistemi senaryosudur. RB senaryosu S34-G-10 senaryosundan yıllık 19.111,54 kWh daha fazla soğutma enerjisi tüketimine sahiptir. Bu değer soğutma enerjisinden yıllık %10,9 tasarruf edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 5.38. Gölgeleme elemanı çıkma uzunluklarının yıllık toplam enerji tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.38’de gölgeleme elemanı çıkma uzunluklarının değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yaz dönemi toplam aydınlatma ve soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Simülasyon sonuçları toplam soğutma ve aydınlatma enerji tüketimi en fazla olan senaryoların sırasıyla 282.816,5 kWh ile RB, 273.178,6 kWh ile S32-G-05, 270.580,4 kWh ile S33-G-07, 269.334,90 kWh ile S34-G-10 senaryosunda olduğunu göstermektedir. Gölgeleme elemanının kullanılmadığı mevcut durumda yıllık toplam enerji tüketimi maksimum değerdedir. RB senaryosu S34-G-10 senaryosundan 13.481,6 kWh daha fazla enerji tüketimine sahiptir. Bu değer yıllık toplam enerji tüketiminden %4,77 tasarruf edilebileceğini göstermektedir.

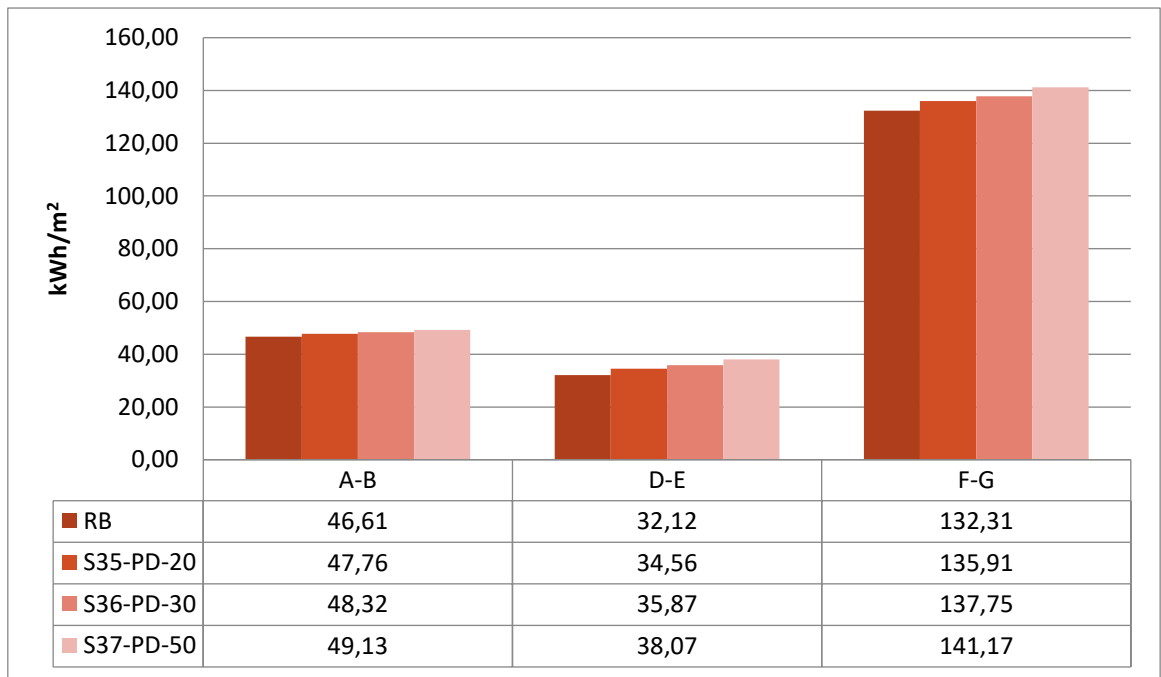
5.1.13. Cephelerdeki Saydam Yüzey Oranlarının Enerji Tüketimine Etkisi

Bina cephelerinde ısı geçişi kontrolünü sağlamak için önemli parametrelerden biri de pencere-duvar oranlarıdır. Referans binalarda bina kabuğuna ilişkin uygulanabilir parametreler başlığı altında farklı pencere-duvar oranlarının enerji tüketimine etkileri incelenmiştir. Bu doğrultuda simülasyon sırasında pencere-duvar oranı hariç diğer tüm program değerleri ve bina materyalleri sabit tutulmuştur.

Çalışmada enerji tüketimini azaltacak en yüksek performanslı pencere-duvar oranını belirlemek adına referans binalarda 3 ayrı senaryo kurgulanmıştır:

- %30 pencere-duvar oranı
- %40 pencere-duvar oranı
- %50 pencere-duvar oranı

S35-PD-20 kodu %20 pencere-duvar oranına ait senaryoyu, S36-PD-30 kodu %30 pencere-duvar oranına ait senaryoyu, S37-PD-50 kodu %50 pencere-duvar oranına ait senaryoyu temsil etmektedir.

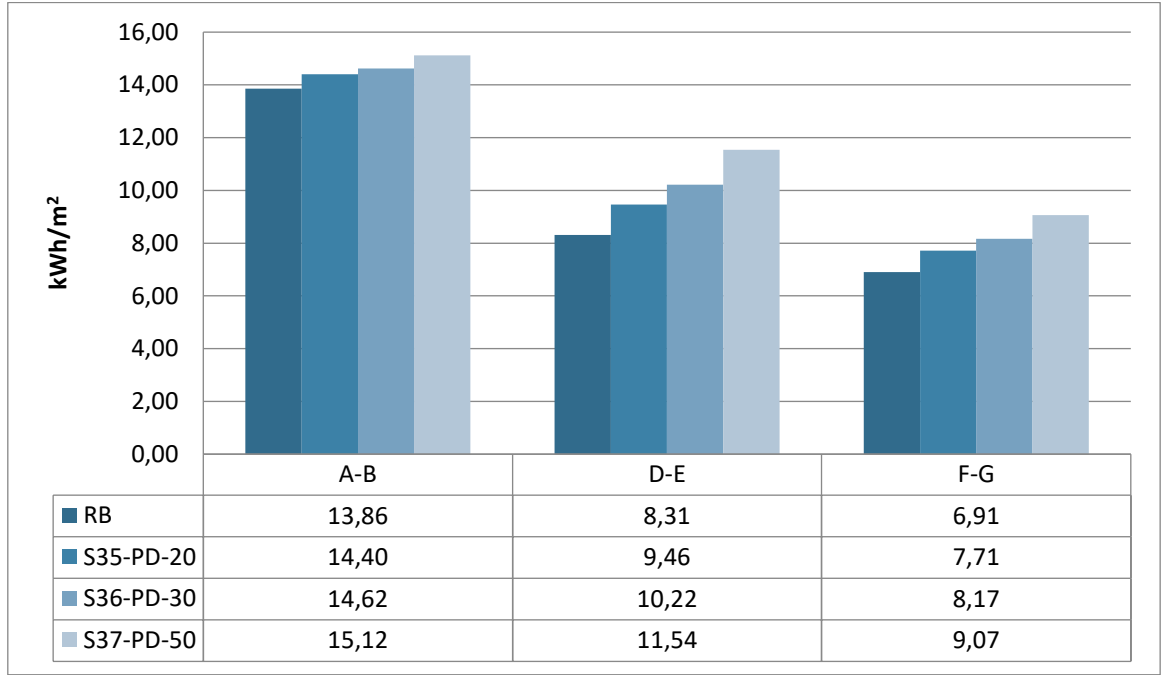


Şekil 5.39. Pencere-duvar oranına göre yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.39’da cephedeki saydam yüzey alanı oranının değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Farklı pencere-duvar oranlarına göre yapılan enerji analizleri en fazla ısıtma enerjisi tüketiminin sırasıyla 937.490,78 kWh ile S37-PD-50, 912.320,536 kWh ile S36-PD-30, 897115,082 kWh ile S35-PD-20, 867297,457 kWh ile RB senaryosu olduğu görülmektedir.

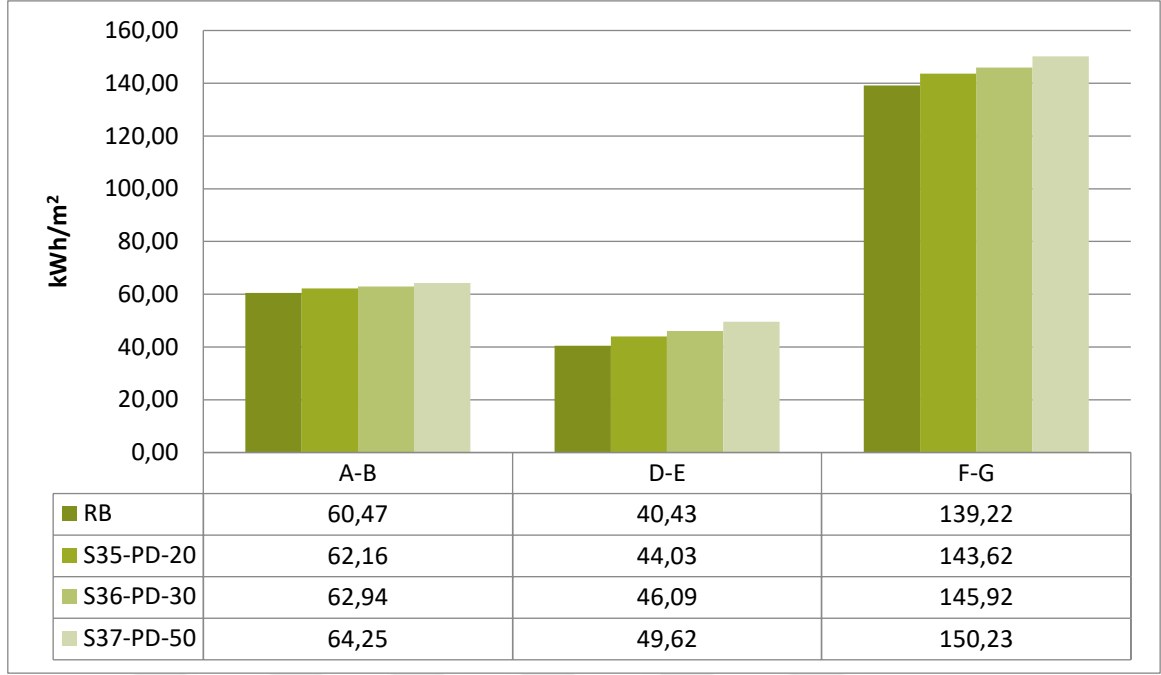
Çalışmaya göre mevcut durumda ısıtma enerjisi tüketimi minimum değerdedir. S37-PD-50 senaryosu RB senaryosundan yıllık toplam 70.193,32 kWh daha fazla ısıtma enerjisi tüketimine sahiptir. Bu durum fazladan %7,48 ısı kaybı demektir. Ayrıca saydam yüzey oranı değişimi ile elde edilen ısı tasarrufu 18.142,07 kg CO₂ salınımına eş değerdir.



Şekil 5.40. Pencere-duvar oranına göre yıllık soğutma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.40'ta cephedeki saydam yüzey alanı oranının değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla A-B blokta, en az ise F-G blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Farklı gölgeleme stillerine göre yapılan enerji analizleri en fazla soğutma enerjisi tüketiminin sırasıyla 216.432,56 kWh ile S37-PD-50, 203.618,11 kWh ile S36-PD-30, 197.023,04 kWh ile S35-PD-20, 184.821,75 kWh ile RB senaryosunda olduğunu göstermektedir. Referans binaların mevcut durumda soğutma enerjisi tüketimi minimum değerdedir. Bu durum pencere oranının daha az olmasından kaynaklanmaktadır. S37-PD-50 senaryosu RB senaryosundan yıllık 31.610,8 kWh daha fazla soğutma enerjisi tüketimine sahiptir. Bu değer yıllık soğutma enerjisi tüketiminden %14,6 oranında kayıp demektir.



