



**KARASAL İKLİM ŞARTLARINDAKİ BİR BİNANIN ENERJİ ANALİZİ VE
YEŞİL BİNA DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Alper BALO

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

ETİK BEYAN

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

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

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

Alper BALO

19/01/2023

KARASAL İKLİM ŞARTLARINDAKİ BİR BİNANIN ENERJİ ANALİZİ VE YEŞİL BİNA DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Alper BALO

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2023

ÖZET

Bu çalışmada karasal iklim şartlarındaki binanın enerji analizinin yapılması ve yeşil binaya dönüştürme yöntemlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Mevcut bina projesi, Autodesk Revit-2021 Architecture Simulation programı yardımıyla modellenmiştir. Modellenen binaya, değişik termal ve fiziksel özelliklere sahip yaygın ve alternatif yapı-yalıtım malzemelerinin entegre edilmesi ile 162 alternatif bina senaryosu için bina enerji modellemesi oluşturulmuştur. Bu alternatif senaryolar gbXML dosyası biçiminde kaydedilerek Autodesk Green Building Studio programı yardımıyla tasarlanan senaryolara göre enerji performansları açısından analiz edilmiştir. Her bir alternatif senaryo için toplam yıllık enerji tüketimi, kullanım yerlerine göre enerji tüketim miktarları, binadan salınan CO2 emisyon miktarları, enerji kullanım yoğunluğu vb parametrelerin çıktıları elde edilmiştir. Ayrıca alternatif senaryolar için gerekli enerjinin güneş enerjisi destekli olarak karşılanabilmesi amacıyla monokristal, polikristal ve ince film fotovoltaik panel kullanılması durumunda elde edilebilecek yıllık enerji üretimi ve sistemin geri ödeme süresi analiz edilmiştir. Son olarak alternatif senaryolar arasından binanın elektrik enerjisi tüketimlerine göre her duvar tipi için “en olumlu” ve “en olumsuz” alternatiflerinin dış duvarı “yeşil duvar” formuna dönüştürülmek üzere tekrar tasarlanmıştır. Bu şekilde tasarlanan 6 adet yeni alternatif Tip 163-Tip168 aralığında kodlanarak analizi yapılmıştır. Sonuçların tasarım parametreleri tarafından karşılıklı değerlendirilmesiyle enerji verimliliği açısından en uygulanabilir tasarım belirlenmeye çalışılmıştır.

Bilim Kodu : 91408

Anahtar Kelimeler : Revit, BIM, Green Buildings Studio, yeşil bina, enerji performansı

Sayfa Adedi : 120

Danışman : Doç. Dr. Serhat KARYEYEN

INVESTIGATION OF ENERGY ANALYSIS OF A BUILDING AND TRANSFORM
METHODS TO GREEN BUILDING IN CONTINENTAL CLIMATE

(M. Sc. Thesis)

Alper BALO

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2023

ABSTRACT

This study aims to analyze the energy of a building under terrestrial climate conditions and investigate methods for converting it into a green building. The current building project was modeled with the help of Autodesk Revit-2021 Architecture Simulation program. Building energy modeling was created for 162 alternative building scenarios by integrating common and alternative building-insulation materials with different thermal and physical properties into the modeled building. These alternative scenarios were saved in gbXML file format and analyzed in terms of energy performance according to the scenarios designed with the help of Autodesk Green Building Studio program. For each alternative scenario, the outputs of parameters such as total annual energy consumption, energy consumption according to places of use, CO₂ emissions released from the building, energy usage intensity etc. were obtained. In addition, the annual energy production, required panel area, and payback period of the system were analyzed in case of using monocrystalline, polycrystalline and thin film photovoltaic panels in order to meet the energy required for alternative scenarios with solar energy support. Finally, among the alternative scenarios, the outer wall of the “most positive” and “most negative” alternatives for each wall type according to the electrical energy consumption of the building was redesigned to be transformed into a “green wall”. 6 new alternatives designed in this way were coded in the range of Type 163-Type168 and analyzed. By mutual evaluation of the results by the design parameters, the most applicable design in terms of energy efficiency was tried to be determined.

Science Code : 91408

Key Words : Revit, BIM, Green Buildings Studio, green building, energy performance

Page Number : 120

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Serhat KARYEYEN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince manevi desteklerini esirgemeyen aileme, birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum beni her zaman teşvik eden kıymetli çalışma arkadaşlarıma ve tüm tez çalışmamda beni yönlendiren, yardım, destek ve zamanını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Serhat KARYEYEN'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELRİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. BIM (BİNA BİLGİ MODELLEMESİ)	19
2.1. Autodesk Revit Architecture Simulation Programı	22
2.2. Yeşil Binalar ve BIM	24
2.3. Autodesk Revit-2021 Architecture Simulation Programı Destekli Enerji Analizi	31
2.3.1. Bina enerji modellemesi (BEM)	32
2.3.2. Autodesk Green Building Studio (GBS).....	33
2.4. Enerji Analizlerinde Oluşabilecek Sınırlamalar.....	35
3. ANKARA İLİNDE ÖRNEK BİR VİLLANIN BIM DESTEKLİ ENERJİ PERFORMANSI ANALİZİ.....	37
3.1. Binanın Projelendirilmesine Ait Detaylar	37
3.1.1. Analizde kullanılan duvar yapıları ve malzemelerin özellikleri	39
3.2. Analizi Etkileyen Çevresel ve İklimsel Faktörler	52
3.3. Ankara İlnde Mevcut Bir Villanın Enerji Analizi.....	58
3.3.1. Ankara ilinde mevcut bir villanın üç boyutlu bina bilgi modellemesinin yapılması	59
3.3.2. Ankara ilinde mevcut bir villanın autodesk green building studio programı yardımıyla enerji analizin yapılması	60

4. ANALİZ SONUÇLARI VE BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	63
4.1. Yıllık Enerji Tüketimleri.....	65
4.2. Enerji Kullanım Yoğunluğu	70
4.3. Yıllık Enerji Kullanım Değerleri	73
4.3.1. Yıllık elektrik enerjisi kullanım değerleri	73
4.3.2. Yıllık (yakıt) doğal gaz kullanım değerleri	74
4.4. Yaşam Döngüsü Enerjisi Analizi	74
4.5. Bir Yıl Boyunca Kullanılan Yakıttan Çevreye Salınacak Yıllık CO ₂ Emisyonu Değerleri	79
4.6. Mevcut Binanın Gerçek Enerji Tüketim Değerleri ve Analizlerle Kıyaslanması	82
4.7. Fotovoltaik Destekli Olarak Alternatif Senaryoların Değerlendirilmesi	83
4.8. En Olumlu ve En Olumsuz Alternatif Senaryoların Dış Cephesinde Yeşil Duvar Olması Durumunun Analizi	85
4.8.1. Yeşil Duvar Eklenmesi Durumunda Yıllık Enerji Tüketimi Analizi	86
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	93
EKLER.....	107
EK 1. Toplam Yıllık Enerji Tüketimi ve Toplam Yıllık Maliyet Değerleri (1MJ =0.28 kWh).....	108
EK 1. (devam) Toplam Yıllık Enerji Tüketimi ve Toplam Yıllık Maliyet Değerleri (1MJ =0.28 kWh).....	109
EK 2. Yıllık Enerji Son Kullanım Değerleri [%]	112
EK 3. Yıllık CO ₂ Emisyonları, Yaşam Döngüsü Enerjisi.....	116
ÖZGEÇMİŞ	120

ÇİZELGELRİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Bazı ticari ve ticari olarak kullanılmayan ısı yalıtım malzemelerinin genel termal ve fiziki özellikleri.....	10
Çizelge 1.2. 1 kg yalıtım malzemesinin tüm yaşam döngüsü boyunca enerji tüketimi ve çevresel etkileri.....	11
Çizelge 3.1. Örnek villanın genel bilgileri.....	39
Çizelge 3.2. Analizde kullanılan çatı, yapı ve yalıtım malzemelerinin simülasyonda girdi olarak kullanılan değerleri	40
Çizelge 3.3. Analizde kullanılan yapı, yalıtım ve çatı malzemelere göre oluşturulan alternatif senaryolar ve Tipleri	41
Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan grafiksel gösterimlerin özeti	64
Çizelge 4.2. Tüm alternatif senaryoların yıllık elektrik enerjisi tüketimi [kWh] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti.....	66
Çizelge 4.3. Tüm alternatif senaryoların yıllık elektrik enerjisi tüketiminin [kWh] en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması.....	67
Çizelge 4.4. Tüm alternatif senaryoların yıllık yakıt (doğal gaz) tüketimi [kWh] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti	67
Çizelge 4.5. Tüm alternatif senaryoların yıllık yakıt (doğal gaz) tüketiminin [kWh] en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması.....	67
Çizelge 4.6. Tüm alternatif senaryoların enerji kullanım yoğunluğu [kWh/m ² /yıl] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti.....	70
Çizelge 4.7. Tüm alternatif senaryoların enerji kullanım yoğunluğu [kWh/m ² /yıl] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması.....	71
Çizelge 4.8. Tüm alternatif senaryoların yaşam döngüsü elektrik enerjisi [kWh] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti.....	76
Çizelge 4.9. Tüm alternatif senaryoların yaşam döngüsü elektrik enerjisi değerlerinin [kWh] en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması	76
Çizelge 4.10. Tüm alternatif senaryoların yaşam döngüsü yakıt enerjisi [kWh] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti	76

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.11. Tüm alternatif senaryoların yaşam döngüsü yakıt enerjisi değerleri [kWh] en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması	77
Çizelge 4.12. Tüm alternatif senaryoların yıllık CO ₂ emisyonu [ton] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti.....	80
Çizelge 4.13. Tüm alternatif senaryoların yıllık CO ₂ emisyonu [ton] değerlerine göre en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması	80
Çizelge 4.14. Alternatif senaryolar için kullanılan fotovoltaik verimlilik değerleri.....	83
Çizelge 4.15. Tasarımda kullanılabilecek fotovoltaik panele göre çıktılar	84
Çizelge 4.16. Tüm alternatif senaryoların enerji tüketimi [kWh] açısından en olumlu ve en olumsuz alternatiflerine yeşil duvar ekleyerek oluşturulmuş tipler	86
Çizelge 4.17. En olumlu alternatif senaryoların yeşil duvar eklenmesi durumunda yıllık enerji tüketimi [kWh] değerlerinin karşılaştırılması.....	87
Çizelge 4.18. En olumsuz alternatif senaryoların yeşil duvar eklenmesi durumunda yıllık enerji tüketimi [kWh] değerlerinin karşılaştırılması.....	87

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Dünya enerji istatistikleri ve dengeleri bildirimlerine göre 2020 yılı enerji kullanımı ve sera gazı salımı	3
Şekil 1.2. Yakıt türüne göre küresel olarak bina sektöründe 2010-2019 yılları arasında enerji kullanımı	4
Şekil 1.3. 2018-2020 yılları arasında UNFCCC verilerine göre küresel bina sektöründen salınan yaklaşık emisyon miktarları	5
Şekil 1.4. Bazı ticari yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması.	10
Şekil 2.1. Bir binanın enerji analizi için aşamaları	33
Şekil 2.2. Autodesk Green Building Studio yardımıyla yapılabilen simulasyon analizlerinde kullanılan veriler	34
Şekil 3.1. (a) ve (b) Bina bilgi modellemesini elde etmek amacıyla örnek villa için kullanılan proje detayları	37
Şekil 3.2. Analizi yapılan örnek villanın bina kabuğu tipleri	39
Şekil 3.3. Analizi yapılan bina konumuna göre ısıtma-soğutma derece gün değerleri ve yıllık tasarım şartları	53
Şekil 3.4. Analizde bina konumuna göre aylık tasarım verileri (%2'lik eşik)	54
Şekil 3.5. Analizde bina konumuna göre kuru termometre sıcaklığı frekans dağılımı ve kuru termometre sıcaklığı kümülatif dağılımının etkisi	54
Şekil 3.6. Analizde bina konumuna göre rüzgar etkisi	55
Şekil 3.7. Analizde bina konumuna göre çiy noktası frekans dağılımı ve bağıl nem frekans dağılımı (yıllık)	56
Şekil 3.8. Analizde bina konumuna göre toplam gökyüzü örtüsü frekans dağılımı ve doğrudan normal radyasyon frekans dağılımı (yıllık) etkisi	56
Şekil 3.9. Analizde bina konumuna göre etki eden diffüz ve global yatay radyasyon frekans dağılımları (yıllık)	58
Şekil 3.10. Mevcut villa projesinin BIM modellemesi	60
Şekil 4.1. Alternatif senaryolara göre çatı alternatiflerine göre yıllık elektrik tüketimleri	68
Şekil 4.2. Alternatif senaryolara göre çatı alternatiflerine göre yıllık yakıt tüketimi	69

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. Alternatif senaryolara göre analizle elde edilen yıllık enerji kullanım yoğunluğu.....	72
Şekil 4.4. Alternatif senaryolara göre analizle elde edilen yıllık elektrik enerjisi tüketiminin kullanım alanlarına göre dağılımı	73
Şekil 4.5. Alternatif senaryolara göre analizle elde edilen yıllık doğal gaz tüketiminin kullanım alanlarına göre dağılımı	74
Şekil 4.6. Alternatif senaryolara göre analizle elde edilen yıllık yaşam döngüsü enerjisi	78
Şekil 4.7. Alternatif senaryolara göre analizle elde edilen yıllık CO ₂ salınımı miktarı..	81
Şekil 4.8. Mevcut binanın 2020 yılına ait Elektrik ve Doğalgaz faturalarından alınan tüketim değerleri.....	83
Şekil 4.9. Enerji verimliliği açısından en olumlu alternatif senaryo [Tip 165] için fotovoltaiik yüzey analizi	84
Şekil 4.10. Enerji verimliliği açısından en olumsuz alternatif senaryo [Tip 35] için fotovoltaiik yüzey analizi.....	85
Şekil 4.11. Yeşil duvar eklenmiş örnek villanın BIM modellemesi	85
Şekil 4.12. Dış cephelerine yeşil duvar eklenerek tasarlanmış duvar yapılarının gösterimi.....	86
Şekil 4.13. En olumlu alternatif olarak belirlenen Tip 165'e ait analiz sonuçlarının ekran görüntüleri	88
Şekil 4.14. En olumsuz alternatif olarak belirlenen Tip 35'e ait analiz sonuçlarının ekran görüntüleri	89

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

kWh

Kilowatt saat

m²

Metrekare

m³

Metreküp

MJ

Mega joule

U

Isı İletim Katsayısı

Kısaltmalar

Açıklamalar

BEM

Building Energy Modeling

BIM

Building Information Modeling

CAD

Computer Aided Design

EPS

Expanded Polystyren Köpük

XPS

Ekstrüde Polistren Köpük

1. GİRİŞ

Son yıllarda, çevre ve sürdürülebilir kalkınma konularında kaygılar ve bu doğrultuda yapılan çalışmalar artmıştır. Bu konulardaki sorunlar ülkeleri, enerji verimliliğini artırma ve uluslararası standartlara uygun temel parametreleri uygulama konusunda bir dizi politikayı benimsemeye zorlamaktadır. Bunun yanında, iklim değişikliği ve onun yıkıcı sonuçları, ekolojik sistemlerin korunarak insanların barınma alanlarındaki refahının iyileştirilmesi için sürdürülebilir bir kalkınmaya doğru dönüşümü teşvik etmektedir. Ayrıca artan dünya nüfusu ve çeşitli ulusların ekonomik gelişimi ile birlikte fosil kaynakların kullanımı arttığından, bu kaynakların daha tasarruflu kullanılması gerekmektedir. Bu bağlamda, binaların enerji ihtiyacını karşılamak için gerekli enerji ihtiyacı, yenilenebilir enerji sistemlerinden elde edilebilen enerjilerin daha fazla kullanılmasıyla desteklenebilir [1, 2].

Yapı endüstrisinin sürdürülebilirlik etiği, kaynak verimliliği, sağlık ve üretkenlik ilkelerine dayanmaktadır, bu ilkelerin gerçekleştirilmesi, bir bina projesinin ve bileşenlerinin tam döngü bazında görüldüğü bütünleşmiş bir yaklaşımı ifade eder [3]. Kullanılan enerjiyi ve iklim üzerindeki etkilerini azaltmak için, enerji talebinin azaltılması, pasif sistemin benimsenmesi ve enerji verimliliğinin artırılması dâhil olmak üzere çeşitli stratejiler gereklidir [4].

Bu stratejilerden birisi de mevcut binaları veya tasarlanan binaları yeşil bina konseptine yaklaştırmaktır. Yeşil bina konseptini kullanarak yapılan tasarımları uygulamak, geleneksel bir ev ile karşılaştırıldığında binanın başlangıç sermaye maliyetini artıracaktır. Bununla birlikte, enerji tasarrufuna olan ek faydaları ve zaman içinde bu artan sermaye maliyetinin bir kısmını toplu olarak dengeleyebilecek olması göz önüne alındığında bu tercih edilebilir bir stratejidir. Her şeyden önemlisi daha sağlıklı yaşam alanlarına ve daha temiz çevreye olan katkısı bu stratejiyi en tercih edilebilir seçeneklerden biri yapmaktadır [3].

Son yıllarda yeşil bina, uzun vadeli ekonomik, çevresel ve sosyal sağlığı dengeleme sorumluluğunu üstlenen, sürdürülebilir kalkınmanın önemli stratejilerinden biri haline gelmiştir. Bu strateji entegre bir tasarım yaklaşımı kullanarak çevre açısından verimli binaların oluşturulabilmesine olanak tanımaktadır. "Yeşil" veya "sürdürülebilir" bina olarak bilinen bu yaklaşım, bir binanın yenilenebilir malzeme kullanımı ve kullanılan ürünlerin imalatından ürün nakliyesine, bina tasarımı ve inşaatına, işletme ve bakımına ve binanın

malzemelerinin yeniden kullanımı ve bertarafına kadar toplam ekonomik ve çevresel etkisini ve performansını dikkate almaktadır [5]. Yeşil binalar, çoğu zaman daha ekonomiktir. Bu tip binalar geleneksel binalara göre daha az enerji, su ve doğal kaynak kullanacak şekilde tasarlanmaktadır [6]. Daha az atık oluşturarak daha sağlıklı yaşam ortamı sağlarken, suyun ve enerjinin verimli kullanılması ve çevre dostu özelliklere sahip olması açısından ilgi çekmektedir. Bu amaçla tasarlanan yeşil binalarda yenilenebilir enerjinin etkin kullanımı, organik veya geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılarak, peyzajın verimli kullanımının yanında sağlık ve konforun sağlanması adına daha kaliteli bir iç mekân için gerekli kriterleri de sağlaması istenmektedir [7].