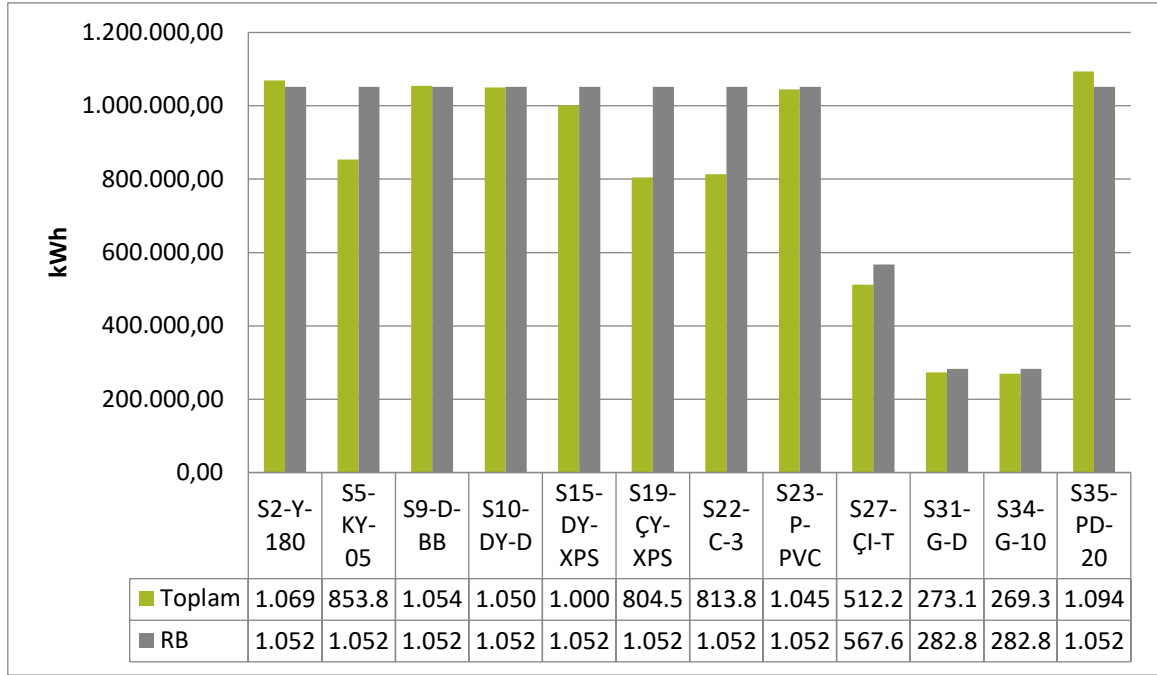
Şekil 5.41. Pencere-duvar oranına göre yıllık toplam enerji tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.41’de cephedeki saydam yüzey oranının değiştirilmesi üzerine metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Simülasyon sonuçları yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimi en fazla olan senaryoların sırasıyla 1.153.923,34 kWh ile S37-PD-50, 1.115.938,64 kWh ile S36-PD-30, 1.094.138,12 kWh ile S35-PD-20 ve 1.052.119,21 kWh ile RB senaryosunda olduğunu göstermektedir. Referans binaların mevcut durumda yıllık toplam enerji tüketimi minimum değerdedir. S37-PD-50 senaryosu RB senaryosundan 101.804,13 kWh daha fazla enerji tüketimine sahiptir. Bu değer yıllık toplam enerji tüketiminde %8,8 artış olduğunu göstermektedir.

5.1.14. Referans Binalar İçin Alternatif Bir Yenileme Senaryosu

Referans binalar 2 varsayımsal ve 10 uygulanabilir senaryo ile toplam 12 farklı senaryo oluşturularak yıllık ısıtma enerjisi tüketimi, yıllık soğutma enerjisi tüketimi, yıllık toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi ve karbondioksit salınımları analiz edilmek üzere simüle edilmiştir.



Şekil 5.42. Senaryolara ait en verimli parametrelerin toplam enerji tüketimleri karşılaştırması

Şekil 5.42’de verilen grafik, analizlere ait en verimli senaryolardan oluşturulmuştur. Grafikte S3-G-Y ve S34-G-10 senaryosu için toplam aydınlatma ve soğutma değerleri, diğer senaryolar için toplam ısıtma ve soğutma değerleri belirtilmektedir. Bu grafiğe göre en fazla enerji verimi elde edilen senaryo, mevcut çatıda XPS ısı yalıtımının kullanıldığı S19-ÇY-XPS kodlu senaryodur. En az verimli senaryo ise S35-PD-20 kodlu senaryodur.

Çalışmaya ait tüm simülasyon sonuçları incelenerek her bir senaryonun enerji tüketimi açısından en verimli parametreleri seçilmiş ve aşağıdaki tablo oluşturulmuştur (Tablo 5.9).

Tablo 5.9. Tüm senaryoların enerji tüketimi açısından en verimli alternatifleri

SENARYOLAR		EN AZ ISITMA ENERJİSİ	EN AZ SOĞUTMA ENERJİSİ	EN AZ AYDINLATMA ENERJİSİ	EN AZ TOPLAM ENERJİ
1	Yönlendirme	RB	S1-Y-180	-	RB
2	Kullanıcı Yoğunluğu	S5-KY-07	RB	-	S5-KY-05
3	Duvar Ana Malzeme Türü	S9-D-BB	S7-D-T	-	S9-D-BB
4	Duvar Yalıtımı Konumu	S10-DY-D	RB	-	S11-DY-D
5	Duvar Isı Yalıtım Malzemesi	S15-DY-XPS	S12-DY-TY	-	S15-DY-XPS
6	Çatı Isı Yalıtım Malzemesi	S19-ÇY-XPS	S20-ÇY-EPS	-	S19-ÇY-XPS
7	Cam Türü	S22-C-3	S22-C-3	-	S22-C-3
8	Pencere Çerçeve Türü	S23-P-PVC	S23-P-PVC	-	S23-P-PVC
9	Çatı Işıklık Türü	S25-ÇI-T	S25-ÇI-Y	-	S25-ÇI-T
10	Gölgeleme Türü	-	S29-G-P	RB	S31-G-D
11	Gölgeleme Çıkma Uzunluğu	-	S34-G-10	RB	S34-G-10
12	Pencere-Duvar Oranı	RB	RB	-	RB

Tablo incelendiğinde en verimli parametreler olarak;

- Yönlendirme: RB
- Kullanıcı yoğunluğu: S5-KY-05
- Duvar ana malzeme: S9-D-BB
- Duvar ısı yalıtımı: S15-DY-XPS
- Çatı ısı yalıtımı: S19-ÇY-XPS
- Cam türü: S22-C-3
- Pencere çerçevesi: S23-P-PVC
- Çatı ışıklık: S29-ÇI-T
- Gölgeleme Türü: S31-G-D (Isıtmanın olmadığı dönemlerde)

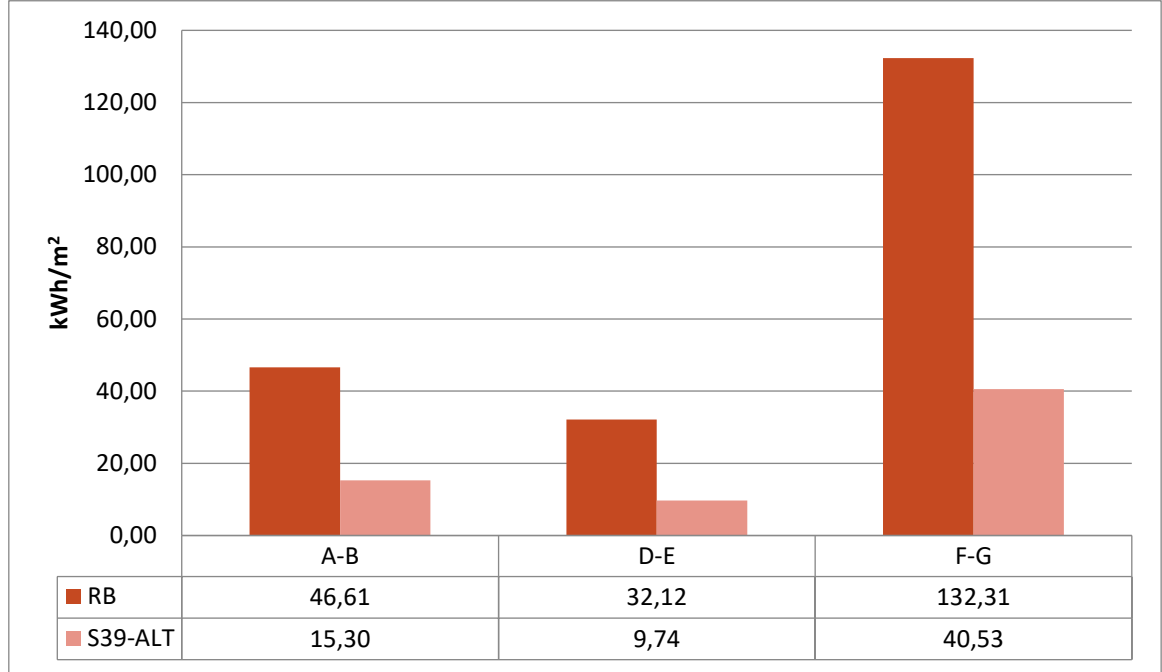
- Gölgeleme Elemanı Çıkma Uzunluğu: S34-G-10(Isıtmanın olmadığı dönemlerde)
- Pencere-Duvar Oranı: RB parametreleri seçilmiştir.

Bu tablodaki varsayımsal senaryolar (yönlenme ve kullanıcı yoğunluğu) hariç olmak üzere en verimli senaryolar ile referans binalar için alternatif bir yenileme senaryosu oluşturulmuştur. S39-ALT kodlu bu senaryoya ait bina katmanları Tablo 5.10’da verilmiştir.

Tablo 5.10. S39-ALT kodlu senaryoya ait bina katmanları

	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isıl İletkenlik λ (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	U Değeri W/(m ² K)	Isıl Direnç R (m ² K) /W	TS 825 maks. U değeri (W/m ² K)
DUVAR	Kaba Sıva (Dış)	0,020	0,500	1300	0,488	2,049	0,500
	XPS	0,050	0,030	35			
	Beton Blok	0,200	1,630	2300			
	Alçı Sıva (İç)	0,020	0,400	1000			
	Toplam	0,290					
ÇATI	Paslanmaz Çelik Sac	0,002	17,00	7900	0,279	3,584	0,300
	XPS	0,100	0,030	35			
	Bitüm Membran	0,005	0,230	1100			
	Betonarme Döşeme	0,100	1,130	2000			
	Toplam	0,207					
ÇATI IŞIKLIK TÜRÜ	Berrak Cam LowE	0,003	0,9		0,786	-	2,400
	Argon Gazı	0,013	-				
	Berrak Cam	0,003	0,9				
	Argon Gazı	0,013	-				
	Lowe Cleat Rev	0,003	0,9				
	Toplam	0,035					
CAM	Berrak Cam LowE	0,003	0,900	-	0,786	0,661	2,400
	Argon Gazı	0,013	-	-			
	Berrak Cam	0,003	0,900	-			
	Argon Gazı	0,013	-	-			
	Low-E Cleat Rev	0,003	0,900	-			
	Toplam	0,035					
PENCERE DOĞRAMA	PVC	0,020	0,170	1390	3,476	0,288	-

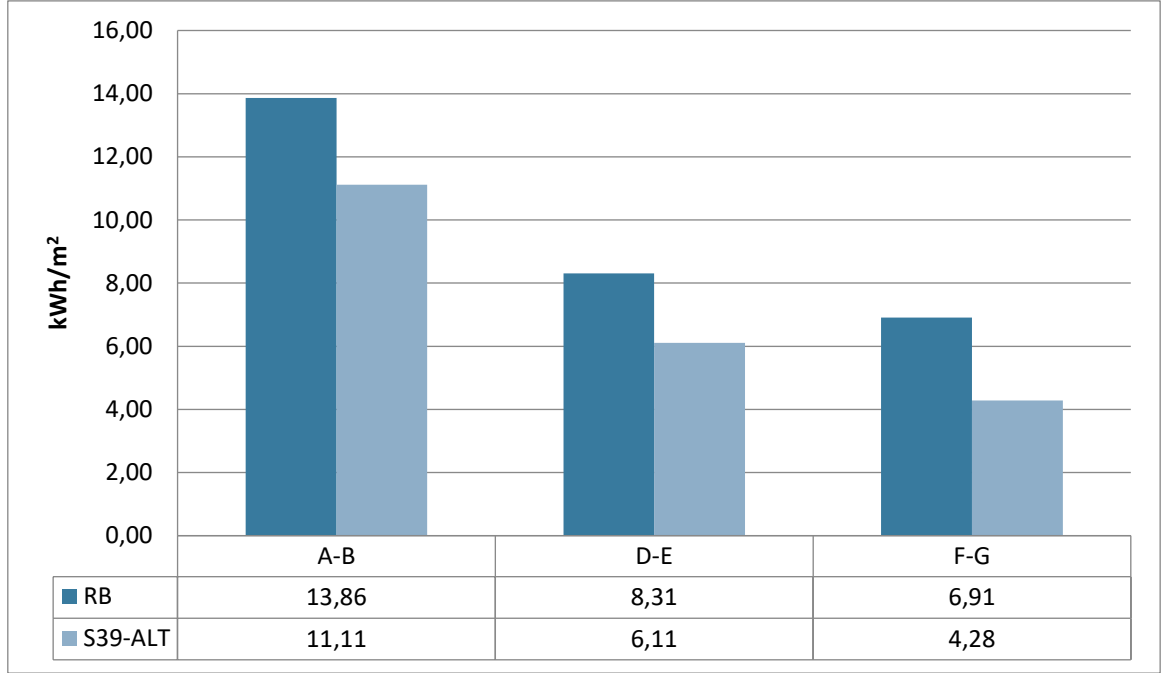
S39-ALT senaryosunda en verimli parametreleri kullanabilmek adına yaz aylarında kuzeydoğu yönünde düşey, diğer yönlerde yatay ve 1 m uzantılı gölgeleme elemanı kullanılırken kış aylarında gölgeleme elemanı tamamen kaldırılmıştır.