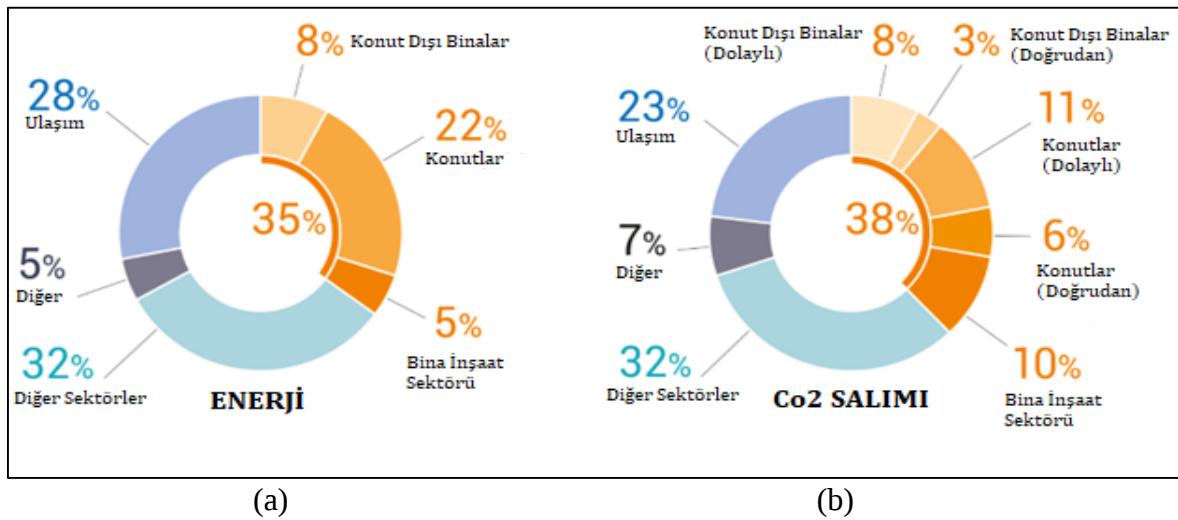
Yeşil bina kavramı ve gelişimi

Sürdürülebilir yapı kavramı genel olarak çevreye karşı duyarlı süreçleri kullanmak suretiyle binalar inşa etmeyi ifade eder. Sürdürülebilir yapıların en gözde yapı taşlarından birisi yeşil binalardır. Yeşil binalar çevre dostu yapılar olarak kabul edilmektedir. Yeşil binalar, günümüzde küresel enerji tüketiminin ve CO2 emisyonlarının büyük bir bölümünü temsil eden geleneksel binaların karbon ayak izini azaltmaya yönelik politika ve stratejiler nedeniyle giderek daha fazla dikkat çeken, yakın zamanda tanıtılan bir bina konseptidir. Yeşil bina, genel olarak aynı işlevsel kullanıma sahip sıradan bir binaya benzer, ancak benimsenen tasarım konseptlerinde ve çevreyi korumak için kullanılan inşaat tekniklerinde farklılıklar vardır [8]. Kısaca yeşil bina, bir binanın planlama aşamasından itibaren tüm tasarım, yapım, bakım, işletme, yıkım ve yenileme aşamalarında yaşam döngüsü çerçevesinde kaynak açısından verimli ve çevreye duyarlı süreçlerin uygulamasını ifade etmektedir. Yeşil binaların somut ve soyut birçok avantajı vardır. Bunlardan en önemlileri aşağıdaki gibi sıralanabilir [8, 9].

- Su kullanımında yaklaşık %30-50 oranında azalma
- Enerji kullanımında yaklaşık %20 tasarruf
- İyileştirilmiş hava kalitesi
- Faydalanılabilir gün ışığı
- Bina sakinlerinin doğal ortam kaynaklı konforu
- Sınırlı ulusal kaynakların korunması
- Sağlıkla ilgili daha güvenilir ortam şartları
- Olumlu çevresel avantajlar sayılabilir.

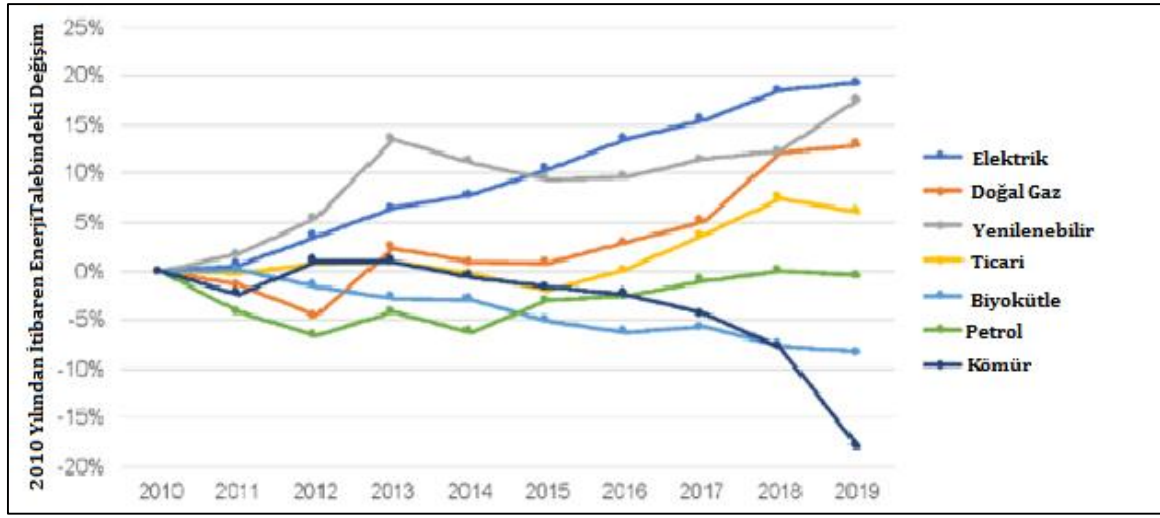
Yeşil bina kavramı, inşaat sektörünün yüksek enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını azaltabilen bina talebini karşılamak için bir çözüm olarak 1970'ler ve 1980'lerde artan yeşil hareketten ortaya çıkmıştır [10, 11]. Yeşil bina, “daha yüksek enerji verimliliği yoluyla daha düşük çevresel etki ilkelerinin benimsenmesi, daha düşük enerji talebi, azaltılmış su kullanımı, iyileştirilmiş iç mekan kalitesi ve inşaat atıklarının en aza indirilmesi” kavramları göz önüne alınarak geliştirilmiştir [12, 13]. 2011 yılında yeşil binalar için proje planlama ve maliyet tahmini için yapılan bir çalışma, yeşil binada uygulanan yeşillendirme teknolojileri ve tasarımının, kaynak kullanımı açısından binaların verimliliğini on kata kadar artırabileceğini göstermiştir [14]. Bu nedenle, kırsal alanlardaki yeşil binaların bile, enerji verimliliğini ve yaşam koşullarını iyileştirmeye ve karbon emisyonlarını azaltmaya yardımcı olabileceği öngörülmüştür.

Şekil 1.1’de 2020 yılında IEA (International Energy Agency) Dünya enerji istatistikleri ve dengeleri bildirimlerine göre enerji kullanımı ve sera gazı salımında binaların sektörler arasındaki yeri verilmiştir. Şekil 1.1.a’da bina inşaat sektörü, genel endüstrinin çelik, çimento ve cam gibi inşaat malzemeleri üretimine ayrılmış tahmini kısmını ifade etmektedir. Yani bina işletimi için küresel nihai enerji tüketimi, toplam enerji tüketiminin yaklaşık %30’udur. Şekil 1.1.b’de belirtilen dolaylı olarak salınan emisyonlar ise elektrik ve ticari ısı için elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonlardır. Binalardaki elektrik tüketimi ise küresel elektrik tüketiminin yaklaşık %55’ini oluşturmaktadır.



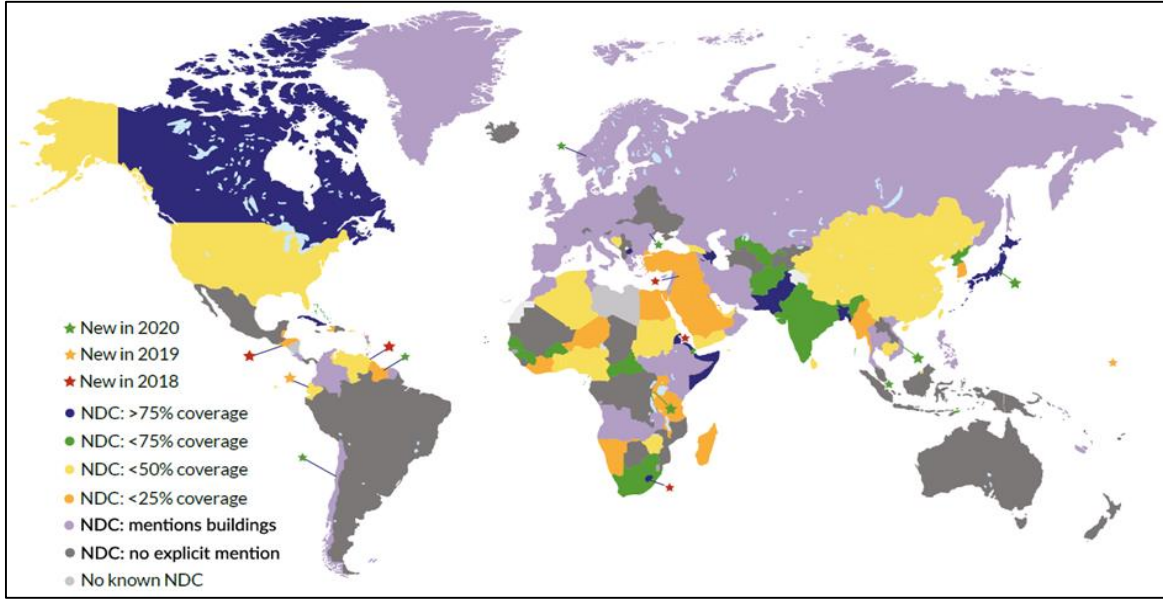
Şekil 1.1. Dünya enerji istatistikleri ve dengeleri bildirimlerine göre 2020 yılı enerji kullanımı ve sera gazı salımı [15, 16].

Şekil 1.2’de yakıt türüne göre küresel olarak bina sektöründe 2010-2019 yılları arasında enerji kullanım istatistikleri verilmiştir. Şekil 1.2’de gösterildiği gibi enerji talebi biokütle, petrol ve kömür kullanımından elektrik ve doğal gaza geçişi göstermektedir. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kullanımı (biokütle dahil) 2018’den bu yana yaklaşık %6 artış göstererek önceki yıllara kıyasla sektörde güçlü bir büyümeye işaret ederek yakıt kaynağı olarak kömürü geride bırakmıştır.



Şekil 1.2. Yakıt türüne göre küresel olarak bina sektöründe 2010-2019 yılları arasında enerji kullanımı [17]

2018-2020 yılları arasında ülkeler tarafından (NDC: Nationally Determined Contributions), UNFCCC (United Nations Climate Change Commission) kurumuna bildirilen küresel bina emisyonlarına ait veriler Şekil 1.3’de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. 2018-2020 yılları arasında UNFCCC verilerine göre küresel bina sektöründen salınan yaklaşık emisyon miktarları [17].

Enerji verimli binalara yapılan harcamalar, son üç yılda ilk kez 2019'da artış göstermiştir. Küresel pazarlarda bina enerji verimliliğine yapılan yatırım 2018 yılına göre %3 artarak 2019 yılında 152 milyar dolara yükselmiştir. Ancak bu, inşaat sektörüne harcanan 5,8 trilyon doların küçük bir kısmı olmaya devam etmektedir. Enerji verimliliğine yapılan yatırım, bir bütün olarak sektöre yapılan yatırımın gerisinde kalmaktadır. Bu nedenle binaları karbondan arındırmak için daha fazla çaba gerekmektedir. Bina sektöründe, enerji verimliliğine harcanan her 1\$ için, geleneksel inşaat yapımına 37\$ harcanmaktadır [18].

Günümüzde yatırım sektöründeki yatırım stratejilerinde, karbonsuzlaştırma ve enerji verimliliğinin de yer aldığına dair olumlu işaretler mevcuttur. Uluslararası Finans Kurumu (IFC) [19] tarafından 2030 yılına kadar 24,7 trilyon dolar teşvik alacağı tahmin edilen yeşil binalar, önümüzdeki on yılın en büyük küresel yatırım fırsatlarından birini temsil etmektedir. Küresel pandemi birçok zorluğu beraberinde getirirken, aynı zamanda bir paradigma değişikliği için de fırsat sunmaktadır. Bu amaçla sistemli olarak karbonsuzlaştırma önlemlerini yatırım teşvik paketlerine dahil etmek, yenileme oranlarını önemli ölçüde artırabilir ve yatırımları sıfır karbon salımlı binalara yönlendirebilir, istihdam sağlayabilir ve sektörün emlak değerini arttırabilir. Bu çerçevede hükümetler tarafından günümüzde yapılan bazı teşvik programları sayesinde, yeşil yapı malzemeleri pazarının, 2019 yılından (IMARC Services 2019) 2027 yılına kadar (Global Industry Analysts, Inc 2020) yıllık %8,6-11,7 arasında bir büyüme oranına ulaşması beklenmektedir [20, 21].

Yeşil binaların kriterleri, değerlendirilmesi ve derecelendirilmesi

Binaların ve inşaat faaliyetlerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için performanslarını ölçebilmek ve doğrulayabilmek gerekmektedir. Sürdürülebilirlik açısından binaların ve inşaat faaliyetlerinin performansının bir göstergesini sağlayan çeşitli kriterler ve derecelendirme sistemleri tasarlanmıştır. Bu sistemlerin temel amaçları; sürdürülebilir binaların tasarımına yardımcı olmak ve binaların sürdürülebilirliğini değerlendirmeye yardımcı olmaktır [22].

Baskın derecelendirme sistemleri arasında Birleşik Krallık'ta yaygın olarak kullanılan Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Yöntemi (BREEAM), ABD Yeşil Bina Konseyi (USGBC) tarafından geliştirilen Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik LEED, Avustralya Yeşil Bina Konseyi tarafından geliştirilen Yeşil Yıldız bulunmaktadır. Hindistan'ın Entegre Habitat Değerlendirmesi için Yeşil Derecelendirme GRIHA diğerleri arasında tek bir ölçüm şeması olduğundan, bir binanın tüm sürdürülebilirlik yönlerinin tam kapsamlı ve tartışılmaz bir değerlendirmesini sağlayamaz [23].

BREEM ve LEED gibi erken derecelendirme sistemleri, ne yapılacağına ve ne yapılacağına dair temel bir kontrol listesi olarak başlamıştır ve belirli başarılar için puan veren sistemlere doğru ilerletilmiştir. Odak alanları, sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik yönlerini birleştirmeye çalışmaktadır. Çevresel boyut, enerji kullanımı, su ve malzeme kullanımı ve atık yönetimi ile ilgili kriterleri içermektedir; sosyal boyut, binanın erişilebilirliği, sakinlerin refahı ve sosyal ve kültürel değerlerin korunması arasında değişirken, ekonomik kriterler satın alınabilirlik ve yaşam döngüsü maliyetleri ile ilgilidir [24].

LEED derecelendirme sistemi, sürdürülebilir alanlar, su verimliliği, enerji ve atmosfer, malzemeler ve kaynaklar ve iç mekân çevre kalitesi artı yenilik ve tasarım kategorisi olmak üzere beş çevresel kategoriyi kapsamaktadır. Ayrıca enerji tüketimi, atık üretimi ve yenilenebilir enerjinin benimsenmesi gibi hususları nicelleştirerek bir binanın çevresel performansını tüm yaşam döngüsü boyunca bütünsel olarak değerlendirmektedir [22-24].

GRIHA'nın dört alt kategorisi yer seçimi ve planlama, bina planlama ve inşaat, bina işletim ve bakım ve yeniliktir [22].

Öte yandan BREEAM, Birleşik Krallık'ta yeni konut dışı binaların sürdürülebilirliğini ölçmek için kullanılmaktadır. Tasarım aşaması ve inşaat sonrası olmak üzere iki aşamalı bir değerlendirme sürecine sahiptir. Değerlendirme alanları arasında enerji, su, malzeme, atık, sağlık ve esenlik, kirlilik taşımacılığı ve biyolojik çeşitlilik yer almaktadır [22-24].

Yeşil binalarda yapı ve yalıtım malzemeleri

Yeşil binaların ana temalarından birisi de enerji tüketimini azaltmaya yönelik önlemleri içermektedir. Tasarımcılar, duvarlarda, tavanlarda, çatılarda ve zeminlerde yüksek performanslı pencereler ve ekstra yalıtım aracılığıyla daha enerji etkin binalar tasarlamaya özen göstermektedir. Bu amaçla, pencereleri ve duvarları yönlendirerek, pencereleri ve çatıları gölgelemek için tenteler, sundurmalar yerleştirerek bu amacın bir kısmını gerçekleştirebilmektedir [25]. Etkili pencere yerleşimi, daha fazla doğal ışık sağlayabilir ve gün boyunca elektrikli aydınlatma ihtiyacını azaltabilir. Tasarımcılar güneş enerjili su ısıtması yardımıyla enerji maliyetlerini daha da azaltabilir. Dünya genelinde bakılacak olursa, binalar elektrik yükünün yaklaşık %70'inden, tüm enerji tüketiminin %40'ından ve CO₂ emisyonlarının %40'undan sorumludur [26]. Bu nedenle, binaları daha enerji verimli hale getirmek, sera gazı emisyonlarını azaltmanın en hızlı ve artan enerji fiyatları ile en uygun maliyetli yollarından biri olabilir [27]. Bu argüman Ulusal Bilim ve Teknoloji Konseyi tarafından, sürdürülebilirlik kavramlarının benimsenmesiyle enerji, işletme ve bakım maliyetlerinde azalma, bina kaynaklı hastalıklarda azalma ve atık ve kirlilikte azalma olduğu vurgulanmaktadır [28].

Ayrıca binaların işletimi sırasında enerji kullanımını azaltmak için en etkili yöntemlerden biriside bina kabuğundan hava sızıntısını azaltan ayrıntıları kullanmaktır. Bina yapımında kullanılan yapı ve yalıtım malzemeleri, çıkarılmasından üretimine ve kullanımına kadar doğal kaynakların tükenmesine destek olmaktadır. Ayrıca kullanılan malzemelerin termal ve fiziki özellikleri, binanın enerji kullanımına ve binalardan salınan emisyon miktarlarına önemli ölçüde etki etmektedir [29]. Sonuç olarak, sürdürülebilirlik önlemlerinin (çevre, sosyal ve ekonomik) [30] ve yeşil mimari yaklaşımının [31] izlenmesi, doğru kullanılan yapı ve yalıtım malzemeleri yardımıyla daha temiz çevre, daha az enerji kullanımı ve bina sakinlerinin sağlıklı yaşam standartları üzerindeki olumlu etkilerini arttırabilmektedir. Kısaca, yeşil mimarinin ana amaçlarından biri, bina ve doğa arasındaki ilişkiye odaklanarak, çevresel etkileri, sağlık tehlikelerini ve enerjiyi en aza indirmek ve doğal kaynakları

korumaktır [32]. Bu bağlamda yeşil bina konsepti, çevre dostu ve düşük etkili malzemeler kullanmayı, kaynakları ve enerji verimliliğini korumayı ve bina sakinleri için iç mekan sağlığını optimize etmeyi içermektedir [33]. Bina cephelerinin özellikleri çevresel ayak izini ve enerji performansını direk etkilediği için binanın uygun malzemelerle tasarımı planlamanın erken aşamalarında analiz edilmelidir. Dolayısıyla yeşil bina konseptinin çıktılarının simülasyon destekli olarak erken aşamalarda belirlenmesi, etkin inşaat ve yapı malzemelerinin tespit edilerek binaların bu malzemelerle yapılandırılması ekolojik, enerji etkin ve sağlıklı yaşam alanları için oldukça önemlidir [34].

Malzemelerde verimlilik de göz önüne alındığında, yeşil binalarda, yapı ve yalıtım malzemelerinin enerji etki kriterlerinin belirlenmesi gereklidir [35]. Zaten, sürdürülebilir tasarım çerçevesinde yenilenemeyen enerji ve yenilenemeyen kaynakların kullanımını azaltmak, yapı bileşenlerini veya yapı ürünlerini mümkün olduğunca insan sağlığına elverişli doğal alternatifler arasından seçerek kullanmak veya bazı doğal-atık bileşenlerin yeniden kullanılması yeşil bina projelerinin hedeflerinden bazılarıdır [36, 37].

Duvar malzemeleri ve ısı yalıtım malzemeleri bir binanın ana bileşenleridir ve çok sayıda kaynak kullanılarak elde edilmektedir [38]. Bir binanın inşaatında duvar malzemeleri en önemli kısımdır ve doğrudan insanlarla maruz kalmaktadır. Yapı malzemesinin kaynağı ve kalitesi, iç ortamı ve ayrıca bir binanın maliyetini etkileyecektir [39]. Yeşil yapı malzemesinin kullanımı, inşaatın ilerlemesi sırasında enerji ve kaynak tasarrufu için en yenilikçi çözümlerden biridir [40]. Ayrıca yalıtım da, yeşil bina tasarımının önemli bir bileşenidir. İyi yalıtılmış bir ev, alanı kışın sıcak, yazın ise serin tutmalıdır ve bu da küresel iklim değişikliğine bağlı karbon emisyonlarını azaltır. Enerji verimliliği açısından, bina için yüksek düzeyde yalıtım malzemelerine yatırım yapmak, pahalı ısıtma teknolojilerine yatırım yapmaktan daha uygun maliyetlidir. Yalıtım malzemeleri, bir R değeri ile ölçülen ısı akışına direnerek çalışır (R değeri ne kadar yüksek olursa, yalıtım o kadar büyük olur). R değeri, yalıtımın tipine, kalınlığına ve yoğunluğuna bağlıdır.

Bu bakış açısıyla bu çalışma, yeşil binaların sürdürülebilir enerji performansında bina yalıtım malzemelerinin önemine de dikkat çekmektedir. Yeşil bina kavramı, binanın çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltırken su, enerji ve malzeme kullanım verimliliğini artıran önlemler olarak tanımlanabilir. Bir konut binasına dışarıdan bakıldığında binanın yalıtımı dikkat çeken çarpıcı unsurlardan biri değildir. Ancak binanın yalıtımı, binanın daha konforlu

ve daha yüksek performanslı olmasının etkisi olan en önemli bileşendir. Binanın yetersiz yalıtımı, ısıtma ve soğutma işlemleri sırasında enerji kaybına neden olarak verimsiz bir sistemle sonuçlanır. Yeşil bina yalıtımı, enerji tüketiminde tasarruf sağlar ve aynı zamanda insan sağlığının düzenlenmesine de yardımcı olur. Uygun olmayan yalıtım sonucunda küf sorunları gibi insan sağlığını tehdit eden sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle binaların yalıtımı, üzerinde durulması gereken önemli bir konudur [41]. İnsan için en sağlıklı, çevreye de en uygun yalıtım türü yeşil bina yalıtımıdır. Tam olarak bir yalıtım türü olmasa da binanın yapımından günlük kullanımına kadar yapının daha sağlıklı, daha konforlu, daha ekonomik ve daha uzun ömürlü olmasını sağlayan bir bakış açısıdır. Bu nedenle sürdürülebilirliği korumak için daha az atık içeren doğal ve yerel malzemeler kullanılarak inşaat sırasında ve inşaat sonrası kirlilik minimuma indirilmelidir [42-43].

Kısacası, yalıtım, yeşil binaların temel taşı olan enerjinin korunmasının anahtarıdır. Yetersiz yalıtımlı veya yalıtımsız binalar çok fazla enerji harcar. Öte yandan, iyi yalıtılmış binalar da enerji tasarrufu sağlar ve işletme maliyetlerini düşürür, aynı zamanda mekanların insanlar için daha konforlu ve sağlıklı olmasını sağlar. Mevcut binalara sonradan daha fazla yalıtım eklemek olabilse de, süreç pahalıdır ve çoğu zaman zordur. Bu nedenle binalarda tasarım aşamasında etkinliği hesaplanarak yapılan yalıtım en doğru uygulamaya ulaşmada önemlidir. Özellikle soğuk iklimlerde bulunan yalıtımsız binalara uygulanan yalıtım, enerji tasarrufu için maksimum potansiyel sağlar, çünkü ilk yalıtım kurulumundan itibaren en yüksek düzeyde enerji tasarrufu sağlayabilir. Gelişmekte olan ülkelerde yalıtımsız yeni binaların yalıtımlı binalara dönüştürülmesi de enerji tasarrufuna önemli miktarda katkı yapılabilir [44].

R-değerlerini karşılaştırmak, bir yalıtım türünü diğerine tercih etmenin bir yoludur, bu sayılar binanın tasarlandığı bölgeye ait iklim koşulları ve inşaat teknikleri dikkate alınmadığında yanıltıcı olabilir. Şekil 1.4’de bazı ticari yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması gösterilmiştir [45]. Çizelge 1.1’de bazı ticari ve ticari olarak kullanılmayan ısı yalıtım malzemelerinin genel termal ve fiziki özellikleri verilmiştir [45]. Çizelge 1.2’de 1 kg yalıtım malzemesinin tüm yaşam döngüsü boyunca enerji tüketimi ve çevresel etkileri gösterilmiştir [45].

Ticari Yalıtım Malzemeleri		
Geleneksel	Alternatif	İleri
Taş Yünü	Kenevir	VIP
Cam Yünü	Kenaf Lifi	GFB
EPS	Keten	Aerojel
XPS	Koyun Yünü	
Poliüretan	Hindistan Cevizi Lifi	
Selüloz	Geri Dönüşümlü Plastik	
Mantar	Jüt Lifi	
Ağaç Lifi	Geri Dönüşümlü Karton	
Mineralize Ağaç Lifi		
LECA		
Vermikülit		
Perlit		

Şekil 1.4. Bazı ticari yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması.

Çizelge 1.1. Bazı ticari ve ticari olarak kullanılmayan ısı yalıtım malzemelerinin genel termal ve fiziki özellikleri.

	Yoğunlu k (kg/ m ³)	Termal iletkenlik (W/m K)	Özgül ısı (kJ/kg K)	Yangın sınıflandırmas ı	Su buharı difüzyon direnci faktörü, m-değeri
Ticari malzemeler					
Taş yünü	40–200	0,033–0,040	0,8–1,0	A1–A2–B ^a	1–1,3
Cam yünü	15–75	0,031–0,037	0,9–1,0	A1–A2	1–1,1
EPS	15–35	0,031–0,038	1,25	E	20–70
XPS	32–40	0,032–0,037	1,45–1,7	E	80–150
Fenolik köpük	40–160	0,018–0,024	1,3–1,4	B–C	35
Poliüretan	15–45	0,022–0,040	1,3–1,45	E	30–170
Poliisosiyanurat	30–45	0,018–0,028	1,4–1,5	B	55–150
Selüloz	30–80	0,037–0,042	1,3–1,6	B–C–E	1,7–3,0
Mantar	110–170	0,037–0,050	1,5–1,7	E	5–30
Ağaç fiberler	50–270	0,038–0,050	1,9–2,1	E	1–5
Mineralize ağaç fiberler.	320–600	0,060–0,107	1,8–2,1	B	5
Hafif genişletilmiş kil agrega yalıtım	290–750	0,08–0,200	0,9–1,0	A1	5,0–8,0
Genişletilmiş vermikülit	30–150	0,062–0,100	0,8–1,1	A1	2,0–3,0
Genişletilmiş perlit	80–150	0,040–0,052	0,9–1,0	A1	2,0–3,0
Kenevir lifi	20–90	0,038–0,060	1,6–1,7	E	1,0–2,0
Kenevir lifi and cipsi	29–82	0,039–0,049	N.A.	N.A.	2,1–4
Kenaf	30–180	0,034–0,043	1,6–1,7	D–E ^b	1,2–2,3
Keten	20–100	0,038–0,075	1,4–1,6	E	1,0–2,0
Koyun yünü	10–25	0,038–0,054	1,3–1,7	E	1,0–3,0
Hindistan cevizi lifi	75–125	0,040–0,045	1,3–1,6	D–E ^b	5,0–30
Geri dönüştürülmüş kauçuk	500–930	0,100–0,140	N.A.	D–E ^b	14
Jüt lifi	35–100	0,038–0,055	2,3	E	1–2
Vakum yalıtım paneli	160–230	0,0035–0,008	0,8	A1 ^c	Up to 340,000
Gaz dolgulu panel	N.A.	0,010 (Krypton)– 0,035 (air)	N.A.	N.A.	Very high
Aerojel (rulolar, paneller)	70–150	0,013–0,015	1,0	C	5,0–5,5
Aerojel (granül)	120–180	0,022	N.A.	N.A.	N.A.

Çizelge 1.1. (devam) Bazı ticari ve ticari olarak kullanılmayan ısı yalıtım malzemelerinin genel termal ve fiziki özellikleri

	Yoğunluk (kg/m ³)	Termal iletkenlik (W/m K)	Özgül ısı (kJ/kg K)	Yangın sınıflandırması	Su buharı difüzyon direnci faktörü, m-değeri
Geleneksel olmayan malzemeler					
Küspe	70–350	0,046–0,055	N.A.	N.A.	N.A.
Pamuk (geri dönüştürülmüş kot)	NA	0,036–0,038	N.A.	N.A.	N.A.
Pamuk (saplar)	150–450	0,059–0,082	N.A.	N.A.	N.A.
Pamuk (geri dönüştürülmüş)	25–45	0,039–0,044	1,6	E	1-2
Hurma ağacı	187–389	0,072–0,085	N.A.	N.A.	N.A.
Durian	357–907	0,064–0,185	N.A.	N.A.	N.A.
Palmye yağı	20–120	0,055–0,091	N.A.	N.A.	N.A.
Ananas yaprağı	178–232	0,035–0,042	N.A.	N.A.	N.A.
Sazlık	130–190	0,045–0,056	1,2	E	1-2
Geri dönüştürülmüş cam elyaf	450	0,031	0,83	N.A. (probably A1 or A2)	N.A.
Geri dönüştürülmüş cam elyaf (ticari)	100–165	0,038–0,05	1,0	A1	Very high
Geri dönüştürülmüş PET	30	0,036	N.A.	N.A.	N.A.
Geri dönüştürülmüş PET (ticari)	15–60	0,034–0,039	1,2	B	3,1
Geri dönüştürülmüş tekstil (ticari)	30–80	0,036–0,042	1,2–1,6	E, F	2,2
Geri dönüştürülmüş tekstil elyafları (polyester ve poliüretan)	440	0,044	N.A.	N.A.	N.A.
Geri dönüştürülmüş tekstil elyafları (sentetik)	200–500	0,041–0,053	N.A.	N.A.	N.A.
Pirinç	154–168	0,046–0,566	N.A.	N.A.	N.A.
Ayçiçeği (zift)	36–152	0,039–0,050	N.A.	N.A.	N.A.
Saman balya	50–150	0,038–0,067	0,6	N.A.	N.A.

Çizelge 1.2. 1 kg yalıtım malzemesinin tüm yaşam döngüsü boyunca enerji tüketimi ve çevresel etkileri.

Malzeme	Ağırlık (kg)	Termal iletkenlik (W/m K) ^a	Enerji tüketimi (MJ _{eq} per f.u.)	Küresel ısınma potansiyeli (kg CO _{2eq} per f.u.)
Selüloz	2,34	0,039	19,39	0,73
Selüloz	2,00	0,040	20,97	3,66
Mantar	5,00	0,050	257,98	5,72
Mantar	7,35	0,049	378,65	5,93
Genişletilmiş kil (gevşek)	31,50	0,090	161,14	10,31
Genişletilmiş perlit (paneller)	4,50	0,050	67,31	3,99
Genişletilmiş polistiren	0,80	0,040	127,31	5,05
Genişletilmiş polistiren	1,13	0,038	118,67	8,25

Çizelge 1.2. (devam) 1 kg yalıtım malzemesinin tüm yaşam döngüsü boyunca enerji tüketimi ve çevresel etkileri.

Malzeme	Ağırlık (kg)	Termal iletkenlik (W/m K) ^a	Enerji tüketimi (MJ _{eq} per f.u.)	Küresel ısınmapotansiyeli (kg CO _{2eq} per f.u.)
Genişletilmiş poliüretan	0,90	0,030	126,40	5,31
Genişletilmiş vermikülit (gevşek)	6,30	0,070	53,37	3,36
Ekstrüde genişletilmiş polistire	1,75	0,035	127,31	13,22
nCam elyaf	0,80	0,040	134,17	7,70
Cam yünü	8,00	0,050	229,02	9,89
Kenevir	1,20–1,90	0,038–0,040	23,65–35,55	0,17–0,26
Jüt lifleri	5,00	0,050	105,54	2,79
Kenaf	1,52	0,038	59,37	3,17
Kenaf lifleri	1,90	0,038	42,32	1,13
Doğal pomza (gevşek)	55,00	0,110	1,82	0,08
Poliüretan	0,96	0,032	99,63	6,51
Geri dönüştürülmüş PET	1,07	0,036	83,72	1,78
Geri dönüştürülmüş PET (ticari)	1,48	0,037	21,06 ^a	3,12
Geri dönüştürülmüş tekstil (ticari)	1,79	0,036	17,57 ^a	1,55
Koyun yünü	0,76	0,038	17,12	1,46
Taş yünü (ticari)	1,18	0,037	20,75	1,45
Taş yünü	2,40	0,040	63,34	3,62
Odun yünü	12,60	0,070	255,36	1,56

Yeşil binalarda yapı-yalıtım malzemelerinden istenen özellikler

Türkiye’de binalarda ısı yalıtım malzemelerinin uygulanmasında uyulması gereken standart TS825 ile resmileştirilmiştir [46]. Bu standart ile Türkiye’nin iklim bölgelerine uygun olarak ısı geçirgenlik değerini (U) sağlamak amacıyla bina dış duvarı uygun yapı ve yalıtım malzemeleriyle tasarlanmalıdır.

Dış duvar tasarımlarında kullanılan yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı değeri European Committee for Standardization (CEN) ve International ve Organization for Standardization (ISO) standartlarına uygun olabilmesi için 0,065 W/m²K den küçük

olmalıdır [47]. Isı yalıtımı açısından enerji etkin bina tasarımında alternatif ısı yalıtım malzemeleri arasında ısı iletkenlik katsayısı daha düşük değere sahip olanı tercih edilmelidir.

Hafif ve ısı iletkenlik katsayısı düşük malzemelerle hem binaya çok yük bindirmeden hem de uygun yalıtım sağlanması önemlidir.

Isı yalıtım malzemesi tutuşması zor, alev yayması az, çıkardığı duman, ısı ve toksisite düşük olanlar arasında yangın güvenliğinin yönetmeliğinde verilen kriterlere uyacak şekilde seçilmelidir. Ayrıca kullanılacağı alana uygun yangın sınıfına dahil malzemeler arasında belirlenmelidir [48].

Malzemeler uygulama kalınlığına göre su buharı difüzyonuna karşı belli bir direnç katsayısına sahiptir [49]. Binaların iç ortamı bina kabuğunu oluşturan yapı elemanları aracılığıyla nefes almalıdır. Aynı şekilde bu elemanların iç kısmında yoğuşma sorunu meydana gelmemesi için belli oranda buharın geçişi gereklidir [50].

Isı yalıtım malzemelerinin yangın esnasında emniyetinin yanısıra, oluşan dumanın içinde bulunan gazların konsantrasyonu, başka bir ifadeyle “toksisite”leri oldukça önemlidir [44]. Toksisite açısından en avantajlı malzemeler mantar vb doğal malzemeler ve mineral malzemelerdir.

Malzeme porozitesi (gözeneklilik), malzemenin gözenekler tarafından işgal edilen hacmini verir. Porozite, malzemedeki gözenek hacminin malzeme hacmine oranı olarak formüle edilebilir. Gözeneklilik, termal iletkenlik, mukavemet, kütle yoğunluğu, dayanıklılık vb. gibi birçok özelliği etkiler [47].

Malzemenin hücre yapısı, hacimsel su emme oranını dolayısıyla ısı yalıtımını etkilemektedir. Su, bir malzemenin bünyesine, direkt temasla veya difüzyon yoluyla girmektedir [49]. Su emen bir ısı yalıtım malzemesinde ısı iletkenlik değeri yükselmektedir. Bu süreç devam ettiği takdirde malzeme ısıyı tamamen iletmeye başlayabilmektedir.

Bir malzemenin donma veya çözülme direncine kısaca donma direnci denir. Malzemenin yoğunluğuna bağlıdır. Genellikle daha yoğun malzemeler daha fazla donma direncine

sahiptir. Nemli malzeme donma direnci düşüktür ve donmada mukavemetini kaybederek kırılğan hale gelebilir.

Bir ısı yalıtım malzemesinin belirli sayıdaki keskin sıcaklık değışimlerinden başarılı olarak geçme yeteneği, parçalanma direnci olarak bilinir. Malzemenin doğrusal genişleme katsayısına bağlıdır.

Bir ısı yalıtım malzemesinin atmosferik ve diğerk faktörlerin birleşik etkisine karşı dayanma özelliği, ısı yalıtım malzemenin dayanıklılığı olarak bilinir. Malzeme daha dayanıklı ise daha uzun ömür için faydalı olacaktır. Isı yalıtım malzemelerinde kullanılacağı yere göre basma-çekme dayanımı ve aşınma dayanımı değerlerinin dikkate alınması gerekebilir. Malzemenin bakım maliyetide, dayanıklılığına bağlıdır [46].

Isı yalıtım malzemesinin bir diğerk değerlendirme kriteri de ekonomikliktir. Ancak öncelikle yukarıda bahsedilen önemli özellikler dikkate alınmalıdır. Mesela, ısıl iletkenlik katsayısı yüksek olan bir malzeme daha ekonomik olabilir. Bu malzemenin seçilmesi ya daha fazla ya da daha kalın yalıtım malzemesi kullanarak gerekli yalıtım değerini sağlayacak şekilde kullanılmak zorundadır. Bu durumda malzeme ekonomik olarak değerlendirilemeyecektir.

Çalışmada kullanılan yapı malzemeleri

Gözenekli tuğla

Gözenekli tuğlalar, boşluklu veya delikli tuğlalardır. Kum, kil ve özel ham doğal katkıların karışımından yapılmış kil, beton veya içi boş seramik bloklardan yapılabilirler. Bu yapı malzemesi özel ve ticari yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır ve ısıl yöntemlerle üretilmektedir. Gözenekli bloklar, ağırlıkça daha hafif bir malzeme olduğu için tercih edilir, bu nedenle inşası daha kolay, daha hızlı ve daha ucuzdur. Tuğlalar bir kalıplamada (yumuşak çamur yöntemi) veya ticari imalatda daha sık ekstrüzyonla oluşturulur. Bir kalıptan geçirdikten sonra uygun boyuta tel ile kesilir. Tuğlalar 1700, 1800 ve 1900'lü yıllarda inşaat malzemesi olarak yaygın olarak kullanılmıştır. Bunun nedeni, muhtemelen, kalabalık şehirlerde ahşaptan çok daha fazla alev geciktirici olması ve üretilmesinin oldukça ucuz olmasıdır.