Şekil 5.43. RB ve S39-ALT kodlu senaryonun yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.43'te RB ve S39-ALT senaryolarının metrekaresine başına düşen yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekaresine başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

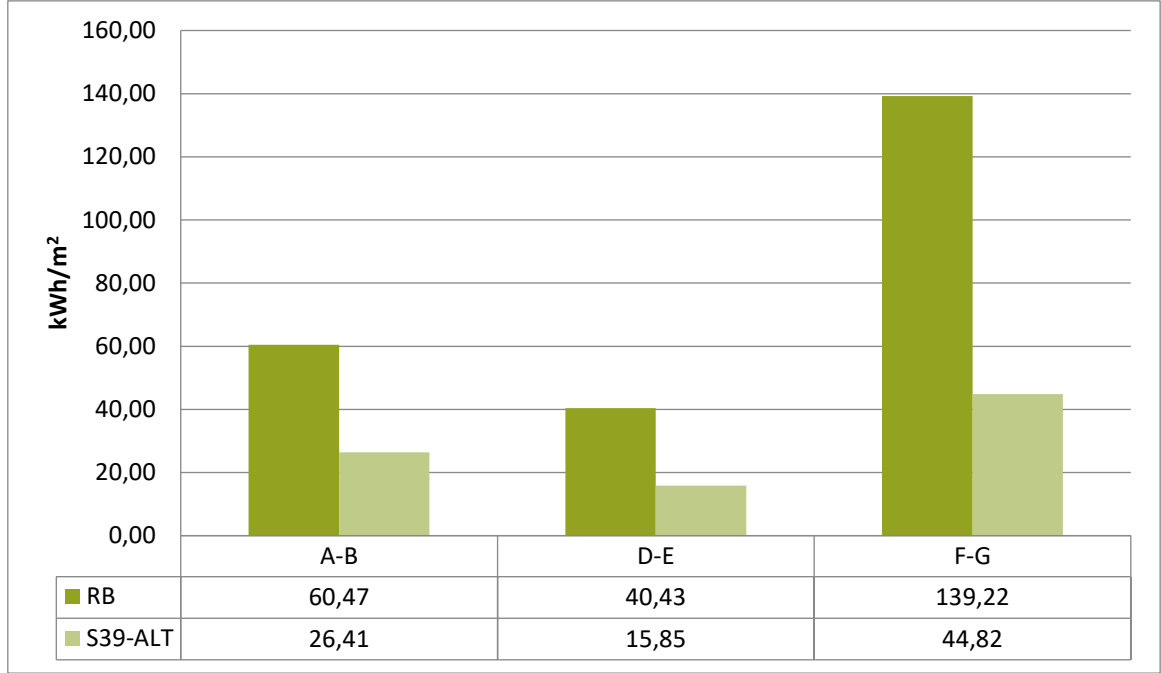
Referans binalar için kurgulanan alternatif senaryonun ısıtma enerjisi tüketim sonuçları yıllık toplam 274.872,34 kWh değeri göstermektedir. RB senaryosu ise yıllık toplam 867.297,46 kWh ısıtma enerjisi tüketimine sahiptir. Çalışma enerji açısından daha verimli malzemeler kullanılarak yıllık ısıtma enerjisinden 592.425,12 kWh tasarruf sağlanabileceğini ortaya koymaktadır. Bu değer referans binalarda, daha verimli malzemelerle, bir yılda %68,31 oranında ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanabildiğini göstermektedir. Bu oran yaklaşık 153.117,39 kg CO₂ salınımına eş değerdir.



Şekil 5.44. RB ve S39-ALT kodlu senaryonun yıllık soğutma enerjisi tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.44'te RB ve S39-ALT senaryolarının metrekare başına düşen yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla A-B blokta, en az ise F-G blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

Referans binalar için kurgulanan alternatif senaryonun soğutma enerjisi tüketim sonuçları yıllık toplam 142.981,865 kWh değeri göstermektedir. RB senaryosu ise yıllık toplam 184.821,75 kWh soğutma enerjisi tüketimine sahiptir. Çalışma enerji açısından daha verimli malzemeler kullanılarak yıllık soğutma enerjisinden 41.839,88 kWh tasarruf sağlanabileceğini ortaya koymaktadır. Bu değer referans binalarda, daha verimli malzemelerle, bir yılda %22,63 oranında soğutma enerjisi tasarrufu sağlanabildiğini göstermektedir.



Şekil 5.45. RB ve S39-ALT kodlu senaryonun yıllık toplam enerji tüketimleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ile oluşturulan Şekil 5.45'te RB ve S39-ALT senaryolarının metrekare başına düşen yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi incelenmektedir. Grafiğe göre metrekare başına enerji tüketiminin en fazla F-G blokta, en az ise D-E blokta gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır.

S39-ALT senaryosuna ait toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri referans binaların yıllık toplam 417.854,21 kWh enerji tüketimi olduğunu ortaya koymaktadır. Referans binaların mevcut durumdaki yıllık toplam enerji tüketimleri ise 1.052.119,21 kWh değerdedir. Bu değerler karşılaştırıldığında referans binalara S39-ALT senaryosunun uygulanması ile yıllık 634.265 kWh enerji tasarrufu sağlandığı görülmektedir. Çalışma enerji tüketimlerini azaltan farklı malzemeler ile toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketiminde %60,28 oranında tasarruf edilebileceğini ortaya koymaktadır.

5.1.15. GreenMetric Enerji ve İklim Değişikliği Kategorisi ve Çalışma Sonuçları

İnönü Üniversitesi 2021 UI GreenMetric Sıralamasında Ortam ve Altyapı Kategorisinde 1075, Enerji ve İklim Değişikliği Kategorisinde 1350, Atık Kategorisinde 750, Su Kategorisinde 750, Ulaşım Kategorisinde 1350, Eğitim Kategorisinde 1325 puan ile toplamda 6600 puan alarak Türkiye'de 19., dünyada 310. sırada yer almıştır. Çalışma kapsamında, endeksteki en önemli gösterge olarak kabul edilen (Puertas ve Marti, 2019) Enerji ve İklim Değişikliği Kategorisinde daha fazla puana sahip olabilmek adına bina kabuğunda enerji etkin iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

Tablo 5.11. UI GreenMetric gösterge performans ölçümü [121]

NO	KATEGORİ						PUAN	KANIT
	Enerji ve İklim Değişikliği (EC)	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]		
2.1	EC1 Enerji tasarruflu cihaz kullanımı	<%1	<%1-25	<%25-50	<%50-75	<%75	200	Gerekli
2.2		numara						
2.3	EC2 Akıllı Bina uygulaması	<%1	<%1-25	<%25-50	<%50-75	<%75	300	Gerekli
2.4	EC3 Kampüsteki yenilenebilir enerji kaynaklarının sayısı	Yok	1 kaynak	2 kaynak	3 kaynak	>3 kaynak	300	
2.5	Yenilenebilir enerji kaynakları ve Kapasitesi (kWh)	[1] None [2] Biyodizel [3] Biyokütle [4] Güneş paneli	kWh		[1] None [2] Biyodizel [3] Biyokütle [4] Güneş paneli	kWh		Gerekli
2.6	Yıllık elektrik kullanımı (kWh)	numara						Gerekli
2.7	EC4 Toplam elektrik kullanımının toplam kampüs nüfusuna bölünmesi (kWh)	>= 2424	< 2424 – 1535	< 1535 - 633	< 633 - 279	< 279	300	
2.8	EC5 Yenilenebilir enerji üretiminin yıllık toplam enerji kullanımına bölünmesiyle elde edilen oran	<= 0.5%	> 0.5 - 1%	> 1 - 2%	> 2 - 25%	> 25%	200	Gerekli
2.9	EC6 Tüm inşaat ve yenileme politikalarına yansıyan yeşil bina uygulama unsurları	Yok	1 element	2 element	3 element	>3 element	200	Gerekli
2.10	EC7 Sera gazı emisyon azaltma programı	Yok (İndirgeme programı gerekli, ancak hiçbir şey yapılmadı)	Program hazırlanıyor (örn. fizibilite çalışması ve tanıtım)	Üç kapsamdan birini azaltmayı amaçlayan program(lar) (Kapsam 1,2, 3)	Üç kapsamdan ikisini azaltmayı amaçlayan program(lar) (Kapsam 1-2, 1-3 veya 2-3)	Her üç kapsam emisyonunu da azaltmayı amaçlayan program(lar) (Kapsam 1,2,3)	200	

Tablo 5.12. (Devamı)

NO	KATEGORİ						PUAN	KANIT
2.11	Toplam karbon ayak izi (Son 12 aydaki CO2 emisyonu, metrik ton)	numara						Gerekli
2.12	EC8 Toplam karbon ayak izinin toplam kampüs nüfusuna bölünmesi (kişi başına metrik ton)	>= 2.05	< 2.05 - 1.11	< 1.11 - 0.42	< 0.42 - 0.10	< 0.10	200	
2.13	EC9 Covid-19 pandemisi sırasında yenilikçi programların sayısı	Yok	1 program	2 program	3 program	>3 program	100	Gerekli
2.14	EC10 İklim değişikliği konusunda etkili üniversite programları	Yok	Program hazırlanıyor	Bölge halkı için eğitim ve öğretim materyalleri sağlamak	Bölge halkı için ulusal düzeyde eğitim ve öğretim materyalleri sağlamak	Bölge halkı için ulusal düzeyde, bölgesel ve uluslararası düzeyde eğitim ve öğretim materyalleri sağlamak	100	Gerekli

Referans binalara ait simülasyon sonuçları ve GreenMetric gösterge performans ölçümü (Tablo 5.11) incelendiğinde;

- *EC4- Toplam elektrik kullanımının toplam kampüs nüfusuna bölünmesi (kişi başı kWh)* parametresi ile 41.839,88 soğutma enerjisi tüketiminden tasarruf edilerek kişi başına düşen enerji oranı artırılarak katkı sağlanmaktadır. Eğitim (A-B) blok ile aynı tasarıma sahip 6 bina ve idari (D-E) blok tasarıma sahip 5 bina olduğu düşünüldüğünde ise 26.082,16 kWh (A-B) ve 10.319,31 kWh (D-E) ile toplam 208.089,51 kWh soğutma enerjisi tüketimi azaltılabilmektedir.
- *EC5- Yenilenebilir enerji üretiminin yıllık toplam enerji kullanımına bölünmesiyle elde edilen oran* parametresine, yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketiminden 634.265 kWh tasarruf edilerek katkı sağlanmıştır.
- *EC6- Tüm inşaat ve yenileme politikalarına yansıyan yeşil bina uygulama unsurları* parametresi enerji performansının iyileştirilmesi, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı, bina enerji ölçümleri ve karbon salınımı azaltımı gibi konuları kapsamaktadır. Bu çalışma doğrultusunda kampüsteki 17 bina referans alınmakta ve çalışma yeşil bina uygulamalarının tüm binalara aksettirilmesi konusunda örnek niteliği taşımaktadır.
- *EC7- Sera gazı emisyon azaltma programı* parametresi 3 kapsamda incelenmektedir: Doğrudan sera gazı emisyonları, enerji dolaylı sera gazı emisyonları, diğer dolaylı sera gazı emisyonları [122]. Bu çalışma sera gazı emisyon kapsamlarından 1 ve 2'ye yani doğalgaz ve elektrik tüketiminin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.
- *EC8- Toplam karbon ayak izinin toplam kampüs nüfusuna bölünmesi (kişi başına metrik ton)* parametresine bu çalışma kapsamında 153.117,39 kg daha az CO₂ salınımı ile katkı sağlanmıştır.