Gaz beton tuğla

Bir bağlayıcı bileşen (portland çimentosu veya öğütülmüş sönmemiş kireç gibi), silisli bir bileşen (öğütülmüş kuvars kumu) ve sudan oluşan bir karışıma bir gaz oluşturuucu madde (genellikle alüminyum tozu) enjekte edilerek yapılmaktadır. Gaz oluşturma işlemi, kalsiyum hidroksit ve alüminyum arasındaki kimyasal reaksiyonun bir sonucu olarak gerçekleşir. Bu reaksiyon sırasında kaçan hidrojen, çözeltinin köpürmesine neden olur ve daha sonra sertleşerek gözenekli bir yapı oluşturur. Gaz betondan gerekli mukavemet faktörlerine sahip ürünlerin hızlı sertleştirilmesi ve üretilmesi için ürünler otoklavlarda, 9 atmosferden az olmayan buhar basıncında ve 175 ° C sıcaklıkta ısı ve nem işlemine tabi tutulur. Gaz beton, özellikle binaların dış duvarlarında bir ısı yalıtımı sağlamaya yardımcı olur. Gaz betonun yoğunluğu 300-700 kg/m³, basınç dayanımı m² başına 0,8, 1,2, 2,5, 3,5 ve 5,0 meganewton gibi değerlerde piyasada mevcuttur (8, 12, 25, 35 ve 50 kg/cm²).

Bims tuğla

Bims tuğla, volkanik, silikat esaslı, camsı ve gözenekli hafif yapı elemanıdır. Özelliklerine göre ekonomiktir, ısı ve ses yalıtımı bakımından destekleyici özelliklerdedir. İşlenmesi kolaydır, sağlamdır, kolay sıvanır ve ısıya dayanımı yüksek hafif bir yapı elemanıdır.

Çalışmada kullanılan yalıtım malzemeleri

Genleştirilmiş polistiren [EPS]

EPS genel olarak polistiren taneciklerine ilave edilen pentanın buharlaştırılması ile elde edilmektedir [51–53]. Günümüzde mevcut marketlerde bulunan EPS'lerin, yoğunluğu yaklaşık 15-75 kg/m³, özgül ısısı 1,25 kJ/kgK ve ısıl iletkenlik katsayısı değerleri 0,031-0,037 W/mK arasındadır. Yapı olarak sert, beyaz renkli ve kapalı hücre içeren köpük şeklindedir. EPS'nin yoğunluk değeri yükseldikçe, yalıtım performansıda artar [54-56]. Tamamen kuru olan EPS, bağıl nem miktarı 0,90 olan bir iklim odasında 4 saatlik süre boyunca tutulduğunda, ısıl iletkenlik değerinde %1,4-%2,1 arasında bir artış rapor edilmiştir. Yani nem çekme özelliği vardır [57-59]. Ama nem çektiğinde genleştirilmiş polistiren'nin ısıl iletkenlik performansı belli oranda azaltmaktadır [60]. EPS, düşük yoğunluk ve kapalı gözeneklilik sebebiyle kayda değer derecede bir akustik özellik göstermemektedir. EPS

kolay yanan bir malzeme olduğu için ve yanma esnasında çevreye tehlikeli gazlar saldığından, genellikle üretimi esnasında alev geciktirici eklenmektedir. Genel olarak performans değerlerini kaybetmeden rahatça kesilip işlenebilen paneller şeklinde piyasaya sunulurlar. EPS'nin geri dönüşümü, ancak uzmanlaşmış endüstrilerin desteğiyle yapılabilmektedir.

Ekstrüde polistiren [XPS]

XPS, polyester tanelerinin bir şişirici madde ilavesiyle bir ekstrüderde eritilmesiyle üretilir [53, 54, 57]. XPS, EPS'ye benzer yalıtım özelliklerine sahiptir, ancak daha az nem emer (%0,3'e karşı %2-4) ve ayrıca daha yüksek özgül ısı (1,3 ile 1,7 kJ/kg K arasında) ile karakterize edilir. Nem, termal iletkenlik değerlerini olumsuz etkiler. XPS, EPS'den genellikle %10-30 daha pahalıdır. Geri dönüşüm ve yanma sorunlarıyla ilgili olarak EPS için de aynı sorunlar rapor edilmiştir [59-61].

Poliüretan [PUR veya PU]

PUR [53, 54, 57]), di- veya poliizosiyanat ile bir polieter poliol arasındaki ekzotermik reaksiyon yoluyla üretilir. Poliüretan panel üretmek için kullanılabilir ve boru kesitleri veya şantiyede köpük olarak genişletilebilir. Termal iletkenlik 0,022 ila 0,040 W/m K arasında değişir, yoğunluk 15 ila 45 kg/m³ ve özgül ısı 1,3 ila 1,45 kJ/kg K arasındadır [57, 62, 63]. Isı iletkenliği hücre boyutundan etkilenir ve hücre boyutu azaldıkça azalır [64]. Geri dönüşüm ve yanma konuları ile ilgili olarak, alev geciktirici PUR'lar son yıllarda çalışılıyor olsa bile EPS için de aynı sorunlar rapor edildiği için özellikle köpük şeklinde kullanımı yaygındır [65, 66].

Koyun yünü

Yapı yalıtım malzemelerinin üretiminde saf ve geri dönüştürülmüş yünler kullanılabilir. Bu lifler, polyester ile karıştırılabilir veya bir polipropilen ızgaraya sabitlenebilir [67-71]. Koyun yünü esaslı olarak elde edilen yalıtım malzemesi genellikle rulo halinde ticarileştirilir ve esnekliği, zeminlerde esnek malzeme olarak kullanılmasına izin verir (dinamik sertlik yaklaşık 5 MN/m³). Elde edildiği malzemeye göre koyun yünü esaslı yalıtım malzemelerinin yoğunluğu 10 ile 25 kg/m³ arasında, termal iletkenlik değerleri

0,038 ile 0,054 W/mK arasında ve özgül ısı değerleri 1,3 ile 1,7 kJ/kg K arasında değişmektedir. Bu nedenle koyun yünü malzemeleri kışın ısı yalıtımı için faydalı olsa bile, yaz koşullarındaki kararsız durumlar için performansları oldukça düşüktür. Bu malzemelerin akustik absorpsiyonları çok ilginçtir. Ballagh, 75 mm'lik kalınlıkta bir koyun yünü esaslı yalıtım malzemesi numunesi için 500 Hz'in üzerindeki frekanslar'da 0,8'den daha yüksek ses absorpsiyon değerlerini ölçmüştür. Aynı çalışmada, 6 dB'lik bir duvarın ses azaltma indeksini artırabilmesi sağlanmıştır [72].

Mevcut ticarileştirilmiş malzemelerle benzer akustik performans elde edilebileceğini belirtmiştir. Zach ve ark. çeşitli kalınlık ve yoğunluktaki koyun yünü temelli yalıtım malzemesi örneklerinin termal, akustik ve higro-termal performansını değerlendirdi. Beklendiği gibi, nem içeriği ne kadar yüksek olursa, termal iletkenlik o kadar yüksek olur (0,036'dan 0,081 W/m K'ye). Test edilen koyun yünü temelli yalıtım malzemesi numuneleri, yüksek higroskopik (su emme, nem çekme) değerleri (%35'e kadar) ile karakterize edilmiştir [73]. Yünün yüksek higroskopikliği, bu malzemeyi optimal bir nem düzenleyici yapar. Yapı uygulamasında kullanılmadan önce koyun yünü alev geciktirici, güve önleyici ve parazit öldürücü maddeler ile muamele edilmelidir. Koyun yünü temelli yalıtım malzemesi yeniden kullanılabilir, geri dönüştürülebilir, çöplükte stoklanabilir veya kompost üretimi için kullanılabilir. Kompost üretimi için kullanımı, koyun yünü temelli yalıtım malzemesi içindeki plastikler yünden ayrılabiliriyorsa mümkündür.

2. BIM (BİNA BİLGİ MODELLEMESİ)

Binalar için dış duvar tasarım kararları ve bunların enerji performansı üzerindeki etkileri arasındaki karşılıklı ilişkinin anlaşılmasını sağlayan çeşitli yeteneklere sahip farklı enerji simülasyon yazılım paketleri mevcuttur. Bina tasarımının karar sürecine başarılı bir şekilde yardımcı olmak için enerji simülasyonunun kullanılması, gerçekçi koşullar altında tasarım seçeneklerinin ve karmaşık ikilemlerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlayarak, istenilen yönde optimum seçeneği elde etmeyi başarabilir [74].

BIM şu anda mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörünün öne çıkan trendlerden biridir. BIM, bina tasarımlarını, inşaatlarını ve yönetimini daha yenilikçi bir şekilde dönüştürmeyi destekleyen ileri teknoloji ve sistematik bir süreç olarak kabul edilir ve bina analizi için kullanılabilecek standartlaştırılmış bir süreçtir [75]. Gelişmiş ülkelerin çoğunda BIM, inşaat sektöründe artan talebi nedeniyle bina projelerinde zorunlu kılınmıştır [76]. BIM, bir binanın temel, fiziksel ve içsel yönlerini tasarım aşamasında değerlendirebilmektedir. Kısaca, gelecekte konumlandırılacak binanın grafiksel tasvirini erken aşamalarda sağlayan bir sistemdir. Şu anda dünyada BIM'in faydaları çoğunlukla tasarım için kullanılmaktadır. İnşaat ve tesis yönetimi gibi diğer bölümlerle birlikte hibrit planlamalarda daha az kullanılmaktadır. Ayrıca, dünyada BIM hizmetleri sunan şirketler bunu yüksek fiyatlara aldıkları için hizmet sunumuda pahallıdır. Bu engel, BIM'in benimsenmesi ve daha az yaygınlıkta kullanılmasının başlıca sebebidir.

BIM ile ilgili teknolojiler, veri ile birlikte çalışabilirliği ve bu verilerin yapıya entegrasyonunu geliştirerek bina tasarımını geliştirmek için değerli araçlar olarak kabul görmüştür [77]. BIM, bir dizi CAD çiziminden oluşan zengin bir havuzdur. Bir BIM modeli, çok disiplinli bilgileri ve binaların özelliklerini depolayarak dijital ve grafiksel olarak oluşturulabilir. BIM, bir BEM (Bina enerji modellemesi) oluşturmak için gereken bilgileri paylaşarak ve dışa aktararak, modelleme ve yeniden oluşturma sürecini kısa sürede gerçekleştirebilir. Proje tasarımını hızlandırırken daha fazla tasarım yinelemesine izin vererek mimari modelden elde edilen verilerin erken aşamalarda analiz edilmesini ve kullanılmasını sağlar [78].

Bu çalışmadaki prosedür için ortak terim BIM-BEM'dir. BEM için BIM'in kullanımı, tasarım uygulamasında yeni bir gelişmedir. BIM-BEM uygulamasının başarısı, iki önemli yönün dikkate alınmasına dayanır: süreç ve teknoloji [79, 80]. BEM, herhangi bir yapının enerji bilgileri ile oluşturulmaktadır. Bu model, HVAC (Heating Ventilating and Air Conditioning) sistemleri, aydınlatma, ısıtma, soğutma ve yalıtım sistemleri gibi parametrelerle enerji harcamalarını hesaplayan simülasyon modelidir. Enerji modeli oluşturma sırasında, yapıya ilişkin tasarım parametreleri, iklim ve çevre yapıları gibi çevresel etkenler, enerji yükleri (soğutma, ısıtma, aydınlatma ve iklimlendirme) ve elektrik yükleri ile yenilenebilir enerji kaynakları göz önüne alınmalıdır. Bina enerji modeli bu verileri enerji maliyetleri ve kullanıcı konforu gibi ölçütlerle birlikte hesaplama imkânı sunabilir. Enerji simülasyonunda BIM uygulamasının avantajları; maliyeti düşürme, enerji modelini oluşturma zamanını kısaltma, malzeme ve teçhizat özelliklerini belirleme ve geleneksel yöntemlere göre insan hatasını azaltma bulunmaktadır [81].

Bina bilgi modelleme yapım odaklıyken, bina enerji modeli yapı elemanlarının özelliklerine ve birbiri ile ilişkilerine odaklanmaktadır. BIM ve BEM farklı odakları olmasına rağmen aynı tipte veri saklama özelliklerine sahiptir. Bu nedenle de birlikte çalışabilmesi etkin tasarımların elde edilmesi açısından oldukça faydalıdır.

Kumar (2008) BIM ve BEM arasındaki birlikte çalışabilirliği araştırmıştır. Çalışmada olarak BIM yazılımlarının özellikle Autodesk Revit Architecture Simulation programı'nın IES ve Ecotect gibi analiz programları ile birlikte çalışabilmesi konusunu ele almıştır. Araştırmada DXF, IFC, VE gbXML olarak üç ortak dosya formatı denenmiştir. Araştırmada gbXML BIM ve BEM arasında bilgi aktarımı açısından en tercih edilen format türü olduğu belirlenmiştir. BIM ve BEM arasındaki işbirliği henüz gelişmektedir.

BIM metodolojisi, sürdürülebilirlikle doğrudan veya dolaylı olarak bağlantılı olabilecek şekilde, bina oryantasyonu, bina yığınlama analizi, gün ışığı analizi, su kullanımı analizi,, yenilenebilir enerji, enerji modellemesi, sürdürülebilir malzemelerle ilgili farklı tasarımları geliştirerek sonuçların değerlendirmesi gibi farklı analizleri gerçekleştirebilir [82].

Yani BIM, bina yönlendirme, bina form analizi, enerji ihtiyaçlarının azaltılması ve diğer yenilenebilir enerji seçeneklerinin belirlenmesi, sürdürülebilir malzemeler kullanarak ve israfı ve karbon ayak izlerini azaltarak malzeme gereksiniminin azaltılması gibi çeşitli

sürdürülebilir tasarım özelliklerini destekleyebilir.

BIM, yapının olası enerji kazanımını veya kaybını bulmak, kavramsal tasarım aşamasında kendi sürdürülebilirliğini kısa sürede tespit etmek ve tahmin etmek için enerji analizi uygulamasını desteklemek için özel olarak yapılmıştır. Böylece proje tesliminin en başında, mal sahibi ve proje ekibi sürdürülebilirlik değerlendirmesine başlayabilmektedir.

BIM, tekrar tekrar test etme, analiz etme ve iyileştirme yeteneği göz önüne alındığında sürdürülebilir tasarımlar için güçlü bir uygulamadır. Bu analiz günümüzde, BPA (Bina Performans Analizi) olarak da adlandırılmaktadır [83]. Şu anda sektörde Ecotect, IES VE, Green Building Studio (GBS), EnergyPlus, Equest vb. gibi Revit, ArchiCAD, Bentley, Graphisoft vb. BIM yazılımları ile birlikte kullanılabilen birçok enerji analiz aracı bulunmaktadır.

Ayrıca BIM, tasarım, inşaat, işletme ve bakım ve yıkım aşamaları dahil olmak üzere bina projesinin yaşam döngüsü boyunca dijital bilgileri oluşturmak ve koordine etmek için uygulanan modern bir yaklaşımdır [84]. BIM aracılığıyla yönetilen bilgilerin birçok kullanımı, bina yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarında karar verme, tasarım iyileştirme, maliyet hesaplamaları, belge yönetimi, performans yönetimi ve operasyonel yönetimi içermektedir [85]. Bu nedenle BIM, bir binanın yapısal bilgilerinin kapsamlı bir veritabanı olarak kabul edilmektedir ve onu yalnızca yapısal bir model değil, aynı zamanda bir bilgi teknoloji aracı yapmıştır [86]. Erken tasarım aşamalarındaki hataları doğru inşaat programları, inşaat sıralaması, çakışma tespiti ve karmaşık projeleri kolaylaştırma ile düzeltme yeteneğide yaygın olarak kullanılmaktadır [87].

2008'de Krygiel ve Nies [88], bir projenin sürdürülebilirlik düzeyini iyileştirmek amacıyla BIM'in uygulanabileceği ana yönleri otomatik ve doğru malzeme listesi ve maliyet tahminleri yapma, kaynak kullanımının azaltılması, inşaat/yıkım/rehabilitasyon atık yönetimi, proje değişikliklerinin otomatik güncellenmesi, yalın inşaat tekniklerinin uygulanmasını kolaylaştırma olarak sıralamıştır.

BIM teknolojilerinin kullanımı, özellikle yüksek performanslı binaların verimli bir şekilde geliştirilmesine ve dolayısıyla daha sürdürülebilir olanlara izin vererek, geleneksel uygulamaları değiştirme potansiyeline sahiptir [89, 90].

Bu yüzden, sanal bir platform aracılığıyla birden fazla paydaş arasında iyileştirilmiş gerçek zamanlı koordinasyon, daha iyi koordinasyon nedeniyle hataların azalmasına yol açabileceğinden, BIM'in büyük bir avantajıdır [91]. BIM'in sağladığı gelişmiş iletişim ve işbirliği, mimarların, mühendislerin, sözveyörlerin, müteahhitlerin, bina sahiplerinin, tesis yöneticilerinin ve tedarikçilerin birlikte çalışma biçiminde değişikliklere yol açmıştır. BIM, bir bina projesiyle ilgili binanın fiziksel ve işlevsel bilgilerini aynı anda paylaşmayı, değiştirmeyi ve bunlara erişmeyi kolaylaştırdığından, bir projedeki paydaşların çalışmaları basitleştirmiştir ve verimli hale getirmiştir. Son yıllarda BIM'in, sürdürülebilir tasarımlar için insanların bir binanın yaşam döngüsü boyunca elde edebileceği teknik çıktıları gözlemleyebilmesi ile son kullanıcıların özellikle yeşil alternatifleri seçme konusunda ilgisini çekmeyi başarmadaki katkısı oldukça önemlidir [92].

Kısacası BIM, bir binanın arzu edilen nitelikte tasarımı için her bir çözümün veya alternatif tasarımın analizine ve sonuçlarına sahip olmak için ilk tasarım aşamalarında stratejileri ve analiz sonuçlarını karşılaştırmaya olanak tanır. Paydaşlar ve tasarımcılar, her bir alternatifin sonuçlarının tam bir netliği ile daha etkili bir karar verme sürecine sahip olacaklardır. Mimari, en iyi sürdürülebilir analizin alternatif tasarımına göre yerleşecek ve ilerleyecektir. Daha sonraki tasarım aşamalarında, yalıtım, kaplama vb. gibi sürdürülebilir malzeme türlerinin kullanılması ve kapı, pencere vb. sürdürülebilir yapı bileşenlerinin uygulanması, daha iyi değerlere ve metriklere ulaşmada yapıda daha fazla iyileştirme sağlayacaktır.

2.1. Autodesk Revit Architecture Simulation Programı

Günümüz şartlarında BIM işleyişi ile çalışan birçok bilgisayar yazılımı vardır. Bentley Microstation, Graphisoft Archicad, DDS-CAD, Nemetschek Allplan, IDEA Architectural, VectorWorks, Tekla Structures, Autodesk Revit gibi yazılımlar tasarımcılara, inşaat mühendislerine, mimarlara, mal sahiplerine ve proje yöneticilerine doğru karar ve çözümler üretmede destek olmaktadır. Özellikle ArchiCAD, Bentley Microstation, VectorWorks Architect ve Autodesk Revit sektörde bir adım öne çıkmaktadır.

Autodes Revit 3 boyutlu modelleme amacıyla kullanılan bina bilgi modelleme yazılımıdır. Bu yazılım ile 3 boyutlu model oluşturmak amacıyla farklı pencere, duvar ve çatı gibi yapı bileşenleri kullanılmaktadır. Bina modelleme ve kavramsal tasarım desteği ile serbest formlardan hızlı ve kolay geometri yaratmayı sağlar. Karmaşık modeller oluşturmak ve

bunları bina bilgi modeline dönüştürmek için yerleşik araçlar içermektedir. Sınırlama ve parametre atayabilme gibi fonksiyonları ile kontrol imkanı yüksektir. Hem tasarım evresinde hem de son ürünün analiz edilmesi için birçok araca sahiptir. Autodesk Revit programında 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünüşler ve metraj listeleri aynı bina veritabanından oluşmaktadır. Kullanıcılar herhangi bir görünüşte çalışırken Revit programı bina için gerekli olan verileri toplar ve bina bilgi sisteminde saklayarak projenin tamamına yansıtır. Projenin bir evresinde veya bir bölümünde yapılan herhangi bir değişiklik direkt olarak tüm listelere ve paftalara yansıtılabilir.

Autodesk Revit'in bazı öne çıkan özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [93]:

- Kolay geometri yaratma, parametre atayabilme, sınırlama ilişkileri ve kavramsal tasarım gibi özellikleri sayesinde yüksek hassaslık ve kontrol imkânı sağlamaktadır.
- Yapının oluşumunu sağlayan nesneler stil tabanlı ve parametrikdir. Kullanıcılar tarafından özelleştirilebilme imkânı sunar.
- Sağladığı araçlar ile üreticiler kendi ürünlerini tasarlayarak mühendisler, mimarlar ve tasarımcıların kullanımına sunar.
- Yazılım geliştirme arayüzü sayesinde ileri modelleme araçları ve teknikleri sunmaktadır. Karmaşık formüller kullanılarak yaratılabilen eğriler kullanılarak oluşturulan formlar, kullanılan formüllerde yapılan değişiklikler ile kontrol edilebilir ve bununla birlikte geometriler oluşturulabilir.
- Yapay ışık ve günışığı çalışmaları yapılabilir.
- Katı modelleme araçları sayesinde karmaşık nesneler ve kütle çalışması yapılabilir.
- Çeşitli araçlar sayesinde ekip çalışmalarını kolaylaştırır. Kullanıcılara, projede diğer kullanıcıların çalışmalarını bozmadan çalışabilme imkânı sunar. Projenin merkezi dosyasının verileri de Revit ile koordine edilebilmektedir.

GBS (Green Building Studio) enerji simülasyonu yapmak amacıyla DOE-2 motorunu kullanan web tabanlı uygulamadır. GBS binanın enerji kullanımı, su kullanımı,

malzemelerinin maliyetleri, karbon ayak izi ve daha fazlası hakkında bilgi vermektedir. Tasarım alternatiflerini yan yana karşılaştırarak hızlı tasarım kararı alma imkânı sunmaktadır. Diğer bina enerji simülasyonu programlarından daha basit bir arayüzü bulunmaktadır. Bina parametreleri bu web tabanlı arayüzde kolaylıkla değiştirilebilir. Farklı termal değeri olan bir malzeme veya binanın yöneliminin değiştirilmesi ya da HVAC sistemindeki değişikliklerin yapılabilmesi uygulamalara örnek olarak verilebilir. GBS ve Revit uygulaması arasındaki bilgilerin geçmesine izin veren köprü olarak gbXML formatı kullanılmaktadır. Analizi yapılacak modelde parametre tanımlaması yok ise, simülasyon yapmak için gerekli olan minimum bilgileri içeren bir enerji modeli oluşturmak için GBS varsayılan bir değer kullanır. Bu akıllı değerler bina büyüklüğüne, tipine ve konumuna uygundur. Bu varsayılanlar öncelikli olarak ASHRAE 90.1, ASHRAE 90.2, ASHRAE 62.1 ve CBECS verilerine dayanmaktadır. Bunlar bina konumu, bina tipi ve kat sayısı ile değişmektedir. GBS farklı bina özelliklerini otomatik olarak test ederek potansiyel bir enerji tasarrufu çizelgesi oluşumu sağlar. Bu sayede enerji kullanımında hangi alternatiflerin en iyi etkiyi yaratacağı konusunda rehberlik sağlamaktadır. GBS ve Revit arasındaki entegrasyon sayesinde çoğu mimar, tasarımcı ve mühendis için binaları tasarlamak için kullanılan analizi kolaylaştırmıştır [94].

2.2. Yeşil Binalar ve BIM

Son yıllarda birçok ülke, mimari gelişimde önemli rol oynayan yeşil bina uygulamalarını hayata geçirmeye yönelik çalışmalarını arttırmıştır. Bu çalışmaların en önemli aşamalarından birisi olan, Kyoto Protokolü 1997'de önerilmiş ve 16 Şubat 2005'te başlatılmıştır. Bu, insanlık tarihinde ilk kez sera gazı emisyonlarının düzenlenmesiydi. Protokol, küresel sanayileşmiş ülkelerden gelen antropojenik sera gazı emisyonlarını hammadde geliştirme, üretim ve enerji tüketimi açılarından kontrol etmek için çeşitli yöntemler önermiştir. İlk aşamada sera gazı emisyonlarının 1990'daki miktarına göre 2008'den 2012'ye kadar olan miktarının %5,2 oranında azalmasını içermekteydi. Küresel ölçekte sera gazı emisyonlarını azaltmak için, Aralık 2009'da Danimarka'nın Kopenhag kentinde düzenlenen COP 15 zirvesi, gelişmiş ülkeleri geliştirmekte olan ülkelere bu konuda mali destek sağlamaya yönelik olması açısından oldukça önemli bir adımdır. Bu zirve özellikle bu konuda ülkeleri politikalar formüle etmeye teşvik etmesi açısından dikkat çekmiştir. Kopenhag anlaşması 1 Ocak 2010'da yürürlüğe girmiştir. Yeşil bina kavramını pratik ve işler hale getirmek için gelişmiş ülkeler, 1990'dan 2005'e kadar dünya çapında

çeşitli özellikleri uyarlayabilen yeşil bina derecelendirme sistemlerini kurmuştur [95].

Yeşil bina ile ilgili diğer bazı çalışmalarda, bilim adamları karbon emisyonunu etkileyen ana faktörleri analiz etmiş ve enerji tüketimini azaltmak için karşılık gelen önlemleri önermiştir [96-100]. Bazı araştırmacılar enerji ve inşaat ortamına odaklanmış ve enerji verimliliğini ve iç mekan termal ortamını analiz etmişlerdir [101-103].

Yakın zamanda yapılan diğer bilimsel araştırmalara göre, BIM'in yeşil bina sertifikasyonu elde etmede yardımcı olma yeteneği de kanıtlanmıştır.

Yeşil BIM olarakta adlandırılan bu uygulama, bina performans değerlendirmesi ve sürdürülebilirlik tasarım değerlendirmeleriyle ilgili verileri yönetmek için BIM'i kullanma süreci olarak tanımlanmıştır [104]. Yaşam döngüsü boyunca bina enerji verimliliğini optimize etmeye yönelik seçenekleri belirlemek için bina modelleme yoluyla enerji analizi, Yeşil BIM kapsamına dahildir. Ayrıca Yeşil BIM, temel karbon emisyon kaynaklarının değerlendirilmesini kolaylaştırarak düşük karbon yatırımlarıyla ilgili karar vermeyi desteklemektedir [105]. Bu nedenle, Yeşil BIM tabanlı bir yaklaşımla inşaat sonuçlarının tahmini, profesyonellerin yaşam döngüsü boyunca çevre üzerindeki etkisini en aza indirmelerine olanak tanımıştır.

BIM, binanın enerji performansının geometrik modellemesi için olduğu kadar inşaat projelerinin yönetimi için de kullanılabilir [106]. Örneğin, Froese (2010), tüm bir binayı modellemek için BIM'i kullanmış ve bina yerinde inşa edilmeden önce simülasyonlar yoluyla onu sanal olarak inşa etmiştir [107]. BIM'in yardımıyla yeşil yapıyı çevreyi kolaylaştırmak hem akademi hem de endüstride büyük ilgi görmektedir [108].

Örneğin binaların enerji verimliliği, yaşam döngülerinde sürdürülebilirliği karakterize eden unsurlardan biridir. Santos et al. [109], enerji performansı değerlendirmesi ve sürdürülebilirlik değerlendirmesi (Yeşil BIM) için veri sağlamak üzere BIM kullanımının Net Sıfır Enerji binalarına yönelik entegre tasarım, inşaat ve bakım kılavuzluğu sağlayabileceğini doğrulamaktadır. Yeşil BIM, yaşam döngüsü boyunca enerji verimliliği seçeneklerini belirlemek için enerji performansı ile ilgilenen bina enerji modellemesini içermektedir.

Wu ve Issa [110] tarafından belirtildiği gibi, yeşil BIM, binaların sürdürülebilir sonuçlarını iyileştirmek için yeşil hedeflere ulaşılmasına yol açan BIM ve yeşil binanın sinerjisidir. Benzer şekilde, Wong ve Zhou [111], Yeşil BIM'i, iyileştirilmiş bina performansları elde etmek amacıyla BIM araçlarının kullanımı olarak ifade etmişlerdir. Yeşil BIM, çevre üzerindeki etkisini yansıtan yapı modeli ve simülasyonlarla entegre edilmiştir ve potansiyel veri işleme hatalarını ortadan kaldırırken performans analizini iyileştirmeyi desteklemiştir [112].

Biswas ve ark., tasarım kararlarının çevresel sonuçlarını değerlendirmek için yeşil binaların derecelendirilmesi ve sertifikalandırılması için BIM teknolojisini içeren bir araç geliştirmişlerdir [113]. Barnes ve Castro-Lacouture, LEED derecelendirme sisteminde Autodesk Revit kullanılarak doğrudan alınabileceğini öne sürmüşlerdir [114]. Azhar ve ark., Autodesk Revit veya IES Virtual Environment'in BIM yazılımını benimseyerek bina performansının değerlendirilebileceğini bulmuştur. Ayrıca, Azhar et al., BIM tabanlı sürdürülebilirlik analizleri için kavramsal bir çerçeve sunmuştur [115]. Wu ve Issa, bazı çevre ve enerji ile ilgili performans belgelerinin değerlendirilmesini kolaylaştırmada bilgi omurgası olarak BIM'e dayalı bir üçüncü taraf web hizmeti önermiştir [116]. İlhan ve Yaman, çevre ve enerji ile ilgili performans değerlendirmesi için bir vaka çalışması ile BIM kullanılarak dijital olarak tasarlanan binaların çevresel değerlendirmesini tanımak için 3D simülasyon transfer süreçlerinin uygulanabilirliğini incelemişlerdir [117].

Wong ve Fan [118] tarafından tanımlandığı gibi, BIM, bir bina tasarımını doğrulama ve bina inşaatlarını ve hem yeni inşaatların hem de modernize edilmiş veya yenilenmiş binaların performanslarını simüle etme yeteneğine sahip çeşitli bilgisayar yazılımı veri modelleri ile geliştirilmiştir. BIM, karar verme için alternatif yaklaşımları değerlendirme yeteneğini sağlarken tüm inşaat sürecini iyileştirir [119]. Kymmell [120] ayrıca, paydaşlar arasında güçlü bir iletişim ve paylaşılan ağ oluştururken maliyet ve inşaat süresinden tasarruf sağlanacağından, binaların performans analizi için BIM'in dahil edilmesinin tüm paydaşlardan fayda sağlayacağını açıklamıştır. BIM, son yıllarda bilgi teknolojisi gelişmelerinin en son dönüşümlerinden kaynaklanan modernize bir teknoloji olarak açıkça tartışıldığından, bina sahipleri ve tesis yöneticileri, BIM'i yeşil binalar ve sürdürülebilir stratejilerle entegre etme konusunda daha fazla ilgi duymaktadır [118]. Sonuç olarak, Motawa ve Carter [121], BIM'in yeşil binaların performansını iyileştirmede kilit bir rol oynadığını kanıtlamıştır. Bu nedenle, 'Yeşil BIM' günümüzde bina inşaat endüstrisinde

popüler bir kavramdır [122]. Yeşil BIM, enerji performans değerlendirmesi ve sürdürülebilirlik değerlendirmeleri için veri sağlamak için BIM'in uygulaması olarak kabul edilmiştir [123, 124]. Sürdürülebilir ve yeşil stratejilerin değerlendirilmesi ile Yeşil BIM'in önemi, inşaat sektörü tarafından yalnızca etkili kararlar verme yeteneği nedeniyle değil, aynı zamanda sürdürülebilir tasarım ve inşaat ile birlikte enerji verimliliğini artırmak için enerji modelleme ve enerji optimizasyonları ile uğraşma yeteneği nedeniyle önemli ölçüde kabul edilmiştir. Ayrıca Yeşil BIM, BIM, yeşil bina sertifikasyon protokolü ve çevresel olarak sürdürülebilir tasarım ve uygulamalara dayalı entegre bir süreç olarak tanımlanabilir [125]. İlhan ve Yaman tarafından tanımlanan Yeşil BIM, daha sürdürülebilir bakış açıları için yükselen bir trend olarak tartışılmaktadır [126].

BIM'in yeşil konseptle entegrasyonu ve işbirliği, çevreye olumsuz etkilerin ortadan kaldırılmasını sağlarken, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir binaların geliştirilmesine yol açmaktadır. Yeşil BIM teknolojisi sadece tasarım ve inşaat için değil aynı zamanda mevcut binaların işletilmesi ve bakımı için de geçerlidir. Yeşil bina konsepti günümüzde yükselen bir trend olmasına rağmen, Yeşil BIM'in kullanımı sadece yeni yeşil bina geliştirmeleri için sınırlıyken, Yeşil BIM kullanarak mevcut yeşil binaların enerji tüketimini optimize etmek için büyük bir potansiyelinin mevcut olduğu birçok çalışmada rapor edilmiştir [127]. Lin ve arkadaşları ayrıca, binaların enerji tüketimi için daha fazla Yeşil BIM değerlendirmesi yapma olasılığının olduğundan da bahsetmiştir [128]. Malezya'da Yeşil BIM üzerine yapılan bir araştırma, bina sahiplerinin karşı karşıya olduğu ve Yeşil BIM kullanımıyla ortadan kaldırılabilecek birçok komplikasyon olduğunu ortaya koymuştur [129]. Maskil-Leitan ve Reyhav [130], etkin yeşil bina projeleri için Yeşil BIM kullanımına yönelik uygulama önlemlerinin gerekli olduğundan da bahsetmiştir.

Chong ve ark., sürdürülebilirlik için mevcut son teknoloji BIM gelişimini belirlemek için karma bir inceleme sunduğunu belirtmiştir [131]. Sonuç olarak, çeşitli proje aşamalarında BIM'in kullanımı konusunda önemli miktarda araştırma ve geliştirme yapılmasına rağmen, sürdürülebilirlik gereksinimleri göz önünde bulundurularak yenileme ve yıkımda nasıl uygulanabileceği konusunda çok az çalışma yapıldığı görülmektedir. Shadram ve ark., tasarım kararlarını destekleyen ve Çevresel Ürün Beyanları (EPD'ler) tedarikçilerine dayalı olarak yapı malzemeleri tedarik zinciri ile ilişkili somutlaştırılmış enerjinin değerlendirilmesini sağlayan BIM tabanlı bir çerçeve sunmaktadır [132].

Ahmat ve ark., sürdürülebilirlik başarılarına odaklanan süreçleri, sistemleri, teknikleri ve malzemeleri (PSTM) seçmek için fütüristik bir BIM tabanlı Tasarım Yineleme (BIM-DIT) aracının kavramsal çerçevesini daha da geliştirmiştir. BIM-DIT aracı için kullanılan PSTM kombinasyon seçim yaklaşımının, gerçekten sürdürülebilir bina projeleri elde etmek için mevcut seçenekler hakkında kesin bilgi sahibi olan karar vericilere yardımcı olacağını göstermiştir [133].

Bina cephelerinin yeşil performansına odaklanan araştırmalar, enerji tüketimini en aza indirmeyi ve iç mekan termal konforunu sağlamayı amaçlamaktadır.

Lin ve ark., yeşil binalar için Çin standardını ve güçlendirme stratejilerini simüle eden bina enerji verimliliği tasarım standardını dikkate almak için Çin'de bulunan bir yeşil binadaki termal kütle, yalıtım ve diğer tasarım değişkenlerinin farklı kalınlık değişkenlerine odaklanmıştır [134].

Fonseca ve ark. bir konut binasına yalıtım cephe malzemeleri olarak harici EPS ve XPS eklenmesinin enerji tasarrufu, termal konfor ve maliyet tasarruflarını değerlendirmeyi simüle etmiştir [135].

Huang ve ark., enerji ve maliyet tasarruflarını belirlemek için Çin'deki gerçek bir konut binasını simüle ederek diğer güçlendirme yaklaşımlarına ek olarak bir harici vakum yalıtım paneli eklemiştir [136].

Bellia ve ark. İtalya'da bir üniversite binasında enerji yenileme önlemlerini tanımak ve uygulamak maliyet ve çeşitli optimum güçlendirme senaryolarına ek olarak 12 cm'lik yalıtım malzemelerinin (EPS ve taş yünü) dahil edilmesinin iyileştirilmesinin değerlendirilmesini yapmıştır [137].

El-Darwish ve ark., enerji tüketimini en aza indirmek için Mısır'daki bir yüksek eğitim binasına iç yalıtım malzemesi olarak EPS'yi eklemiştir [138].

Mahdi et al., enerji tüketimini en aza indirmek, iç mekan termal konforunu sağlamak ve Mısır'da üç farklı iklim bölgesinde düşük gelirli konut konutları için üç farklı dış duvar tipini değerlendirmiştir [139].

Alnaser ve ark. Bahreyn Krallığı'nda iki büyük binayı sürdürülebilir binalara dönüştürmek için kullanmıştır. Rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve fotovoltaik hücrelerden elde edilen toplam enerjiyi binalarda kullanmıştır. Ayrıca sürdürülebilir bina endeksini hesaplamak için bir model geliştirmiştir. Araştırmalarını, yenilenebilir enerji politikaları, yenilenebilir enerji eğitimi, binaya entegre rüzgar türbin projeleri, çevre bilinci ve bina ile entegre fotovoltaik projeleri için teşvikler üzerinde yoğunlaşmıştır [140, 141].

Yi-Kai Juan ve ark., mevcut bir ofis binasının ön tasarımlarını değerlendirmek ve optimal bir dizi, yenileme maliyeti, iyileştirilmiş bina kalitesi ve çevresel etkiler arasındaki dengeleri göz önünde bulundurarak sürdürülebilir yenileme eylemi önermek için entegre bir karar destek sistemi geliştirmiştir [142].