5.1.16. Tartışma

Bu çalışmada 2 varsayımsal ve 10 uygulanabilir parametre ile enerji etkin iyileştirme senaryoları oluşturulmuştur. Varsayımsal senaryolardan ilki olan bina yönelme açısı ile mevcut binaların erken tasarım aşamasında değiştirilebilecek enerji tüketim davranışları analiz edilmiştir. Gülaçmaz (2021) çalışmasında yapıların bütüncül olarak tasarlanması, formu, yeri, yönelmesi gibi değişkenler dikkate alınarak erken tasarım aşamasında iken enerji etkin hale getirilmesi gerektiğini savunmaktadır [86]. Bu doğrultuda bina yönelme açısı değiştirildiğinde referans blokların mevcut yönelme (RB) açısındaki ısıtma enerjisi tüketiminin ve yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketiminin alternatif olarak sunulan diğer yönelme açılarından daha düşük

olduğu; soğutma enerjisi tüketiminin ise S1-Y-90 ve S1-Y-270 senaryolarından düşükken S1-Y-180 senaryosundan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum daha yüksek saydam alanların ve daha büyük yüzey alanlı cephelerin güneye yerleştirilmesi ile maksimum enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermiştir. Benzer şekilde Şenel Solmaz (2015) da çalışmasında bina zarfına ilişkin tüm parametreler arasından en etkin iyileştirme yönteminin güney cephedeki pencerelerin enerji etkin bir pencere sistemiyle değiştirilmesi olduğunu saptamıştır [78]. Florides vd (2002) dikdörtgen bir binada en etkin enerji kullanımının uzun kenarın güneye baktığı konumda sağlanabileceğini ifade etmektedir [93]. Tüm bu sonuçlar neticesinde referans binalarda, erken tasarım aşamasında, yönlenme açısı bakımından en doğru kararın verilmiş olduğu tespit edilmiştir.

Referans binalarda varsayımsal senaryolardan ikincisi kullanıcı yoğunluğudur. Çalışmada kullanıcı yoğunluğu ve ısıtma enerjisi tüketimi arasında ters orantı olduğu ve soğutma enerjisi tüketimi arasında doğru orantı olduğu tespit edilmiştir. Öyle ki mevcut kullanıcı yoğunluğunun 0,7 değerine sabitlenmesi ile yıllık toplam 227.660,33 kWh daha fazla soğutma enerjisi tüketimi gerçekleştirildiğini göstermektedir. Benzer şekilde Samaan vd. (2016) çalışmalarında kullanıcı yoğunluğu değişimi ile soğutma yüklerinde %10-12 azalma sağlandığını ve yüklerin kullanıcı yoğunluklarıyla doğru orantılı olarak değiştiğini gözlemlemiştir [96]. Çalışma kullanıcı yoğunluğunun 0,7 oranına sabitlenmesi ile bir yılda toplam 424.627,27 kWh ısıtma enerji tasarrufu ile ısıtma enerjisi tüketiminden %48,95 oranında tasarruf sağlanabildiğini göstermektedir. Bu oran yaklaşık 109.748,59 kg CO₂ salınımına eş değerdir. Kullanıcı yoğunluğuna ait toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimi senaryosunda ise enerji tasarruf potansiyeli en yüksek kullanıcı yoğunluğunun 0,5 oranlı yoğunluk olduğu gözlemlenmiştir. Mevcut kullanıcı yoğunluğunun 0,5 oranında değiştirilmesi bir yılda toplam 198.265,32 kWh ile %18,84 oranında enerji tasarrufu sağlandığı gözlemlenmiştir.

Bina kabuğunda enerji iyileştirmelerine yönelik kurgulanan senaryoların ilki duvar ana malzemesi değişimidir. Duvar ana malzemesi değişimi ile en fazla enerji tasarrufu sırasıyla S9-D-BB (beton blok), S8-D-GB (gazbeton) ve S7-D-T (tuğla) senaryosunda gerçekleşmiştir. Çalışmada S9-D-BB senaryosunun S7-D-T senaryosuna tercih edilmesiyle yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisinde 371.414,62 kWh ile %26,05 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Isıtma enerjisi tüketimindeki tasarruf ile 97.372,55 kg daha az CO₂ salınımı sağlanabildiği görülmüştür. Yapılan başka bir çalışma iç ortam ve dış ortam arasındaki ısı alışverişinin binalarda %40 oranında duvarlarda gerçekleştiğini ortaya koymuştur [77]. Benzer şekilde Gülaçmaz (2021) çalışmasında yapı elemanlarının U değeri arttıkça ısı alışverişi arttığı için enerji tüketim oranının da arttığını tespit etmiştir [86].

Bina kabuğuna yönelik enerji iyileştirme önerilerinden bir diğeri dış duvar ısı yalıtım malzemesi konumunun değiştirilmesidir. Florides vd (2002) çalışmada bina kabuk elemanlarında

yalıtım uygulanmasının enerji tasarrufu sağladığını ortaya koymuştur [93]. Çalışma ısı yalıtım malzemelerinin en fazla enerji tasarrufu sağladığı durumun sırasıyla S11-DY-D, RB, S10-DY-İ senaryolarında olduğunu göstermektedir. Yalıtım konumunun içte olduğu durum dışta olduğu durumdan yıllık toplam 3907,83 kWh daha fazla ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimine neden olmaktadır. Bu değer yalıtım konumunun değişmesi ile toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketiminin %0,37 oranında azaltılabileceğini göstermektedir. Elde edilen ısı enerjisi tasarrufu ise yaklaşık 569,54 kg daha az CO₂ salınımına eşdeğerdir.

Çalışma duvar yalıtım malzeme alternatiflerinin yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketiminde en fazla enerji tasarrufunun sırasıyla S15-DY-XPS (XPS), S13-DY-EPS (EPS2), S14-DY-CY (cam yünü), S12-DY-TY (taş yünü), RB (referans bina) senaryolarında gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. RB senaryosu yerine S15-DY-XPS senaryosu kullanıldığında yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi 51.329,34 kWh azalmaktadır. Bu değer duvar katmanındaki yalıtım türü değiştirilerek %4,87 oranında toplam enerji tasarrufu sağlanabildiğini göstermektedir. Aynı zamanda duvar yalıtım malzemesi değişimi ile elde edilen ısı tasarrufu 13.523,68 kg CO₂ salınımına eşdeğerdir. Şenel Solmaz (2015) doğru bilinenin aksine dış duvar ısı yalıtımı uygulamasının en etkili enerji verimliliği önlemleri listesinde bulunmadığını ve bina geometrisi, iklimi, fiziksel özelliklerinin etkileriyle farklı bir bina uygulamasında çok daha farklı sonuçlar alınacağını bildirirken [78] Florides vd (2002) ve Sozer (2010) çalışmasında doğru ısı yalıtımı tercih edildiğinde bina kabuğundaki ısı geçişinin azaltılabileceğini tespit etmiştir [75,93].

Çatı ısı yalıtım türü senaryoları yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerine göre sıralandığında enerji tüketimi en fazla olan senaryo sırasıyla RB, S16-ÇY-TY, S17-ÇY-CY, S20-ÇY-EPS, S18-ÇY-KY ve S19-ÇY-XPS senaryosudur. Bu durum mevcut çatı katmanlarının XPS malzemeyi temsil eden S19-ÇY-XPS senaryosu katmanları ile değiştirildiğinde yıllık toplam 247.588,97 kWh enerji tüketimi azaltılabileceğini göstermektedir. Çalışma çatı ısı yalıtımı değişimi ile %23,53 oranında tasarruf edilebildiğini ortaya koymaktadır. Çatı yalıtımının değiştirilmesiyle %38,76 tasarruf edilen ısı enerjisi tüketimi, 64.000,13 kg CO₂ salınımına eşdeğerdir. Yapılan bir çalışmada iç ortam ve dış ortam arasındaki ısı alışverişinin binalarda %7 oranında çatılarda gerçekleştiği görülmüştür [77].

Sozer (2010) çalışmasında doğru cam seçimi ile bina yüzeyindeki ısı alışverişinin azaltılabileceğini tespit etmiştir [75]. Başka bir çalışmada ise yapılarda iç ortam ve dış ortam arasındaki ısı alışverişinin binalarda %30 oranında pencerelerde gerçekleştiği ortaya konmuştur [77]. Bu doğrultuda değiştirilen saydam yüzeylerden yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimi en yüksek senaryo sırasıyla RB, S21-C-2, S22-C-3 senaryosudur. Mevcut durumun toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimi S22-C-3 kodlu 3 katlı cam sistemi senaryosu ile yıllık toplam 238.264,43 kWh azalabilmektedir. Bu değer bina saydam yüzey türünün değiştirilmesi ile yıllık toplam %22,65 oranında enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermektedir. Bu çalışma ile

referans binalarda saydam yüzey materyallerinin değişmesi ile mevcut yıllık ısıtma enerjisi tüketiminden %25,77 oranında tasarruf edildiği tespit edilmiştir. Çalışmada S21-C-3 senaryosunun ısıtma enerjisi tasarrufu ile 57.773,2 kg daha az CO₂ sağlandığı tespit edilmiştir. Çalışma yapı elemanlarının U değeri ve ısıtma enerjisi tüketimlerinin doğru orantılı olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde Gülaçmaz (2021) çalışmasında pencerelerin U değeri ile ısıtma enerjisi tüketiminin doğru orantılı olduğunu bildirmiştir [86]. Florides vd (2002) göre şeffaf çift camlı pencere ile soğutma enerjisi tüketiminde 3100 ile 7300 kWh arasında bir tasarruf sağlanırken soğuk havalarda güneş radyasyonunun bina kabuğundan geçişi azaldığından yıllık ısıtma enerji tüketimi 877 kWh (%23,5) artmaktadır [93]. Low-E cam ile soğutma yüklerinde önemli bir azalış sağlanırken güneş ışığı seviyesi olumsuz etkilenmektedir [96]. Bu nedenle uygun cam tipine ancak ekonomik bir analiz uygulandıktan sonra karar verilebileceği belirtilmiştir.

Pencere çerçeve türlerinin yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketiminde mevcut pencere doğraması (RB) 1.052.119,21 kWh ile diğer alternatiflerden daha fazla yıllık enerji tüketmektedir. RB senaryosunun ardından en yüksek enerji yükü 1.050.905,38 kWh ile S24-P-ALM senaryosundadır. Yıllık enerji yükünün en az olduğu pencere türü senaryosu ise 1.045.266,316 kWh ile S23-P-PVC senaryosudur. Çalışma pencere doğramaları değiştirilerek yıllık toplam 6.852,894 kWh ısıtma ve soğutma enerjisi ile %0,65 oranında tasarruf sağlanabildiğini göstermektedir. Aynı zamanda yıllık toplam 115.619,948 kWh ısıtma enerjisi tasarrufu ile yaklaşık 29.882,97 kg daha az CO₂ salınımı sağlanabilmektedir.