Chang ve ark., yeşil bir binada yeşil çatılar kullanarak su tasarrufu ve enerji tasarrufu için optimal bir tasarım geliştirmiştir [3].

Taleb ve Sharples, yakın gelecekte sürdürülebilir konut binaları sağlamak için kılavuzlar oluşturmak amacıyla Suudi Arabistan'daki mevcut konutların enerji ve su tüketimi uygulamalarını değerlendirmiştir [143].

Mwasha ve ark., bina kabuğunun sürdürülebilir performansını modellemek için sürdürülebilir temel enerji performans göstergelerini araştırmaya odaklanmıştır [4].

Bina cephelerinin performansını artırmayı hedefleyen bir çalışmalar ile, düşük katlı ticari binalar için Montreal hava koşullarına (soğuk iklim bölgesi) göre farklı duvar sistemlerini Bulanık önlemler kullanarak değerlendirmiştir [144].

Wu ve ark., sürdürülebilir bir bina tasarlamak için enerji tüketimi, iç çevre kalitesi ve dış duvar yalıtımı ve pencere-duvar alan oranı dahil yaşam döngüsü maliyetini göz önünde bulundurarak yeşil binalar için bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir [145].

Yaşam döngüsü değerlendirmesini kullanarak çevresel etkileri azaltmak için yapı yeşil malzemelerini hedefleyen çalışmalar yapılmıştır.

Ben-Alon ve ark., geleneksel malzemeler (beton duvar ve ahşap duvar) için alternatif bir duvar konstrüksiyonu (toprak koçan) kullanılmasını önermiştir ve koçan konstrüksiyonunun çevresel performansını yaşam döngüsü perspektifinden tanımlamıştır [146].

Dekkiche ve ark. tarafından farklı duvar sistemlerinin küresel ısınma potansiyeli ve fosil yakıt tüketimi temelinde yaşam döngüsü değerlendirmesi kullanılarak incelenmiştir [147].

Vilçekova ve ark., enerji ve karbon açısından dış duvarlar için farklı yapı malzemelerini analiz ederek karşılaştırmalı olarak rapor etmiştir [148].

Performans ve yeşil bina gereksinimlerini karşılayan cephe malzemelerinin seçimi diğer çalışmalarda değerlendirilmiştir.

Farahzadi ve ark., enerji ile ilgili olarak geleneksel ve alternatif çevre dostu yapı malzemelerinin kullanımını karşılaştırmıştır [149].

Tipik bir konut binasında enerji tüketimi ve karbondioksit üretimi için yaşam döngüsü değerlendirmesi simülasyon ve bina bilgi modellemesi (BIM) kullanılarak farklı iki çalışmayla araştırılmıştır. Her iki çalışmada da bina enerji tüketimi ve çevresel etkilerin optimize edilmesi incelenmiştir [150, 151].

Balalı ve ark., bina cepheleri için en sürdürülebilir akıllı malzemeyi seçmek için SPSS yazılımını ve AHP yöntemini kullanarak teknik, ekonomik, sosyal, çevresel ve enerji tüketimi kriterlerine dayalı olarak cepheler için altı akıllı malzemenin ağırlıklarını ve göreceli önemini belirlemiştir [152].

Musavi ve ark., çevresel etkiler, yaşam döngüsü maliyeti, performans ve sosyal faydalar açısından AHP'ye dayalı beş cephe malzeme sistemi arasında en sürdürülebilir alternatifi sınıflandırmıştır [153].

Mostavi ve ark., bir ofis binasındaki 65 farklı malzemedan oluşan bir veri tabanını göz önünde bulundurarak yaşam döngüsü maliyeti, çevresel etkiler ve kullanıcı memnuniyetine dayalı optimum tasarımı belirlemiştir [154].

Leo ve ark., yüzey ve iç hava sıcaklıkları ve termal konfor açısından çevre dostu, dayanıklı ve uygun maliyetli yapılarla inşa edilen sekiz binanın termal performansını analiz etmiştir [155].

Gomaa ve ark., bir dış duvar için simülasyon kullanarak çevre dostu olanla geleneksel bir malzemeyi değiştirirken enerji tüketimini, karbon emisyonunu ve termal konforunu araştırmıştır [156].

Jalaei et al. sürdürülebilirlikle ilgili maliyetleri tahmin etmek için yeşil binaların tasarım aşamasında entegre bina bilgi modellemesi ve derecelendirme sistemini entegre ederek kullanmıştır [157].

2.3. Autodesk Revit-2021 Architecture Simulation Programı Destekli Enerji Analizi

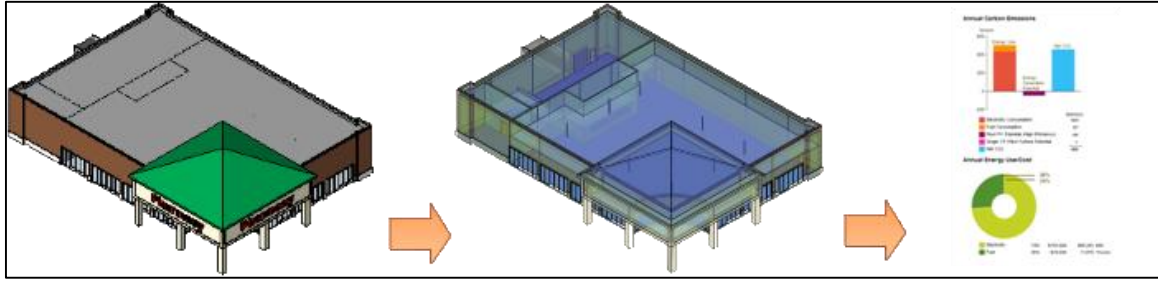
Son yıllarda bina projelerinin tasarım aşamasında bilgisayar destekli analizler yardımıyla enerji performansları ve çevresel etkileri hakkında fikir sahibi olunabilir. Tasarlanan veya mevcut bir binanın tercih edilen farklı kombinasyonlarla enerji etkinliği tespit edilerek en uygun alternatif belirlenebilir. Autodesk Revit-2021 Architecture Simulation programı bazı ek yazılımları birlikte kullanarak binaların enerji performans analizini yapabilir.

Bu amaçla öncelikle tasarlanan proje Revit üzerinde modellenir. Sonra bu modellemeden alınabilen tüm geometrik veriler ilave yazılım araçlarını da kullanarak analiz yapılabilir. Modelleme üstünde zonlar oluşturularak gerçek zaman ile eşdeğer enerji performansı elde edilebilir. Modellemeye tanımlanmış ısı zonlarda yapıda kullanmak üzere seçilen ekipmanlara ve yapı bileşenlerine göre analizi yapılan binanın enerji performanslarını belirlememize yardımcı olacak verilere ulaşılabilir. Bu sayede daha tasarım aşamasında iken herhangi bir parametrenin değiştirilmesi durumunda binanın enerji performansı açısından nasıl bir sonuç doğuracağı hesaplanabilir. Bir binanın projelendirilmesinin ilk aşamalarında kullanılması planlanan yapı veya yalıtım malzemelerinin, programda tanımlı değerleri kullanarak veya kullanıcı tarafından tanımlanan termal ve fiziki değerleri girdi olarak kullanmak suretiyle binaya entegre edilmesi durumunda yapının enerji simülasyonu yardımıyla sonuçlarındaki değişkenlik analiz edilebilir.

Binanın enerji analizini yaparken öncelikle doğru hazırlanmış bir modelleme önemlidir. Modellemede çatıların ve döşemelerin doğru sıralanmış katmanları, duvarların çatı ve döşemelerle bitişik olması, modellemenin konumlanacağı arazi ve binanın bu arazideki lokasyonu vb unsurlara ait tüm detaylar programa işlenmelidir. Binanın kullanım amacı, yüksekliği, yeri, yönlenmesi, ve kat sayısının yanında varsa binaya bitişik durumdaki diğer binaların üç boyutlu geometrisi belirtilmelidir. Hava verilerine ait bilgilendirmenin dikkate alınması için uygun konum girdisi önemlidir. Analizi yapılacak binanın çatı, giydirme cephe, duvar, döşeme, temel, pencere, kapı ve gölgelenme elemanlarının da kapsayan modellemeyle bu elemanlara ait detaylı sınırları ve özellikleri netleştirilmiş mekanlar yaratılmalıdır. Tüm bahsedilen kriterlere dayalı oluşturulan modelleme gbXML formatında kaydedildikten sonra bir bina enerji analizi programı yardımıyla bina enerji performans analizi elde edilebilir [158].

2.3.1. Bina enerji modellemesi (BEM)

Autodesk Revit-2021 Architecture Simulation programı kullanılarak proje üzerinde belirtilen tüm pencereler, duvarlar, zeminler çatılar vb yapı bileşenleri, boşluklar, boşlukları çevreleyen binanın diğer bileşenleri ile odaların sınırlamaları oluşturulduktan sonra bir binanın enerji analizine geçilebilir. Bir binanın enerji modellemesi, bina yapısal düzeninin ve genel şeklinin hesaplamalı olarak bir ağda soyut olarak gösterilmesidir. Genel bakış açısıyla, Revit üzerinde yapılan bir enerji modellemesinin ana amacı, bina için kullanılan enerjiyi optimize etmektir. Bir projenin tasarım sürecine ait ilk aşamalarda kavramsal kütleler kullanılıp binanın enerji analizi de yapılabilir. Ancak tasarım geliştikçe yapıda kullanılacak yapı-yalıtım malzemeleri ve bileşenlerine ait teknik bilgiler girdi olarak simülasyona eklenir. Bu sayede binanın enerji performansıyla ilgili ayrıntılı bilgiler elde edilebilir. Tasarım boyunca uygulanması düşünülen malzeme detaylarıyla belirli aralıklarla yapılan enerji analizleriyle bina modellemesinin sürdürülebilirlik açısından optimum dereceye ulaşması mümkündür [158]. Şekil 2.1’de bir binanın enerji analizi için aşamaları gösterilmiştir [159].



Şekil 2.1. Bir binanın enerji analizi için aşamaları

Bir bina enerji modellemesi mevcut bir binanın enerji açısından ne kadar etkin olduğunu veya proje aşamasında tasarlanacak olan bir binanın enerji açısından ne kadar etkin olacağını gösterir. Bir bina enerji modellemesi aynı zamanda binanın bazı kullanım kriterlerini de ortaya çıkarır [159].

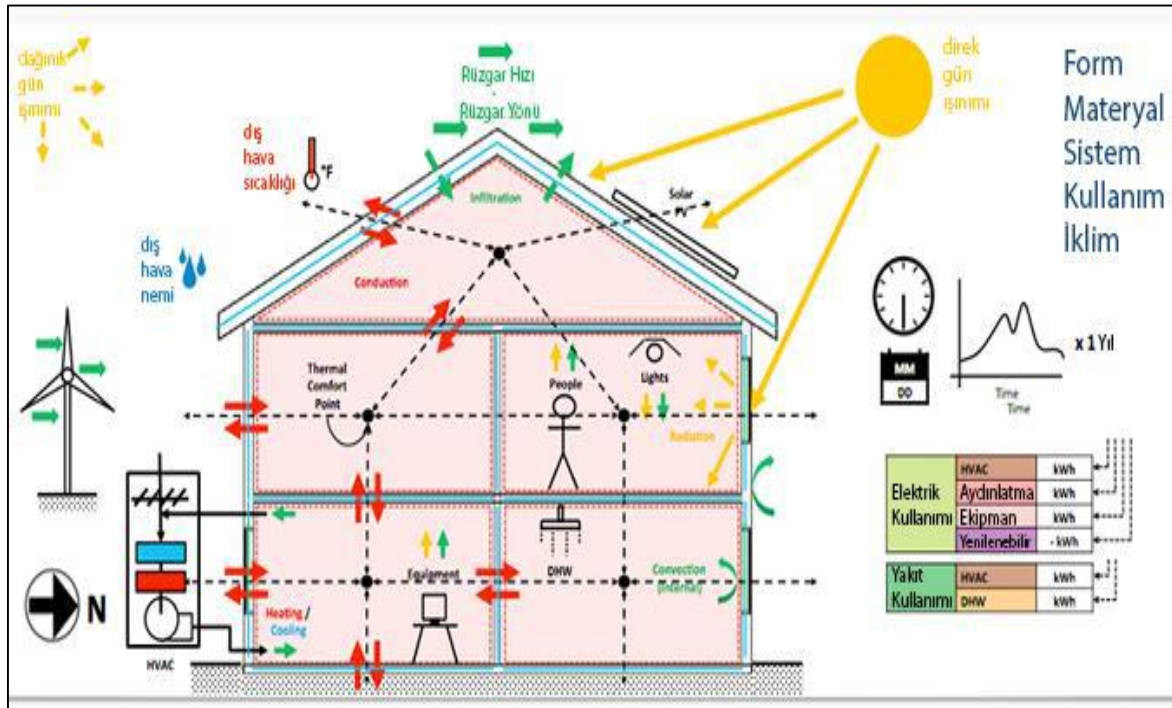
Bina enerji modellemesi elde edildikten sonra enerji performans analizini yapabilmek için kullanılan Autodesk Insight 360, DesignBuilder, DOE-2, EnergyPlus, Autodesk Green Building Studio (GBS), EQUEST, gibi farklı simülasyon programları vardır.

2.3.2. Autodesk Green Building Studio (GBS)

Autodesk Revit-2021 Architecture Simulation programından elde edilen bina modellemesine yapı bileşenlerinin fiziksel ve termal özellikleri, binanın konum bilgileri, binanın mekanik projelendirmesi ile ilgili bilgiler vb eklenerek Autodesk Green Building Studio üzerinde enerji analizi yapılabilir. Güneşlenme, gün ışığı ve iç mekan analizi yardımıyla oluşturulan zonlarda soğutma ve ısıtma yüklerinin analizi, elektrik enerjisi tüketimi, yakıt tüketimi, binada kullanılabilen enerji kaynaklarına göre yıllık yaşam-döngüsü, maksimum elektrik talebi, enerji tüketimi ve maliyeti ve karbondioksit emisyon çıktıları gibi enerji analizi sonuçları elde edilebilir [160].

Autodesk Green Building Studio ve XML bağlayıcıları, analiz araçlarını AutoCAD MEP, AutoCAD Architecture ve Revit Architecture simülasyon programları dahil olacak şekilde esas binanın bilgi modellemesine ait çözümler ile entegre eder. Bu özelliği yardımıyla, binanın enerji performansını analiz etmek ve tasarıma ait seçenekleri internet ortamında doğrulayabilmek için bina bilgi modellemesinde elde edilen daha elverişli sonuçları daha

etkin bir şekilde kullanılabilmeyle olanak tanır [161]. Autodesk Green Building Studio, DOE 2.2 enerji simülasyon motorunu kullanarak binanın enerji maliyetini ve kullanımını hesaplayabilir. Bir binanın formu (yönü, şekli, gölgesi, boyutu vb.), binanın enerji tüketim miktarını etkileyen ana faktörlerden birisidir. Bütün binanın enerji analizi, bina kullanımı, malzeme, form, sistem ve iklimsel olarak karşılıklı ilişkilerle bağlantılıdır. Şekil 2.2’de Green Building Studio yardımıyla yapılabilen simülasyon analizlerinde kullanılan veriler gösterilmiştir [162].



Şekil 2.2. Autodesk Green Building Studio yardımıyla yapılabilen simülasyon analizlerinde kullanılan veriler

Bir binanın yalıtım, cam, beton, vb. tüm yapı malzemeleri belirli ısı dirence ve ısı-nem depolama yeteneğine sahiptir. Bu özellikleri binanın soğutma ve ısıtma enerjilerini etkiler.

Binaya ait tüm malzemelerin belirli fiziksel özellikleri (ısı iletkenlik, yoğunluk ve özgül ısı kapasitesi) ve bahsedilen malzemelerin pencereleri, çatıları, duvarları gibi bileşenleri oluştururken ne şekilde binaya entegre edildiklerini dikkate alarak binanın enerji simülasyonunu yapar.

Autodesk Green Building Studio 'da binanın enerji simülasyonunu yapabilecek; mekan-oda unsurları, kavramsal kütle öğeleri, bina elemanları olarak 3 ana iş akışı vardır.

- Mekan-oda unsurları olarak Autodesk Revit-2021 Architecture Simulation programında bütün bir yapı modellemesi kullanılmak suretiyle binanın enerji modellemesi oluşturulur.
- Kavramsal kütlenin analizi için Autodesk Vasari veya Autodesk Revit'de oluşturulabilen kavramsal kütlenin yardımıyla oldukça hızlı şekilde binanın enerji analizi yapılarak sonuçlar elde edilebilir. Daha sonra modelleme gbXML şeklinde dışa aktarılmak suretiyle Autodesk Green Building Studio 'da binanın analizi elde edilebilir.
- Bina bileşenleri olarak döşeme, çatı, duvar vb. bileşenlerine ait malzemelerin termal ve fiziksel olarak belirli özelliklerinin modellemeye girdi olarak eklenmesi gerekir. Daha sonra binanın enerji modellemesi meydana getirilerek Autodesk Green Building Studio'da binanın enerji analizi elde edilebilmektedir [163].

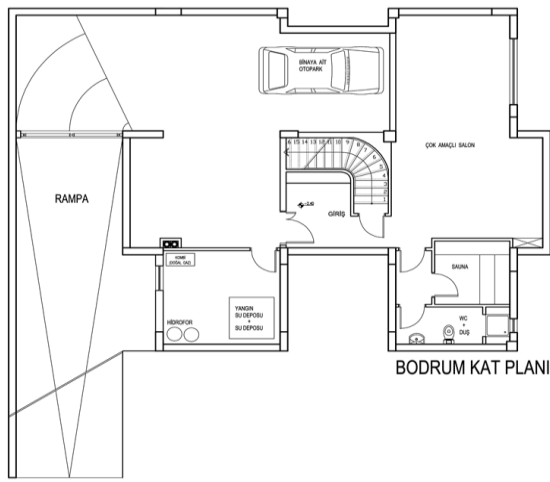
2.4. Enerji Analizlerinde Oluşabilecek Sınırlamalar

- Sürdürülebilirliği analiz etmek için geliştirilen yazılım yapısı, BIM modelinin gbXML gibi çeşitli formatlarda harici bir yazılım penceresine aktarılmasını gerektirir. Bu, güvenilir bina performans analizi sonuçlarıyla sonuçlanan çoklu veri girişleri nedeniyle veri kaybına ve hatalara neden olabilir.
- Binanın işletme aşamasındaki karbon emisyon değeri analizden elde edilebilse de, yapı malzemelerinin üretimi ve nakliyesi, inşası, kullanımı, ve yıkım teknolojileri sırasında üretilen emisyon değerleri dahil edilmemiştir.
- Analiz, yıllık enerji kullanımının ve 30 yıla kadar yaşam döngüsü enerji kullanımının sonuçlarını üretir. Ancak, önerilen metodoloji kullanılarak analiz edilemeyen, sırasıyla malzeme üretimi ve yıkım gibi bir binanın yaşam döngüsünün diğer aşamalarında yer alan somutlaştırılmış enerji ve yıkım enerjisi gibi başka enerjiler de vardır. Bunları hesaba katamaz
- Ayrıca, bina modeline ve dolayısıyla analize dahil edilemeyen çeşitli yeşil faktörler vardır. Örneğin, belli fiziksel ve termal özelliklere sahip boyalar, yapıştırıcılar, dolgu macunları vb. gibi düşük emisyon yayan malzemelerin kullanımı analize eklenemez. Bu aslında sonuçlarda farklılık yaratabilir [164].