Çatı ışıklık malzeme türüne ilişkin senaryo sonuçları incelendiğinde toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketiminin en fazla olduğu senaryo 573.793,96 kWh ile RB senaryosudur. Toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketiminin en az olduğu senaryo ise 512.208,85 kWh ile S27-ÇI-T kodlu senaryodur. Bu çalışma çatı ışıklık malzemesi türü değiştirilerek bir yılda 61.585,11 kWh ile %10,73 oranında enerji tüketim tasarrufu sağlanabildiğini göstermektedir. S27-ÇI-T kodlu 3 katmanlı cam sisteminde ısıtma enerjisi tasarrufunun 20.630,02 kg CO₂ salınımına eşdeğer olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Samaan vd. (2016) de çalışmalarında soğutma yüklerini azaltmak ve güneş ışığı seviyelerini dengelemek için çatıda ışıklık kullanımını önermiştir [96].

Gölgeleme elemanı türü alternatiflerinde yıllık toplam soğutma ve aydınlatma enerji tüketimi en fazla olan senaryolar sırasıyla 282.816,50 kWh ile RB, 281.830,69 kWh ile S30-G-Y, 278.369,60 kWh ile S29-G-P, 273.954,97 kWh ile S28-G-Ü, 273.178,60 kWh ile S31-G-D senaryolarıdır. Gölgeleme elemanının kullanılmadığı mevcut durumda yıllık toplam soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimi maksimum değerdedir. Bu durum gölgeleme elemanlarının yaz dönemlerinde gün ışığını ve ısıyı kesici özelliklerinin enerji yüklerini azaltmasından kaynaklanmaktadır. Çalışma gölgeleme elemanı kullanımının soğutma enerjisinde sağladığı faydanın yanı sıra aydınlatma enerjisi tüketimini artırdığını ortaya koymaktadır. Fakat yaz

aylarında toplam enerji tüketimine bakıldığında RB senaryosu S31-G-D senaryosundan 9.637,9 kWh daha fazla enerji tüketimine sahiptir. Bu değer gölgeleme elemanın yaz dönemi boyunca kullanılması durumunda toplam soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketiminde %3,41 enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermektedir. Benzer şekilde Ge vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada gölgeleme elemanı yaz aylarında soğutma enerjisi ihtiyacını önemli ölçüde azaltsa da kış aylarında çok az bir etki oluşturmaktadır [101]. Çalışma sonucunda bina kabuğu iyileştirmelerinin enerji ihtiyacını büyük oranda azalttığı tespit edilmiştir. Sozer (2010) de çalışmasında doğru gölgeleme ekipmanı tercihi ile bina kabuğunda gerçekleşen ısı alışverişinin azaltılabileceği tespit etmiştir [75].

Gölgeleme elemanı çıkma uzunluklarında farklı alternatiflerden yıllık toplam soğutma ve aydınlatma enerji tüketimi en fazla olan senaryolar sırasıyla 282.816,5 kWh ile RB, 273.178,6 kWh ile S32-G-05, 270.580,4 kWh ile S33-G-07, 269.334,90 kWh ile S34-G-10 senaryosudur. Gölgeleme elemanının kullanılmadığı mevcut durumda yıllık toplam enerji tüketimi maksimum değerdedir. RB senaryosu S34-G-10 senaryosundan 13.481,6 kWh daha fazla enerji tüketimine sahiptir. Bu değer yıllık toplam enerji tüketiminden %4,77 tasarruf edilebileceğini göstermektedir. Benzer şekilde Florides vd (2002) çalışmalarında gölgeleme elemanı çıkma uzunluğu arttıkça yıllık soğutma yükünün azaldığını ancak aynı zamanda kış mevsimindeki yararlı güneş radyasyonu engellendiğinden yıllık ısıtma yükünün arttığını tespit etmiştir [93]. Bu nedenle kışın toplanabilen, yaz aylarında uzun çıkmalar ile kullanılabilen gölgeleme elemanlarını tercih etmek daha avantajlı olmaktadır.

Cephelerdeki saydam yüzey oranları alternatiflerinden yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji yükü en fazla olan senaryolar sırasıyla 1.153.923,34 kWh ile S37-PD-50, 1.115.938,64 kWh ile S36-PD-30, 1.094.138,12 kWh ile S35-PD-20 ve 1.052.119,21 kWh ile RB senaryosudur. Referans binaların mevcut durumda yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi minimum değerdedir. S37-PD-50 senaryosu RB senaryosundan 101.804,13 kWh daha fazla enerji tüketimine sahiptir. Bu değer yıllık toplam enerji tüketiminde %8,8 artış olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu değişim ile elde edilen ısı tasarrufu 18.142,07 kg CO₂ salınımına eş değerdir. Çalışmada saydam yüzey oranı arttıkça ısıtma enerjisi tüketiminin de arttığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde Gülaçmaz (2021) da çalışmasında pencere yüzey alanı oranının ısıtma enerjisi kullanımı ile doğru orantılı olduğu tespit etmiştir [86].

Son olarak referans binalar için oluşturulan S39-ALT kodlu alternatif yenileme senaryosunda ısıtma enerjisinden 592.425,12 kWh ile %68,31 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Bu oran 153.117,39 kg daha az CO₂ salınımına eş değerdir. S39-ALT senaryosu ile yıllık soğutma enerjisinden 41.839,88 kWh tasarruf sağlanabilmektedir. Bu değer ile referans binalarda, daha verimli malzemelerle, bir yılda %22,63 oranında soğutma enerjisi tasarrufu sağlanabildiğini görülmektedir. Referans binalara S39-ALT senaryosunun uygulanması ile yıllık

634.265 kWh toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tasarrufu sağlandığı görülmektedir. Çalışma enerji açısından daha verimli malzemeler kullanılarak toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketiminde %60,28 oranında tasarruf edilebileceğini ortaya koymaktadır. İmık (2017) de çalışmasında bir binanın ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması ile %50 oranında enerji tasarrufu sağlanabildiğini tespit etmiştir [45]. Chung ve Rhee (2014) çalışmalarında iyileştirme stratejileri ile farklı binalarda %6-29, %10 -22 ve %18 -29 oranlarında enerji tasarrufu sağlanabildiğini ortaya koymuştur [95]. Gil-Báez vd. (2018) çalışmalarında bina kabuğunda solar cam koruması, gölgeleme elemanı, taşınabilir gölgeleme elemanı, ağaçlandırma, iç ve dış duvar ısı yalıtımı, iç ve dış çatı ısı yalıtımı ve cam türü değişiminden (Low-E) oluşan 11 pasif önlem ile ısıtmada %17,7 ve soğutmada %15,9 tasarruf sağlamıştır [99]. Koçyiğit (2019) çalışmasında toplam enerji tüketiminde elde edilen tasarrufun %42,07 ve %64,33 bandında değiştiğini tespit etmiştir [104]. Ali ve Hashlamun (2019) çalışmasında dış duvar ısı yalıtımı, çatı ısı yalıtımı, çatı yansıtma oranı, pencere çerçeveleri, pencere filmleri, cam türü değişimi, güneş ısı kazancı kontrol sistemleri olmak üzere 6 parametre ile yıllık soğutma enerjisinde %59,2, yıllık ısıtma enerjisinde %36,4 oranında azalış sağlanırken toplam enerji tasarrufu %54 olarak tespit edilmiştir. Çalışma, mevcut binalarda uygulanan enerji etkin iyileştirmelerin ulusal harcamalardan, zamandan ve kaynaktan kazanç sağlandığını vurgulamaktadır [103]. Benzer şekilde Samaan vd (2016) çalışmalarında önerilen kabuk iyileştirmeleri ile soğutma yükleri üzerinde %26'dan %31'e kadar azalma sağlamıştır [96]. Tüm bu sonuçlar üniversite binalarının yüksek oranda enerji tasarruf potansiyeli olduğunu ortaya koymaktadır.

Analizlere ait toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri incelendiğinde en fazla enerji verimi elde edilen senaryo %23,53 oranı ile mevcut çatı yalıtımının XPS malzeme ile değişimi ve %22,65 oranı ile mevcut cam katmanının 3 katmanlı cam sistemi ile değişimi sonucunda elde edilmiştir. En az verimli senaryo ise pencere-duvar oranının %20 olduğu S35-PD-20 kodlu senaryodur. Benzer şekilde Yıldız ve Koçyiğit (2020) tüm enerji stratejilerinin aynı ölçüde etkili olmamakla birlikte pasif stratejilerde en etkili olanın duvar ve çatı yalıtımları; en az etkili olanın ise gölgeleme elemanı kullanımı olduğunu belirtmektedir [106].

Yenileme çalışmaları çok değerli olsa da her binaya ait çözümlerin farklı olabileceği bilinmektedir [94]. Bu bilgiler ışığında bütüncül bir enerji simülasyonu, risk değerlendirmeleri ve ekonomik analizi dikkate almak enerji verimliliği açısından en etkili yöntemdir.

6. SONUÇLAR

Bilimsel araştırma ve eğitim alanlarında dünyayı şekillendiren ve yön veren kurumlar olarak üniversiteler; küresel meseleleri ele alan, nesilleri geliştiren ve kuşaklararası bilgi aktarımını teşvik eden kilit mekânlardır. Yenilikçi, sürdürülebilir ve ekolojik lider olma kapasiteleriyle üniversiteler kentlere katkı sunan özel mekânsal kompleks yapılardır. İklim değişikliğinin yaşandığı, enerji kaynaklarının tükendiği bu dönemde ekolojik çalışmaların dolayısıyla eko-kampüslerin önemi her geçen gün artmaktadır. İklim değişikliğine ilişkin artan endişelerle birlikte, küçük ölçekli kent temsili olan üniversiteler, olumsuz etkileri azaltmak için çeşitli sürdürülebilirlik değerlendirmelerine dâhil olmaktadır. Değerlendirme araçları sayesinde üniversiteler çevresel etkileri ile sürdürülebilirlik konusunda hangi seviyede olduklarını görebilme ve diğer üniversitelerle kendi eylemlerini kıyaslama olanağına sahip olmaktadır. Değerlendirme araçlarından biri olarak UI GreenMetric Dünya Üniversiteler Sıralaması, dünya üniversitelerine yapılan ücretsiz çevrimiçi anketler neticesinde bu üniversitelerin yeşil üniversite profiline ne denli yakın olduklarını ortaya koymayı hedeflemektedir. 956 sayıda katılımcıya sahip olan GreenMetric, dünya çapında etkinliği kanıtlanmış önemli bir ekolojik sıralama sistemidir.

Bu çalışmada UI GreenMetric 2022 sıralamasında dünyada 310., Türkiye’de 19. olan İnönü Üniversitesi’nin GreenMetric sıralamasını yükselterek ekolojiyi korumak, ulusal sermayeye katkı sağlamak ve üniversiteyi küresel çapta saygın üniversiteler seviyesine çıkarmak için Merkez Kampüste bulunan Fen-Edebiyat Fakültesi A-B, D-E ve F-G blokun enerji tüketim analizleri yapılmıştır. Seçilen binaların yönlenme ve kullanıcı yoğunluğu ile 2 varsayımsal; duvar katmanları, çatı katmanları, pencere doğrama türü, cam türü, gölgeleme tipleri, gölgeleme çıkma uzunlukları ile 10 uygulanabilir olan toplam 12 senaryoya göre ısıtma enerji tüketimleri, soğutma enerji tüketimleri, yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri ve karbondioksit salınımları incelenmiştir. Kurgulanan farklı senaryoların enerji tüketim analizi DesignBuilder TM programı yardımıyla analiz edilmiştir. Analizler sonucunda referans binalar için kurgulanan öneri senaryoların enerji verimlilik performansına farklı oranlarda ettiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar;

Erken tasarım aşaması kararı olarak bina yönlenmesi enerji tasarrufunda önemli bir yere sahiptir. Referans binaların mevcut yerleşim açısında yüzey alanı ve saydam alan oranı daha fazla olan cephelerin güneye yerleştirilmesi ile maksimum enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Öyle ki mevcut durum yönlenme açısı S3-Y-270 (270°) senaryosuna göre yıllık toplam 56.855,13 kWh daha az ısıtma enerjisi tüketerek ortalama %6,15 ısıtma enerjisi tasarrufu sağlamaktadır. Bu oran yaklaşık 14.534,39 daha az kg CO₂ salınımına eşdeğerdir. Çalışma kapsamında elde edilen yönelim açısı sonuçları mevcut binanın iyileştirilmesinde etkin bir rol oynamasa da İnönü Üniversitesi kampüsünde yapılacak yeni binalar için referans olmaktadır.

Çalışmada referans binalarda kullanıcı yoğunluğu ile ısıtma enerjisi tüketimi arasında ters orantı, soğutma enerjisi tüketimi arasında doğru orantı olduğu tespit edilmiştir. Enerji tüketimi en az olan kullanıcı yoğunluğu senaryosunun 0,5 kullanıcı yoğunluğu olduğu görülmüştür. Mevcut kullanıcı yoğunluğunun 0,5 oranında değiştirilmesi ile 424.627,27 kWh ısıtma enerjisi tasarrufu ve 109.748,59 kg daha az CO₂ salınımı sağlanabildiği tespit edilmiştir. Kullanıcı yoğunluğunun değişmesi ile bir yılda toplam 198.265,32 kWh ısıtma ve soğutma enerjisi ile %18,84 oranında enerji tüketim tasarrufu sağlanmıştır.

Referans binaların konumlandığı 3. derece gün bölgesinde bulunan Malatya iklimi için U değeri düşük dış duvar, çatı, pencere gibi yapı elemanlarının kullanılması, yapıların ısıtma enerji tüketimleri ve yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerinde azalış sağlamıştır. Öyle ki kurgulanan bina kabuğunda enerji iyileştirme önerilerine yönelik en verimli duvar ana malzemesi değişimi S9-D-BB (beton blok) senaryosunda gerçekleşmiştir. S9-D-BB senaryosu S7-D-T (tuğla) senaryosuna göre %30,2 oranında yıllık ısıtma enerjisi tasarrufu sağlamaktadır. Bu oran yaklaşık 97.372,55 kg CO₂ salınımına eşdeğerdir. Bu iyileştirme önerisi ile yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisinden %26,05 oranında tasarruf sağlanmaktadır.

Isı yalıtım malzemelerinin dış duvardaki konumu değiştirildiğinde en fazla enerji tasarrufu sağlanan durum S11-DY-D (duvar dışında konumlanan ısı yalıtımı) senaryosu olmaktadır. Isı yalıtımın dışta kullanılması ile mevcut sandviç duvar modelinden %0,25 oranda daha fazla ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanmaktadır. Senaryo ısıtma enerjisi tasarruf değeriyle 569,54 kg daha az CO₂ salınımı sağlamaktadır. Bu öneri ile yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimi %0,37 oranında azaltılabilmektedir.

Çalışma duvar yalıtım malzeme alternatiflerinin yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimi analizinde en fazla enerji tasarrufunun XPS malzeme senaryosunda gerçekleştiğini göstermektedir. Simülasyon sonuçlarına göre mevcut binalarda sadece ısı yalıtım malzemesi değiştirilerek referans binaların yıllık toplam ısıtma enerjisi ihtiyacından %6,0 oranında enerji tasarrufu ve 13.523,68 kg daha az CO₂ salınımı sağlanmaktadır. RB senaryosu yerine S15-DY-XPS senaryosu kullanıldığında yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketiminde %4,87 oranında tasarruf sağlanabilmektedir.

Çatı ısı yalıtım türü senaryoları yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerine göre sıralandığında enerji tüketimi en az olan senaryo S19-ÇY-XPS (XPS) senaryosudur. Mevcut çatı katmanları S19-ÇY-XPS senaryosu katmanları ile değiştirildiğinde %38,76 ısıtma enerjisi tasarrufunun yanı sıra 64.000,13 kg daha az CO₂ salınımı sağlanmaktadır. Simülasyon sonuçları bu öneri ile yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketiminde %23,53 oranında tasarruf edilebildiğini ortaya koymaktadır.

Cam yüzeylerin değiştirilmesi durumunda yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketiminde en az verimli senaryo S22-C-3 senaryosudur. Bu çalışma referans binalara S21-C-3

kodlu 3 katlı cam sistemi senaryosunun uygulandığı durumda, mevcut duruma göre yıllık ısıtma enerjisi tüketiminden %25,77 oranında tasarruf edilebildiğini göstermektedir. Çalışma S21-C-3 senaryosunun ısıtma enerjisi tasarrufu ile 57.773,2 kg daha az CO₂ salınımına ulaşılabildiğini göstermiştir. Bu öneri ile yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketiminin %22,65 oranında azalacağı sonucuna varılmaktadır.

Pencere çerçeve türlerinde yıllık ısıtma enerjisi tüketiminin en az olduğu pencere türü senaryosu S23-P-PVC senaryosudur. Pencere çerçevelerinin PVC doğrama ile değiştirilmesi durumunda yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimi %13,33 oranında azalmaktadır. Bu oran yaklaşık 29.882,97 kg CO₂ salınımı sağlandığını göstermektedir. Bu çalışma ile pencere doğramaları değiştirilerek yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketiminde %0,65 oranında tasarruf sağlandığı tespit edilmiştir.

Çatı ışıklığı malzeme türüne ilişkin senaryo sonuçları incelendiğinde toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketiminin en az olduğu senaryo S27-ÇI-T (3 katmanlı cam sistemi) kodlu senaryodur. S27-ÇI-T senaryo önerisi ile mevcut duruma göre %17,12 oranında ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanabilmektedir. Çalışmada bu tasarruf oranı ile 20.630,02 kg daha az CO₂ salınımına ulaşılmıştır. Çatı ışıklığı malzemesinin değişmesi yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketiminde %10,73 oranında enerji tasarrufu sağlanabildiğini göstermektedir.

Çalışma gölgeleme elemanı kullanımının soğutma enerjisi tüketimini azaltırken aydınlatma enerjisi tüketimini artırdığını ortaya koymaktadır. Buna karşın yaz aylarında toplam soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimleri incelendiğinde gün ışığı kontrolü sağlayacak gölgeleme sistemlerinin kullanıldığı senaryoların daha fazla enerji tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir. Simülasyon sonuçları en verimli gölgeleme sisteminin bina genelinde üstten asılı yatay gölgeleme elemanı; kuzeydoğu yönünde düşey yan kanatlı gölgeleme elemanı kullanımı olduğunu ortaya koymuştur. S31-G-D kodlu bu senaryo toplam ısıtma ve soğutma enerjisinde mevcut duruma göre %3,41 oranında tasarruf sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında bina genelinde yatay üstten asılı, kuzeydoğuda düşey yan kanatlı gölgeleme elemanları farklı çıkma uzunlukları ile değerlendirilmiş ve yaz aylarında en fazla enerji tasarrufu 1 m çıkma uzunluğunda elde edilmiştir. Gölgeleme elemanının kullanılmadığı mevcut durumda soğutma enerjisi tüketimi maksimum değerdedir. Bu durum gölgeleme elemanlarının yaz döneminde gün ışığını ve ısıyı kesici özelliklerinin enerji tüketimini azaltmasından kaynaklanmaktadır. RB senaryosu S34-G-10 (1 m çıkma uzunluğu) senaryosundan 13.481,6 kWh daha fazla enerji tüketimine sahiptir. Bu değer yıllık toplam enerji tüketiminden %4,77 tasarruf edilebileceğini göstermektedir.

Çalışmada yapıların pencere-duvar oranı arttıkça ısıtma enerjisi tüketimlerinin de arttığı görülmüştür. Öyle ki RB senaryosu S37-PD-50 (%50 pencere-duvar oranı) senaryosundan yıllık %7,48 daha az ısıtma enerjisi tüketmektedir. Isıtma enerjisi tüketimindeki bu artış 18.142,07 kg

daha fazla CO₂ salınımına neden olmaktadır. S37-PD-50 senaryosu mevcut duruma göre yıllık toplam enerji tüketiminde %8,8 artış göstermektedir.

Çalışma referans binalarda en fazla enerji tasarrufu %23,53 oranı ile mevcut çatı yalıtımının XPS malzeme ile değişimi ve %22,65 oranı ile mevcut cam katmanının 3 katmanlı cam sistemi ile değişimi sonucunda elde edilmiştir. Bu durum Malatya İli ikliminde çatı ışıklığının, çatı yalıtımının ve cephedeki cam türünün önemini vurgulamaktadır.

Bu çalışmanın sonucunda 12 senaryonun mevcut binalar için uygulanabilir olan 10 senaryosuna ait en verimli parametreler ile oluşturulan S39-ALT senaryosu, daha verimli malzemeler kullanılarak bir yılda %68,31 oranında ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanabildiğini göstermektedir. Bu oran yaklaşık 153.117,39 kg CO₂ eşdeğerdir. Çalışma, en verimli parametreler ile toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketiminde %60,28 oranında tasarruf sağlanabileceğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma sonucunda toplam 10.000 puan ile üniversiteleri sıralayan UI GreenMetric'in 2100 puanlık (%21) Enerji ve İklim Kategorisi'nde;

–EC4- *Toplam elektrik kullanımının toplam kampüs nüfusuna bölünmesi (kişi başı kWh)*

–EC5- *Yenilenebilir enerji üretiminin yıllık toplam enerji kullanımına bölünmesiyle elde edilen oran*

–EC6- *Tüm inşaat ve yenileme politikalarına yansıyan yeşil bina uygulama unsurları*

–EC7- *Sera gazı emisyon azaltma programı*

–EC8- *Toplam karbon ayak izinin toplam kampüs nüfusuna bölünmesi (kişi başına metrik ton)* parametrelerine katkı sağlanabildiği görülmüştür. Kampüs içerisinde referans binalardan eğitim (A-B) blok ile aynı tasarıma sahip 6 bina, idari (D-E) blok tasarıma sahip 5 bina olduğu düşünüldüğünde çalışmanın üniversite sıralamasına katacağı değer artmaktadır. Çalışma bağlamında sunulmuş öneri senaryolar İnönü Üniversitesi kampüsü başta olmak üzere Malatya İli ikliminde tasarlanacak binalar için ısıtma enerjisi tüketimleri, soğutma enerjisi tüketimleri ve karbondioksit salınımları ile önemli ölçüde fayda sağlamaktadır. Tez çalışması üniversite kampüslerinde doğru yönelme, kullanıcı yoğunluğu ve malzeme kararları ile daha ekolojik ve daha verimli bir bina işletimi sağlanabildiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, tasarım, inşa, kullanım ve yıkım aşamaları ile enerji tüketimde üst sıralarda yer alan yapı sektörünün üniversite binalarındaki enerji verimliliğinin artırılması, çevreye verilen tahribatın minimum düzeye indirilmesi ve sağlıklı bir eko-kampüs kurulabilmesi açısından çok değerlidir. Mevcut yapı stokunun yanı sıra yeni tasarlanacak olan yapıların da enerji etkin olarak tamamlanması ile elde edilecek enerji tasarrufu, ülke sermayesinin korunmasına önemli ölçüde katkı sağlayacaktır. Bu anlamda inşa edilmiş ve aktif kullanımlı binalarda yönelme, form gibi parametreler değiştirilemediğinden erken tasarım aşamasında bütüncül bir yaklaşımla enerji etkin önerilerin uygulanması gerekmektedir. Ancak bu çalışmaya ait sonuçlar gelecekte yeni soruları

karşımıza çıkarmaktadır. Bu tasarrufu gerçekleştirmek için gerekli olan iyileştirme maliyeti kurum tarafından karşılanabilecek mi? Bunun için yöneticiler takım halinde çalışmaya hazırlar mı?