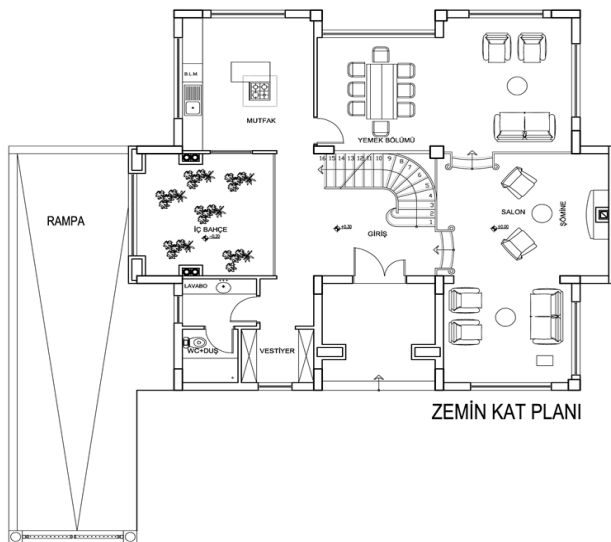
3. ANKARA İLİNDE ÖRNEK BİR VİLLANIN BIM DESTEKLİ ENERJİ PERFORMANSI ANALİZİ

3.1. Binanın Projelendirilmesine Ait Detaylar

Ankara ilinde mevcut bir villanın BIM temelli modellemesini elde etmek amacıyla örnek villa için kullanılan proje detayları Şekil 3.1’de ve bu örnek villanın genel bilgileri Şekil 3.1’de verilmiştir.

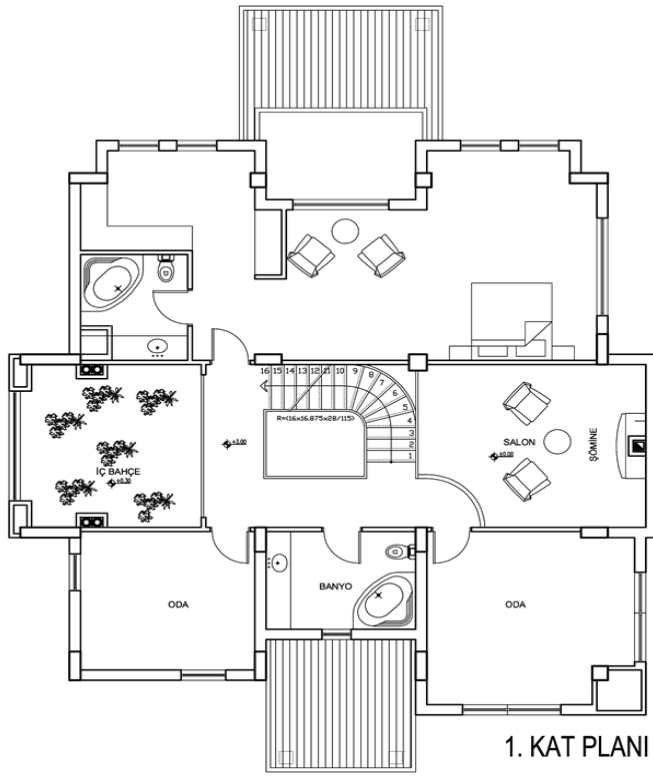


(a)

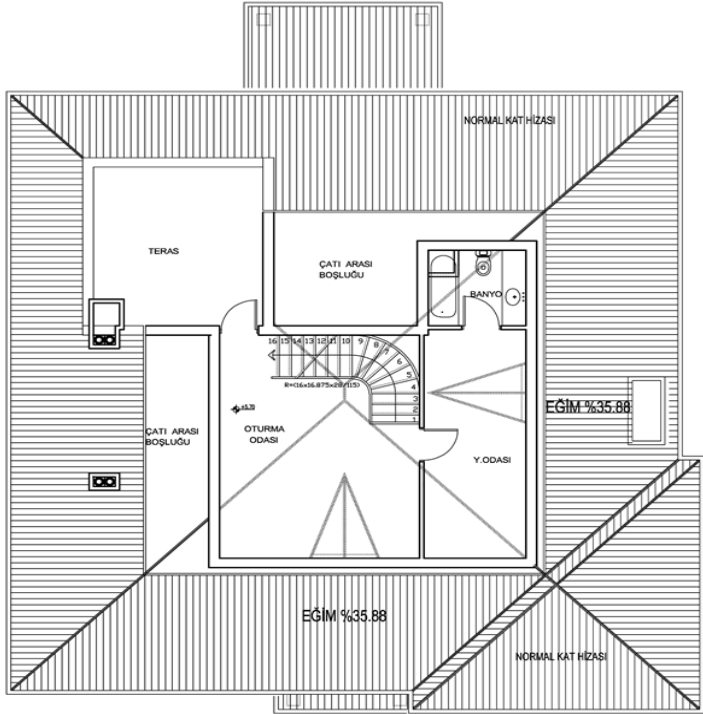


(b)

Şekil 3.1. (a) ve (b) Bina bilgi modellemesini elde etmek amacıyla örnek villa için kullanılan proje detayları



(c)



(d)

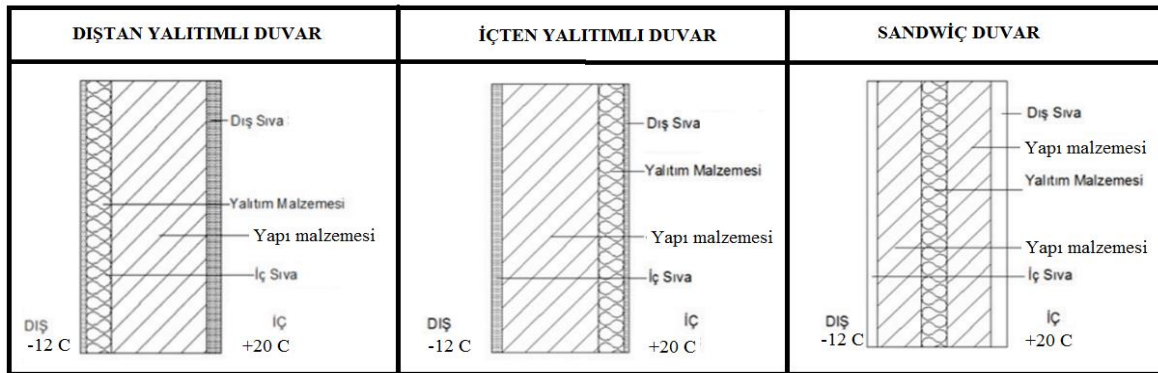
Şekil 3.1. (devam) ; (c) ve (d) Bina bilgi modellemesini elde etmek amacıyla örnek villa için kullanılan proje detayları

Çizelge 3.1. Örnek villanın genel bilgileri

BİNA BİLGİLERİ	
Taşıyıcı Sistem:	Betonarme
Kat Adedi:	Bodrum+Zemin+1. Kat+Çatı Katı
Bodrum Kat Yüksekliği:	2,40 m
Zemin Kat Yüksekliği:	2,70 m
1.Kat Yüksekliği:	2,70 m
Toplam Bina Alanı:	1,210 m ²
Toplam Bina Net Alanı:	1,055 m ²

3.1.1. Analizde kullanılan duvar yapıları ve malzemelerin özellikleri

Şekil 3.2’de analizi yapılan bina kabuğu tipleri gösterilmiştir. Analizde dıştan yalıtımlı, içten yalıtımlı, ve sandviç duvar yapısı için $54 \times 3 = 162$ farklı senaryo oluşturulmuştur. Genel olarak duvar yapısına ait tüm senaryolarda; içten dışa boya (0,1cm), iç sıva (0,20 cm), yalıtım malzemesi (6 cm), yapı malzemesi (25 cm), dış sıva (0,25 cm) ve boya (0,1cm) katmanları kullanılmıştır. Sandviç duvarda ise iki katman olarak kullanılan yapı malzemesi için toplam kalınlık 25 cm (12,5 cm + yalıtım kalınlığı + 12,5 cm) olacak şekilde tüm duvar tipleriyle dengeli analiz sonucu verecek şekilde bina kabuğu oluşturulmuştur. İlk 162 alternatif senaryonun analizi yapıldıktan sonra elde edilen sonuçların 3 farklı duvar yapısına göre elektrik enerjisi tüketimi bakımından en olumlu ve en olumsuz alternatif senaryolar belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen bu alternatif senaryolara en dış duvar katmanı olarak yeşil duvar eklenerek oluşturulmuş en olumlu grup Tip 163, Tip 164, Tip 165 ve en olumsuz grup Tip 166, Tip 167 ve Tip 168 analiz edilmiştir.



Şekil 3.2. Analizi yapılan örnek villanın bina kabuğu tipleri

Çizelge 3.2’de analizde kullanılan çatı, yapı ve yalıtım malzemelerinin simülasyonda girdi olarak kullanılan değerleri verilmiştir [46, 165].

Çizelge 3.2. Analizde kullanılan çatı, yapı ve yalıtım malzemelerinin simülasyonda girdi olarak kullanılan değerleri

	Malzeme	Yoğunluk [kg/m ³]	Isı iletim katsayısı [W/(m·K)]
Çatı Malzemeleri	Kiremit çatı	1400	0,8100
	Asfalt shingle çatı	14	0,1900
	Yeşil çatı	--	--
Yalıtım Malzemeleri	Taşyünü	105	0,0390
	Cam yünü	56,5	0,0375
	Expand (genleştirilmiş) polistiren köpüğü (EPS)	34	0,0350
	Ekstrüde (şişirilmiş) polistiren köpüğü (XPS)	50	0,0300
	Poliüretan Köpüğü (PUR)	55	0,0230
	Koyun Yünü	30	0,0420
	Gözenekli Tuğla	700	0,2600
Yapı Malzemeleri	Gaz beton tuğla	700	0,2200
	Bims tuğla	700	0,1800

Analizde kullanılan yapı, yalıtım ve çatı malzemelere göre oluşturulan alternatif senaryolar ve Tip numaraları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Analizde kullanılan yapı, yalıtım ve çatı malzemelere göre oluşturulan alternatif senaryolar ve Tipleri

Tip	Duvar Türü	Duvar (İçten - Dışa(cm))						Çatı Türü
Tip-1	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-2	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-3	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-4	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-5	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-6	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-7	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-8	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-9	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-10	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-11	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-12	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-13	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı

Çizelge 3.3. (devam) Analizde kullanılan yapı, yalıtım ve çatı malzemelere göre oluşturulan alternatif senaryolar ve Tipleri

Tip-14	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-15	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-16	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-17	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-18	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-19	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-20	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-21	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-22	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-23	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-24	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-25	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-26	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-27	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı

Çizelge 3.3. (devam) Analizde kullanılan yapı, yalıtım ve çatı malzemelere göre oluşturulan alternatif senaryolar ve Tipleri

Tip-28	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-29	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-30	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-31	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-32	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-33	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-34	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-35	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-36	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-37	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-38	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-39	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-40	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-41	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı

Çizelge 3.3. (devam) Analizde kullanılan yapı, yalıtım ve çatı malzemelere göre oluşturulan alternatif senaryolar ve Tipleri

Tip-42	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-43	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-44	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-45	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-46	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-47	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-48	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-49	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-50	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-51	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-52	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-53	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-54	İçten Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-55	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı

Çizelge 3.3. (devam) Analizde kullanılan yapı, yalıtım ve çatı malzemelere göre oluşturulan alternatif senaryolar ve Tipleri

Tip-56	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-57	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-58	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-59	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-60	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-61	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-62	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-63	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-64	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-65	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-66	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-67	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-68	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-69	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı

Çizelge 3.3. (devam) Analizde kullanılan yapı, yalıtım ve çatı malzemelere göre oluşturulan alternatif senaryolar ve Tipleri

Tip-70	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-71	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-72	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-73	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-74	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-75	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-76	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-77	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-78	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-79	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-80	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-81	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-82	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-83	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı

Çizelge 3.3. (devam) Analizde kullanılan yapı, yalıtım ve çatı malzemelere göre oluşturulan alternatif senaryolar ve Tipleri

Tip-84	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-85	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-86	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-87	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-88	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-89	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-90	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-91	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-92	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-93	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-94	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-95	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-96	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-97	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı

Çizelge 3.3. (devam) Analizde kullanılan yapı, yalıtım ve çatı malzemelere göre oluşturulan alternatif senaryolar ve Tipleri

Tip-98	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-99	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-100	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-101	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-102	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-103	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-104	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-105	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-106	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-107	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-108	Dıştan Yalıtımlı	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-109	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-110	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-111	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı

Çizelge 3.3. (devam) Analizde kullanılan yapı, yalıtım ve çatı malzemelere göre oluşturulan alternatif senaryolar ve Tipleri

Tip-112	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-113	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-114	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-115	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-116	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-117	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-118	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-119	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-120	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-121	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-122	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-123	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-124	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-125	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı

Çizelge 3.3. (devam) Analizde kullanılan yapı, yalıtım ve çatı malzemelere göre oluşturulan alternatif senaryolar ve Tipleri

Tip-126	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Kiremit Çatı
Tip-127	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-128	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-129	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-130	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-131	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-132	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-133	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-134	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-135	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-136	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-137	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-138	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-139	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı

Çizelge 3.3. (devam) Analizde kullanılan yapı, yalıtım ve çatı malzemelere göre oluşturulan alternatif senaryolar ve Tipleri

Tip-140	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-141	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-142	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-143	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-144	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Shingle Çatı
Tip-145	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-146	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-147	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-148	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-149	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-150	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Tuğla (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-151	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-152	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-153	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı

Çizelge 3.3. (devam) Analizde kullanılan yapı, yalıtım ve çatı malzemelere göre oluşturulan alternatif senaryolar ve Tipleri

Tip-154	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-155	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-156	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Gazbeton (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-157	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Taş Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-158	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Cam Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-159	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	EPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-160	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	XPS (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-161	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Poliüretan Köpüğü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı
Tip-162	Sandviç	Boya (0,10)	Sıva (3,00)	Koyun Yünü (6,00)	Bimsblok (25,00)	Sıva (3,00)	Boya (0,10)	Yeşil Çatı

3.2. Analizi Etkileyen Çevresel ve İklimsel Faktörler

Autodesk Revit Architecture Simulation Programı, bina tasarımı için binanın varsayılan şehir grafiğini kullanırken, seçilen konumun boylam ve enlem koordinatları, 2005 ASHRAE Temelleri El Kitabından türetilen 4400 + Dünya Meteoroloji Örgütü'nün mevcut hava durumu istasyonu veritabanıyla karşılaştırılır. Hava durumu verileri ile birlikte en yakın Dünya Meteoroloji Örgütü meteoroloji istasyonu seçilir ve değerler iklim bölümünde görüntülenir. Yani, hava verilerini değerlendirmek için aşağıdaki iklim parametrelerini kullanır; ıslak ve kuru termometre sıcaklığı, dağınık ve doğrudan güneş, hakim rüzgarlar ve bağıl nem vb.

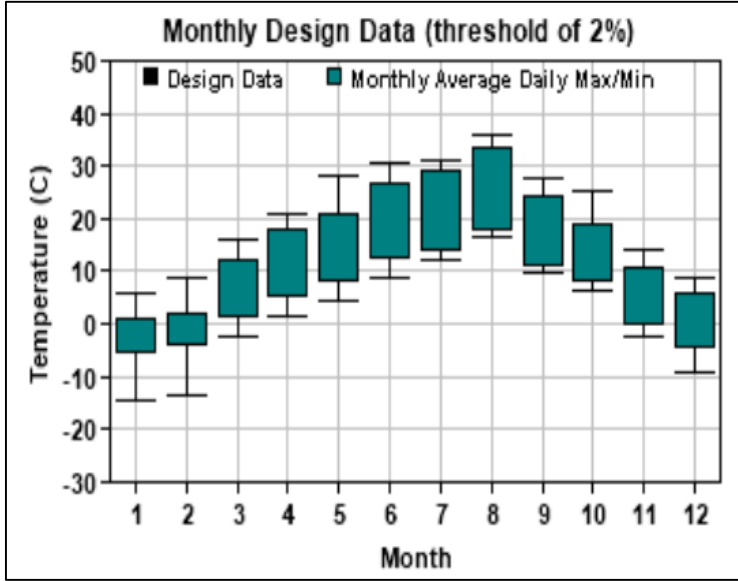
Cooling Degree Day		Heating Degree Day	
Threshold	Value	Threshold	Value
18.3 °C	431	18.3 °C	2993
21.1 °C	199	15.6 °C	2308
23.9 °C	63	12.8 °C	1725
26.7 °C	11	10 °C	1234

Annual Design Conditions				
Threshold	Cooling		Heating	
	Dry Bulb(°C)	MCWB(°C)	Dry Bulb(°C)	MCWB(°C)
0.1 %	36.3	17.5	-15.4	-15.5
0.2 %	35.7	17.3	-14.9	-15.0
0.4 %	34.4	17.6	-13.5	-13.9
0.5 %	33.9	17.3	-13.1	-13.5
1 %	32.5	17.0	-10.6	-10.9
2 %	31.1	16.3	-8.2	-8.8
2.5 %	30.6	16.4	-7.6	-8.2
5 %	28.5	16.2	-5.0	-6.0

Şekil 3.3. Analizi yapılan bina konumuna göre ısıtma-soğutma derece gün değerleri ve yıllık tasarım şartları

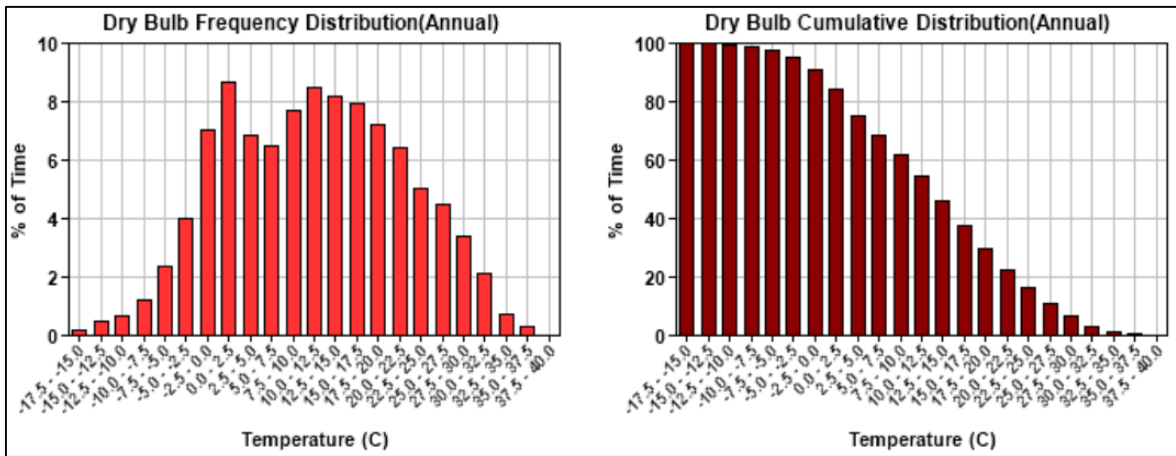
Bir binanın enerji performans analizinde etkili ve önemli bir belirleyicilerden biri, soğutma ve ısıtma derecesi günleridir. Şekil 3.3’de analizi yapılan bina konumuna göre ısıtma-soğutma derece gün değerleri ve yıllık tasarım şartları Autodesk Green Building Studio programı üzerinden alınarak gösterilmiştir.