ÖNERİLER

Bu çalışma verilerine göre üniversite binalarında enerji performansı üzerine çalışmak isteyen araştırmacılar için sunulan öneriler şöyledir;

- Bu tez çalışmasında referans binalarda enerji etkin iyileştirme performansı pasif öneriler ile analiz edilmiştir. Farklı bir çalışmada pasif iyileştirme önerilerinin yanı sıra aktif iyileştirme önerileri analiz edilebilir.
- Bu çalışmada kullanılan gölgeleme elemanı türleri ve uzunlukları farklı iklim bölgelerinde enerji verimliliği bağlamında tekrar analiz edilebilir.
- Çalışma kapsamında referans binalar mevcut yapılar arasından seçilmiştir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda erken tasarım aşamasındaki bir yapının enerji analizi incelenebilir.
- Bu çalışmada Malatya İli iklim verileri ile simülasyon gerçekleştirilmiştir. Enerji tüketim hesapları farklı iklim bölgeleri için yapılarak enerji etkin iyileştirme önerileri analiz edilebilir.
- Benzer bir çalışma farklı senelere ait iklim verileriyle oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Benkari, N. (2013). The “Sustainability” Paradigm in Architectural Education in UAE. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 102 (0):601-610. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.10.777
- [2] Çetinkaya, Z. (2016). *Sürdürülebilir Yerleşim Modellerinin Sürdürülebilirliğin Boyutları Ve Yerel Yönetimler Açısından Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] Merriam-Webster. (2020). Sustainable, Erişim: 15.12.2020
- [4] Akyıldız, N.A (2020). Evaluation of sustainable Traditional Buildings in The Context of Energy Efficiency and Conservation. *International Journal of Research-Granthaalayah IRJG*, 8(4), 200-215.
- [5] Akyıldız, N.A (2020). The Importance Of Vernacular Architecture with Tangible Cultural Haritage Value in Sustainable Development: Analysis Of Traditional Safranbolu Town. *International Journal Of Engineering Research And Development*, 16(11), 49-57.
- [6] Pereira Ribeiro, J., Santa, S. ve Andrade Guerra, J. B., (2019). *Green Campuses and Sustainable Development*. Encyclopedia of Sustainability in Higher Education. Switzerland: Springer Nature AG. doi: 10.1007/978-3-319-63951-2_239-1.
- [7] Yükseköğretim Bilgi Yönetim Sistemi, <https://istatistik.yok.gov.tr/>, Erişim: Nisan,2022
- [8] Alshuwaikhat, H. M. ve Abubakar, I. (2008). An Integrated Approach to Achieving Campus Sustainability: Assessment of the Current Campus Environmental Management Practices. *Journal of Cleaner Production*, 16, 1777-1785. doi: 10.1016/j.jclepro.2007.12.002
- [9] Hui, C.S.M. (2001). Low Energy Building Design in High Density Urban Cities. *Renewable Energy*, 24(3-4), 627-640.
- [10] Torcellini P, Pless S, Deru M. ve Crawley D. (2006). *Zero energy buildings: a critical look at the definition*. 2006 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings At: Asilomar, Pacific Grove, California.3, 417-428.
- [11] Tan H, Chen S, Shi Q. ve Wang L (2014) Development of green campus in China. *J Clean Prod*, 64, 646-653.
- [12] Vega C.A., Benítez S.O. ve Barreto M.E.R. (2008) Solid Waste Characterization And Recycling Potential For A University Campus. *Waste Manag*, 28, 21-26.
- [13] Limanond, T., Butsingkorn, T. ve Chermkhunthod, C. (2011). Travel Behavior Of University Students Who Live On Campus: A Case Study Of A Rural University İn Asia. *Transp Policy* 18(1), 163-171
- [14] Puertas, R. ve Marti, L. (2019). Sustainability in Universities: DEA-GreenMetric. *Sustainability*, 11(14), 3766. doi: 10.3390/su11143766.
- [15] Grindsted, T.S. (2011). Sustainable universities- From Declarations on Sustainability in Higher Education to National Law. *Environmental Economics*, 2(2), 29-36.
- [16] Bautista Puig, N., Mauleón, E. ve Casado, E. (2019). *The role of universities in sustainable development (SD)*. ISBN: 9781315150161
- [17] UI GreenMetric, <https://greenmetric.ui.ac.id/>, Erişim: 15.05.2022

- [18] Suwartha, N. ve Sari, R. (2013). Evaluating UI GreenMetric as a tool to support green universities development: Assessment of the year 2011 ranking. *Journal of Cleaner Production*, 61, 46–53. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.02.034.
- [19] Erkuş H., Yücel M. ve Gültaş P. (2018). *Sürdürülebilir Yeşil Kampüs İnönü Üniversitesi'nde Bir Uygulama ve Öneriler*. İnönü Üniversitesi Yayınevi, Malatya.
- [20] İnönü Üniversitesi (2021). Faaliyet Raporu, http://admin.inonu.edu.tr/application/ModuleContent/6563/01-03-2022_103600769.pdf, Erişim: 11.05.2022
- [21] İnönü Üniversitesi. (2020). Performans Programı, <http://www.inonu.edu.tr/strateji/duyuru/269/inonu-universitesi-2020-yili-performans-programi>, Erişim: 05.12.2020
- [22] Yılmaz, B, Pouya, S. ve Ates, O. (2019). Üniversite Kampüs Meydanlarında Peyzaj Tasarımı (İnönü Üniversitesi Kampüsü, Mediko Meydanı Peyzaj Tasarım Projesi Örneği). *Akademik Ziraat Dergisi*. doi: 10.29278/azd.581717.
- [23] İnönü Üniversitesi Faaliyet Raporu, (2019). <https://www.inonu.edu.tr/strateji/duyuru/270/inonu-universitesi-2019-yili-faaliyet-raporu>, Erişim: 05.12.2020
- [24] İnönü Üniversitesi, <http://www.inonu.edu.tr/tr/14/m>, Erişim: 11.12.2020.
- [25] Google Earth, <https://earth.google.com/web/>
- [26] Öztürk, M. Z., Çetinkaya, G. ve Aydın, S. (2017). Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri. *Cografya Dergisi*, 35, 17-27. doi: 10.26650/JGEOG295515
- [27] Kızılkaya, N. (2020). *44. Yılında Düünden Bugüne İnönü Üniversitesi*. İnönü Üniversitesi Yayınevi, Malatya.
- [28] <https://kulturportali.gov.tr/turkiye/malatya/fotograflar> erişim: 12.12.2020
- [29] World Health Organization (2012) . *Health Indicators of Sustainable Cities in the Context of the Rio+20 UN Conference on Sustainable Development*. Geneva, Switzerland.
- [30] <http://doganmuh.com/category/referanslarimiz/>
- [31] Rodman, D. ve Lenssen, N. (1996) A Building Revolution: How Ecology and Health Concerns are Transforming Construction, *Worldwatch paper 124*, Washington, D.C., USA
- [32] <https://www.usgbc.org/about/brand>
- [33] <https://www.youtube.com/watch?v=IQaIhG8MFkw>
- [34] https://yevdes.org/wp-content/uploads/2020/02/EV_%C3%9CN%C4%B0.pdf
- [35] <https://twitter.com/DrAhmetKizilay/status/1292520183450542084/photo/1>
- [36] <https://totm.inonu.edu.tr/index.php?s=haber&hid=910>
- [37] <http://www.marmaragazetesi.com/inonu-universitesi-2018e-damga-vurdu-428142h.htm>
- [38] <http://greenmetric.ui.ac.id/country-list2020/?country=Turkey>
- [39] <https://www.inonu.edu.tr/yesilkampus/>
- [40] <https://achievementscenter.com/Inonu-University>
- [41] Evran, A. (2012). *Sürdürülebilir Yapım Ve Eğitim Binaları Üzerine Bir Araştırma* , Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [42] Kayhan, S. 2004. *Sürdürülebilir Mimarlık / Enerji Etkin Bina Tasarımı Bağlamında İç Ortam Hava Kalitesi Ve Havalandırma*. Yüksek Lisans Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Ankara.

- [43] https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Waste_statistics#Total_waste_generation on <https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/overview>
- [44] Jones, D. L., (1998). *Architecture and the Environment: Bioclimatic Building Design*. Laurence King, Londra.
- [45] İmrik, E. (2017). *Enerji Etkin Binaların Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [46] Kabakçı, K.O. (2019). Binalarda enerji verimliliği, <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2019/11/21112019Sunum.pdf>
- [47] Moazzen, N., Ashrafiyan, T., Yılmaz, Z. ve Karagüler, M.E. (2020). A Multi-Criteria Approach To Affordable Energy-Efficient Retrofit Of Primary School Buildings, *Applied Energy*, 268. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115046
- [48] Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, 2017. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/01/20180102M1-1-1.pdf>, Erişim tarihi: 03.01.2021
- [49] <https://www.tuik.gov.tr/>
- [50] Korolija, I. Zhang, Y., Marjanovic-Halburd, I. ve Hanby, V.I. (2013). Regression Models For Predicting U.K. Office Building Energy Consumption From Heating And Cooling Demands, *Energy and Buildings*, 59, 214–227.
- [51] Aldawoud, A., Hosny, F. E. ve Mdkhana, R. (2020). Energy Retrofitting of School Buildings in UAE. *Energy Engineering*, 117(6), 381–395, doi: 10.32604/EE.2020.011863
- [52] Javid, A.S., Aramounb, F., Bararzadeha M. ve Avamia, A. (2019). Multi Objective Planning For Sustainable Retrofit Of Educational Buildings, *Journal of Building Engineering*, 24:100759 doi: 10.1016/j.jobee.2019.100759
- [53] Keshavan S. (2020). *Energy Efficiency And Alternative Energy Generation In Existing Buildings On A College Campus*, Yüksek Lisans Tezi, South Dakota State University.
- [54] Yılmaz, Z. (2007). Evaluation Of Energy Efficient Design Strategies For Different Climatic Zones: Comparison Of Thermal Performance Of Buildings İn Temperate-Humid And Hot-Dry Climate. *Energy and Buildings*, 39(3), 306–316,
- [55] Albatayneh A., Alterman, D., Page A. ve Moghtaderi B. (2018). The Significance of Building Design for the Climate, *Environmental and Climate Technologies*, 22, 165–178. doi: 10.2478/rtuect-2018-0011.
- [56] Bakkal, S. (2019). *Eğitim Binalarında Çift Kabuk Cephe Sistemleri Kullanımlarına Bağlı Enerji Etkin İyileştirme Önerileri*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [57] Hemsath, T.L. ve Bandhosseini, K.A. (2015). Sensitivity Analysis Evaluating Basic Building Geometry's Effect On Energy Use, *Renewable Energy*, 76, 526-538. doi: 10.1016/j.renene.2014.11.044
- [58] Manioğlu, G. ve Oral, G.K. (2015). Effect Of Courtyard Shape Factor On Heating And Cooling Energy Loads İn Hot-Dry Climatic Zone, *Energy Procedia*, 78, 2100-2105. doi:10.1016/j.egypro.2015.11.250
- [59] Wei, L., Tian, W., Zuo, J., Yang, Z.Y., Lui, Y.L. ve Yang, S. (2016). Effects Of Building Form On Energy Use For Buildings İn Cold Climate Regions, *Procedia Engineering*, 146, 182-189. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.370

- [60] Zhang, A., Bokel, R., Dobbelsesteen, A., Sun, Y., Huang, Q. ve Zhang, Q. (2017). Optimization Of Thermal And Daylight Performance Of School Buildings Based On A Multi-Objective Genetic Algorithm In The Cold Climate Of China. *Energy and Buildings*, 139, 371–384.
- [61] Erbaş, S.K. (2019). *Eğitim Yapılarında Cephe Boşluk Oranlarının Enerji Verimliliği Açısından Hesaplanması: Bir Uzman Sistem Modeli*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [62] Tunalı, S. (2012). *"Enerji Simülasyon Metodlarının Bina Tasarım Sürecinde Destek Sistemi Olarak Kullanılması"*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [63] Nguyen, T. A. ve Aiello, M. (2013). Energy Intelligent Buildings Based On User Activity: A Survey. *Energy and Buildings*, 56, 244–257. doi: 10.1016/j.enbuild.2012.09.005
- [64] Reisoğlu, Y.E. (2021). *Yapı Kabuğunda Enerji Etkinliğinde Pasif Yöntemlerin Benzetim Yoluyla İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [65] Chen, X., Yang, H. ve Zhang, W. (2018). Simulation-based approach to optimize passively designed buildings: A case study on a typical architectural form in hot and humid climates. *Renewable ve Sustainable Energy Reviews*, 2 (82),1712–1725.
- [66] Shen, P., Braham, W. ve Yi, Y. (2018). The feasibility and importance of considering climate change impacts in building retrofit analysis. *Applied Energy*. 233-234. doi:10.1016/j.apenergy.2018.10.041.
- [67] Abdelrazek, H. (2019). *A Methodology Towards Cost-Optimal And Energy Efficient Retrofitting Of Historic Buildings: A Case Study Of Istanbul University*. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul.
- [68] Çakır, G., (2016). *Enerji Etkin Çift Kabuk Cephe Sistemlerinde Yangın Performansını İyileştirecek Yöntemler*. Yazılı Bildiri, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, 8. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, İstanbul.
- [69] Radhi, H., Sharples, S. ve Fikiry, F. (2013). Will multi-facade systems reduce cooling energy in fully glazed buildings? A scoping study of UAE buildings. *Energy and Buildings*, 56, 179–188. doi:10.1016/j.enbuild.2012.08.030.
- [70] Tahsildoost, M. ve Zomorodian, Z. S. (2017). Energy retrofit techniques: an experimental study of two typical school buildings in Tehran. *Energy and Buildings*, 104, 65–72. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.06.079.11.
- [71] Saroglou, T., Theodosiou, T., Givoni, B. ve Meir, I. A. (2020) Studies on the optimum double-skin curtain wall design for high-rise buildings in the Mediterranean climate, *Energy and Buildings*, 208, 109641.
- [72] Gowri, K., (1990). *Knowledge-Based System Approach to Building Envelope Design*. Doktora Tezi, Centre for Building Studies,Concordia University, Canada.
- [73] Altın, M. ve Ulusoy, S. (2014). *Enerji Etkin tasarımın çatı ve cephelere yansımaları*. Yazılı Bildiri, Yıldız Teknik Üniversitesi, 7. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, İstanbul.
- [74] Randelović, D., Vasov, M., Ignjatovic, M., Stojiljkovic, M., Bogdanovic, V. (2021). *Investigation Of A Passive Design Approach For A Building Facility: A Case Study*. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 1-19. 10.1080/15567036.2021.1938761.
- [75] Sozer, H. (2010). Improving Energy Efficiency Through The Design Of The Building Envelope. *Building and Environment*, 45(12), 2581–2593.

- [76] Liu, Q. ve Ren, J. (2018). Research On Technology Clusters And The Energy Efficiency Of Energy-Saving Retrofits Of Existing Office Buildings In Different Climatic Regions. *Energy, Sustainability and Society*, 1-11.
- [77] Aksoy, U.T. (2008). Sandviç Ve Gazbeton Duvar Uygulamalarının Ortalama Isı Geçirgenlik Katsayısı Ve Isı Kaybı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24 (1-2), 277- 290.
- [78] Şenel Solmaz, A. (2015). *Bina Enerji Performansını Geliştirmede Optimum Çözümleri Belirlemeye Yönelik Simülasyon Ve Çok Amaçlı Optimizasyon Tabanlı Bir Karar Destek Modeli*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [79] Pakmehr, P. (2014). *Evaluating The Lca Of Two Buildings With Close Embodied Energy Which Have Different Functions*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [80] Şenkal Sezer F., ve Karagöz Yeşilyurt, N. 2011. Türkiye'deki Çift Duvar Arası Isı Yalıtım Uygulamalarında Isı Köprülerinin Analizi ve Yurtdışı Uygulamaları ile Karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(1), 1-10.
- [81] Uluçay, J.A. (2019). *Sustainable Impact Evaluation Of Energy Retrofits For School Buildings In Different Climate Regions* , Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [82] TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Mersin Şube. Dış Duvarlar. <https://mersin.imo.org.tr/Eklenti/6942,dis-duvarlarpdf.pdf?0> , Erişim: 29.04.2022
- [83] Eres, E. (2019). *Yeniden İşlevlendirilen Endüstri Yapılarında Aktif-Pasif Enerji Sistemlerinin Dönüşümü: Derince Travers Enjekte Fabrikası*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [84] Friedman, C., Becker, N., ve Erell, E. (2014). Energy retrofit of residential building envelopes in Israel: A cost-benefit analysis. *Energy*, 183-193.
- [85] Minacam.<https://www.minacam.com/blog/isicamkonfor-cambalkon-tiara-twinmax-kahramanmaras-mina-cam.html>, Erişim: 08.05.2022
- [86] Gülaçmaz, Ö. (2021). *Mevcut Bir Eğitim Yapısında Enerji Etkin Bir İyileştirme Yaklaşımı*. Yüksek Lisans Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tokat.
- [87] GKS (2018). Güneş Kontrolü: Güneş Kırıcı ve Rafları. <https://gksdergisi.com/gunes-kontrolu-gunes-kirici-ve-raflari/>, Erişim: 08.05.2022
- [88] Zupanc, G. (2013). Impact beyond the impact factor. *Journal of comparative physiology. A, Neuroethology, sensory, neural, and behavioral physiology*. 200. doi:10.1007/s00359-013-0863-1.
- [89] Lombard L.P., Ortiz,J.,Coronel, J.F. ve Maestre, I.R.(2011). A Review Of HVAC Systems Requirements In Building Energy Regulations, *Energy and Buildings*, 43(2–3), 255-268. ISSN 0378-7788, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.10.025.
- [90] <https://www.teknopanel.com.tr/tr-tr/urun-detay/binalarda-isi-yalitimi-isi-yalitim-terimleri>, Erişim: 17.04.2022
- [91] Dilmaç, Ş. ve Kesen, N. (2003). A Comparision of New Turkish Thermal Insulation Standart (TS 825), ISO 9164, EN 832 and German Regulation, *Energy and Building*, 35, 161.
- [92] Koçlar Oral, G. ve Yılmaz, Z. (2003). Building Form For Cold Climatic Zones Related To Building Envelope From Heating Energy Conservation Point Of View, *Energy and Building*, 35, 383.

- [93] Florides, G., Tassou, S., Kalogirou, S. ve Wrobel, L. (2002) Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness. *Applied Energy*. 73(3-4). doi: 10.1016/S0306-2619(02)00119-8
- [94] Sesana, M., Grecchi, M., Salvalai, G. ve Rasica, C. (2016). Methodology Of Energy Efficient Building Refurbishment: Application On Two University Campus-Building Case Studies İn Italy With Engineering Students. *Journal of Building Engineering*. 6. doi:10.1016/j.jobbe.2016.02.006.
- [95] Chung, M. ve Rhee, E. (2014). Potential Opportunities For Energy Conservation İn Existing Buildings On University Campus: A Field Survey İn Korea. *Energy and Buildings*. 78. 176–182. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.04.018
- [96] Samaan, M., Farag, O. ve Khalil, M. (2016). Using Simulation Tools For Optimizing Cooling Loads And Daylighting Levels İn Egyptian Campus Buildings. *HBRC Journal*. 14(1). doi: 10.1016/j.hbrj.2016.01.001
- [97] Kattlo, A. (2016). *Acceptable Indoor Environmental Quality At Reduced Energy Consumption For Sustainable Schools In Hot Climate*. Yüksek Lisans Tezi, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia.
- [98] Yang, J., Tham, K., Lee, S., Santamouris, M., Sekhar, C. ve Cheong, K.W.D. (2016). Anthropogenic Heat Reduction Through Retrofitting Strategies Of Campus Buildings. *Energy and Buildings*. 152. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.11.051
- [99] Gil-Báez, M., Barrios Padura, A. ve Molina Huelva, M. (2018). Passive Actions İn The Building Envelope To Enhance Sustainability Of Schools İn A Mediterranean Climate. *Energy*. 167. doi: 10.1016/j.energy.2018.10.094
- [100] D'Agostino, D., Daraio, L., Marino, C. ve Minichiello, F. (2018). Cost-optimal methodology and passive strategies for building energy efficiency: a case-study. *Architectural Science Review*. 61(1), 1-10. doi: 10.1080/00038628.2018.1491826
- [101] Ge, J., Wu, J., Chen, S. ve Wu, J. (2018). Energy Efficiency Optimization Strategies For University Research Buildings With Hot Summer And Cold Winter Climate Of China Based On The Adaptive Thermal Comfort. *Journal of Building Engineering*. 18. doi: 10.1016/j.jobbe.2018.03.022
- [102] Zahiri, S. ve Altan, H. (2019). Improving Energy Efficiency Of School Buildings During Winter Season Using Passive Design Strategies. *Sustainable Buildings*. 4,6. doi: 10.1051/sbuild/2019005
- [103] Ali, H. ve Hashlamun, R. (2019). Envelope Retrofitting Strategies For Public School Buildings İn Jordan. *Journal Of Building Engineering*. 25(5). doi: 10.1016/j.jobbe.2019.100819
- [104] Koçyiğit, M. (2019). *Üniversite Binalarında Enerji Tasarruf Potansiyelinin Araştırılması: Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [105] Randelović, D., Vasov, M., Ignjatovic, M., Stojiljkovic, M. ve Bogdanovic, V. (2020). *Improving The Energy Efficiency Of School Buildings By Using Passive Design Systems*. 2020 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies. doi:10.23919/SpliTech49282.2020.9243794
- [106] Yıldız Y. ve Koçyiğit M. (2020). A Study On The Energy-Saving Potential Of University Campuses İn Turkey. *Engineering Sustainability*. 173(8). 1-18. doi: 10.1680/jensu.20.00006
- [107] İnönü Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, Resim.

- [108] Ticaret ve Sanayi Odası, <https://www.malatyatso.org.tr/malatyanin-tarihcesi#:~:text=Arazi%20denizden%20uzak%20ve%20y%C3%BCksek%20iklim%20%C3%B6zelliklerini%20de%20g%C3%B6rmek%20m%C3%BCmk%C3%BCnd%C3%BCr.>
- [109] Sunkar, M., Hatun, Ü. ve Toprak, A. (2013). *Malatya Havzası ve Çevresinde İklim Özelliklerinin Meyveciliğe Etkisi*. GEOMED 2013 3. Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, 566-574. ISBN: 978-605-62253-8-3
- [110] Selçuk, E.B. (2021). *Küresel Isınma Ve İklim Değişikliğinin Sıcaklık Ve Referans Evapotranspirasyona Etkisinin Değerlendirilmesi: Malatya İli Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [111] <https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/malatya/malatya-281/>
- [112] Özlük, R. (2021). *Yüksek Öğretim Binalarında Enerji Kullanımı İle Mekan Kullanımı Arasındaki İlişkinin Analizi: Balıkesir Üniversitesi Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [113] Ener Ruşen, S. ve Koç, M. (2019). Enerji Tüketim ve CO₂ Salınım Değerlerinin Analizi; Bir Gıda Fabrikası Örneği. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 8. 1478-1488. doi: 10.17798/bitlisfen.549428.
- [114] Özdebak, A. Endüstriyel Fırınlarda Enerji Etüdü Çalışması, http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/8e4f62a99f58260_ek.pdf, Erişim: 29.05.2022
- [115] <https://www.altensis.com/hizmetler/designbuilder-software/> Erişim :18.04.2022
- [116] Yılmaz, A.Z. 2012. Bina Performans Modelleme ve Simülasyonları, *Eko Yapı Dergisi*, 8, 124-127.
- [117] Koç, S. G. ve Maçka Kalfa, S. (2021). The Effects Of Shading Devices On Office Building Energy Performance İn Mediterranean Climate Regions. *Journal of Building Engineering*, 44, 102653. doi: 10.1016/j.job.2021.102653
- [118] https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/TUR_Turkey/index.html, Erişim: 14.02.2022
- [119] Coakley, D., Raftery, P. and Keane, M. (2014). A review of methods to match building energy simulation models to measured data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 123–141. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.007>
- [120] https://designbuilder.co.uk/helpv5.0/Content/Local_Shading_Components.htm
- [121] https://drive.google.com/file/d/1y4SJyUvwf2Zs_muuyHX556otZGW851d/view
- [122] <https://www.iklimin.org/wp-content/uploads/2018/01/1-TOBB-ETU-GHG-REPORT-Final.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

Hatice ORHAN

Category	Value
Category 1	Value 1
Category 2	Value 2
Category 3	Value 3
Category 4	Value 4
Category 5	Value 5
Category 6	Value 6
Category 7	Value 7

[REDACTED]

[REDACTED]

■ [REDACTED]
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

(b) (7)(C), (b) (7)(D)

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]