En pratik ve basit indekslerden biri olan derece-gün indeksi, bina konfor şartlarını sağlamak için ihtiyaç duyulan enerjiyi belirlemede faydalanan parametrik değerdir. Isıtma ve soğutma derece-gün değerlerinin ölçümü, binanın, bölgenin ve şehrin termal ihtiyaçlarının doğru ve net bir şekilde hesaplamasını sağlayabilir. Aynı zamanda termal konforun korunmasında ve enerji tüketimi modellerinin geliştirilmesinde de yapıcı bir role sahiptir [166]. Kışın binayı soğutmak ve ısıtmak için gereken enerji miktarını hesaplamak için temel veri olarak soğutma ve ısıtma için ortalama derece-gün ihtiyacının ölçümü ve tahmini, enerji tüketim planlamasının bir fonksiyonudur [167].



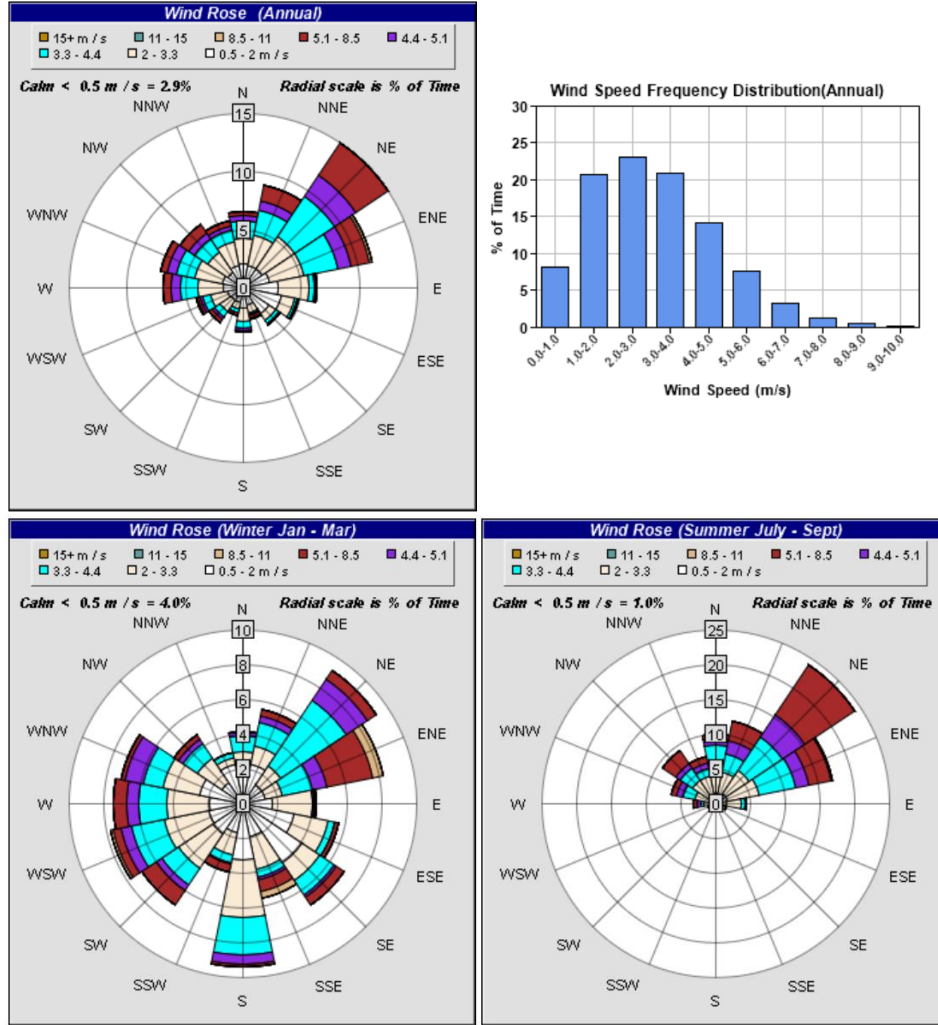
Şekil 3.4. Analizde bina konumuna göre aylık tasarım verileri (%2'lik eşik)

Eşik grafikleri, çok yönlü motive edilmiş bir grafik sınıfını gösterir. İklimsel ve termal konforu sağlamaya uygun eşik sıcaklıklarının belirlenmesi, insanların binadaki refahı için gerekli ve hayatidir. En yaygın derece-gün ölçümü türü, iç mekan soğutma ve ısıtma ile ilgili eşiklere bağlıdır. İnsan konforu için ortalama sıcaklığın maksimum ortalama sapması, eşik seviyesinin günlük sıcaklığı olarak bilinir. Minimum sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda atmosferin soğutulması, havanın ise minimumun altındaki sıcaklıklarda ısıtılması gerekir. Bunlar, soğutma ve ısıtma gereksinimleri olarak bilinir [167, 168]. Aylık tasarım verileri (%2'lik eşik) Şekil 3.4'de Autodesk Green Building Studio programı üzerinden alınarak gösterilmiştir.



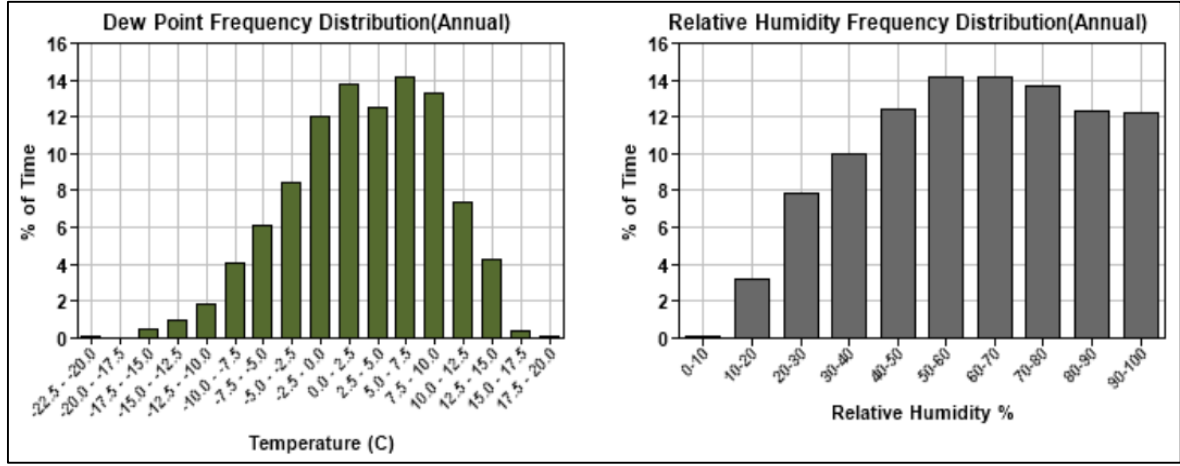
Şekil 3.5. Analizde bina konumuna göre kuru termometre sıcaklığı frekans dağılımı ve kuru termometre sıcaklığı kümülatif dağılımının etkisi

Ankara ili için, bina performans analizinde temel alınan kuru termometre sıcaklığı frekans dağılımı ve kuru termometre sıcaklığı kümülatif dağılımının etkisi Autodesk Green Building Studio programı üzerinden alınarak Şekil 3.5'da verilmiştir. Burada bölgedeki hava sıcaklığı değeri belirlenirken radyasyon ve nem gibi etkenler dikkate alınmaksızın ölçüm işlemi yapılmıştır.



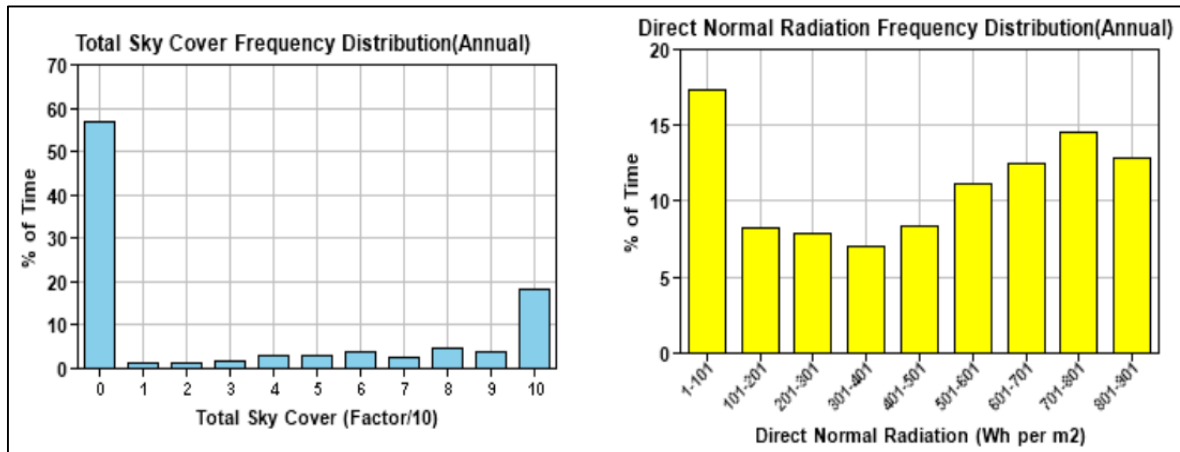
Şekil 3.6. Analizde bina konumuna göre rüzgar etkisi

Rüzgar, doğal havalandırmayı teşvik eder ve yazın serinlemek için pasif bir yöntemdir. Ankara ili için, analizdeki rüzgar etkisi Autodesk Green Building Studio programı üzerinden alınarak Şekil 3.6' da verilmiştir. Bu şekil, yıllık birincil rüzgar yönünün yoğunlukla kuzeydoğu yönünde olduğunu göstermektedir. Analiz sonuçları buna bağlı olarak, kış döneminde Ankara ili ikliminde genellikle kuzeydoğu-güney yönlü rüzgar estiği, yaz döneminde ise çoğunlukla kuzeydoğu yönünden en hakim rüzgarı sergilediğini göstermektedir.



Şekil 3.7. Analizde bina konumuna göre çiy noktası frekans dağılımı ve bağıl nem frekans dağılımı (yıllık)

Analizdeki etki çiy noktası frekans dağılımı ve bağıl nem frekans dağılımı (yıllık) Şekil 3.7'de Autodesk Green Building Studio programı üzerinden alınarak gösterilmektedir. Biyoklimatik iyileştirmelerin seçimi Ankara'nın iklim analizine ve duyarlılık çalışmasına dayanmaktadır. Bu duyarlılık, çiy noktası frekans dağılımı ve bağıl nem frekans dağılımına bağlı olarak belirlenmektedir. Bu simülasyon sonuçları, soğutma talebini optimize ederken ve binanın HVAC maliyetini en aza indirirken, bina sakinleri için daha fazla konfor sağlayan çiğlenme noktası ve nem seviyesini izleyerek binaya şartlandırılmış hava dağıtımını düzgün bir şekilde kontrol etmek için önemlidir.



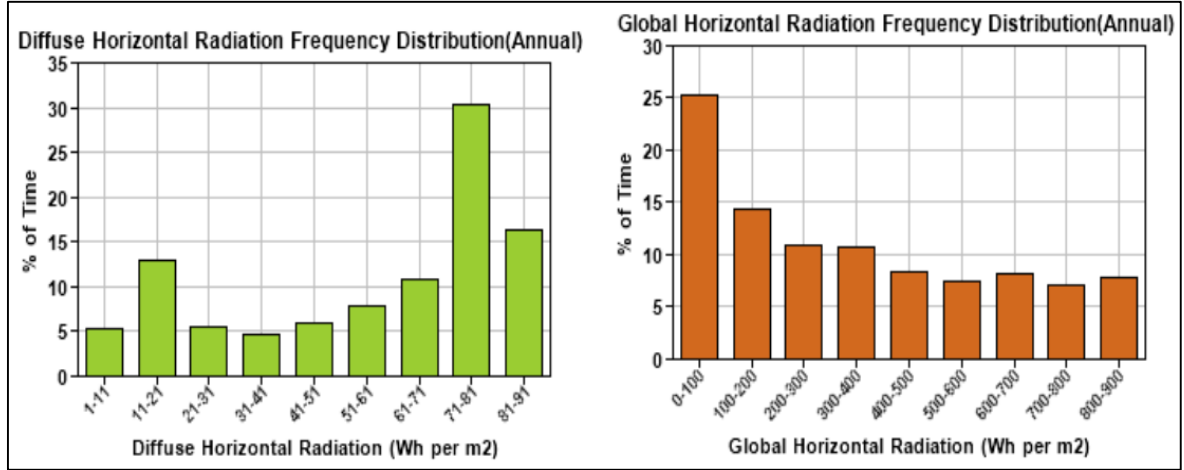
Şekil 3.8. Analizde bina konumuna göre toplam gökyüzü örtüsü frekans dağılımı ve doğrudan normal radyasyon frekans dağılımı (yıllık) etkisi

Gökyüzünde bulutların kapladığı alana gökyüzü örtüsü denir. Hesaplama için gökyüzünün bulutlarla kaplı yüzdesinin belirlenmesi gerekir. Gözlem sırasında, bu hesaplama ile

bulutların gökyüzünü tamamen kaplamayan alanları eklenir. Klimatoloji gözlemlerinde gökyüzündeki toplam alanın 10/10 olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle 0'dan 10'a kadar bir ölçek kullanılır. Bu ölçeğe göre 0 değeri bulutsuz bir gökyüzünü, 10 değeri ise tamamen bulutlarla kaplı bir gökyüzünü temsil etmektedir. Gökyüzünde hafif bulut izleri gözlemlendiğinde 1'in gökyüzü örtüsü kaydedilir. Bu nedenle, gökyüzünün 1/10'undan daha azı bulutlarla kaplı olmalıdır. Öte yandan, gökyüzü neredeyse tamamen bulutlarla kaplandığında 9'luk bir gökyüzü örtüsü kaydedilir. Bu durumda, gökyüzü bulutların arasından sadece biraz görülebilir. Gökyüzündeki diğer bulut miktarları için skalanın uygun bir seviyesi (2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8) kaydedilebilir. Gece için ise gökyüzü örtüsü, bulutlarla kaplı yıldızların oranına göre belirlenir. Gözlemcinin sis, kar fırtınası gibi doğa olaylarının etkisinde kalması durumunda, gökyüzünün örtülen kısmının tahmin edilememesi nedeniyle gökyüzü örtüsü 10 olarak kaydedilir. Burada incelenen binanın enerji tasarrufu analiz yapılırken, Revit çerçevesinde dikkate alınan yıllık toplam gökyüzü örtüsü frekans dağılım değerleri doğru bir değerlendirme için oldukça önemlidir.

Analizde toplam gökyüzü örtüsü frekans dağılımı ve doğrudan normal radyasyon frekans dağılımı (yıllık) etkisi Autodesk Green Building Studio programı üzerinden alınarak Şekil 3.8'de sunulmaktadır.

Doğrudan normal radyasyon, her zaman normal (veya dik) tutulan bir yüzey tarafından birim alan başına güneşin yönünden doğrudan gelen ışınlarla elde edilen güneş ışıınımı miktarıdır [169]. Güneş ışıınımına ilişkin güvenilir veriler, enerji verimliliği simülasyonunun en önemli girdisi olarak önceden sağlanmalıdır. En faydalı güneş ışıınımı verileri küresel yatay ışıınımdır, ancak yaygın yatay ışıınım veya doğrudan normal ışıınım da önemlidir. Örneğin, bir güneş hücresinin veya güneş kollektörünün yüzeyindeki radyasyon, küresel yatay radyasyona ek olarak ya dağınık yatay radyasyon veya doğrudan normal radyasyon sağlandığında tanımlanır [170]. Bu çalışmada, simülasyon programı bu üç radyasyon değerini kullanmaktadır. 12 aylık bir süre boyunca ne kadar doğrudan güneş ışığının mevcut olduğunu gösteren doğrudan normal radyasyon frekans dağılım tablosundan faydalanılarak analiz sonuçları hesaplanmaktadır.



Şekil 3.9. Analizde bina konumuna göre etki eden diffüz ve global yatay radyasyon frekans dağılımları (yıllık)

Analizdeki etki diffüz ve global yatay radyasyon frekans dağılımları (yıllık) Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Yatay bir yüzey tarafından yeryüzüne yukarıdan yayılan toplam kısa dalga radyasyonu miktarı global yatay radyasyondur. Bu, fotovoltaik tesisler için özellikle ilgi çekicidir ve hem yatay yayılan radyasyonu hem de normal doğrudan radyasyonu içerir. Dağınık yatay radyasyon, güneşten doğrudan bir yol üzerinde gelmeyen, ancak atmosferde parçacıklar ve moleküller yoluyla yayılan ve her yönden eşit olarak gelen güneş ışınımıdır. Özünde, mavi gökyüzüne ve bulutlara ulaşan ışıktır [170].

Enerji analizinde uygun hava durumu verilerinin seçilmesi, enerjinin daha iyi tahmin edilmesini sağlar. Tasarım aşamasında hava verileri (tipik-meteorolojik-yıl) kullanılarak simülasyon sonuçlarının güvenilirliği araştırılmıştır. Hava durumu verilerine ek olarak, diğer gerçekçi gelişme hususlarının tartışılması gerekmektedir. Cihazın sıcaklığı ve açısı da elektrik üretiminin çıkışını etkiler. BIM tabanlı enerji ölçümü bu açıdan kullanılması uygundur [171-173].

3.3. Ankara İlinde Mevcut Bir Villanın Enerji Analizi

Autodesk Revit-2021 Architecture Simulation Programı, binaların modellemesi üzerinden form, yerleşim, yön, aydınlatma, gölgelenme, gün ışığı, rüzgar, ve akustik gibi birçok analizin yapılması için gereken verileri sağlayabilecek bir tasarım ortamı oluşturmaktadır.

Autodesk Green Building Studio simülasyon programı ise enerji performansını değerlendirmek için belli parametreleri temel alarak enerji raporları oluşturmaktadır ve

planlamacılar tarafından enerji performansı açısından en etkin alternatif senaryonun seçilmesine imkan tanımaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle tüm proje detayları dikkate alınarak Autodesk Revit-2021 Architecture Simulation Programı üzerinde Ankara ilinde mevcut bir villanın modellemesi yapılmıştır. Autodesk Revit Architecture Simulation Programı üzerinde bu villa için oluşturulan modelleme daha sonra Autodesk eklentisi olan Green Building Studio programı aracılığıyla enerji performansı parametreleri analiz edilmiştir.

3.3.1. Ankara ilinde mevcut bir villanın üç boyutlu bina bilgi modellemesinin yapılması

Ankara ilinde mevcut bir villanın proje detayları Autodesk Revit-2021 Architecture Simulation Programı üzerine işlenerek analizi yapılmak istenen villanın modellemesi oluşturulmuştur.

Modelleme oluşturulurken proje boşluklarından kaynaklanan bir analiz hatasına sebep olmamak için model üzerinde herhangi bir boşluk kalmayacak şekilde proje programa aktarılmıştır.

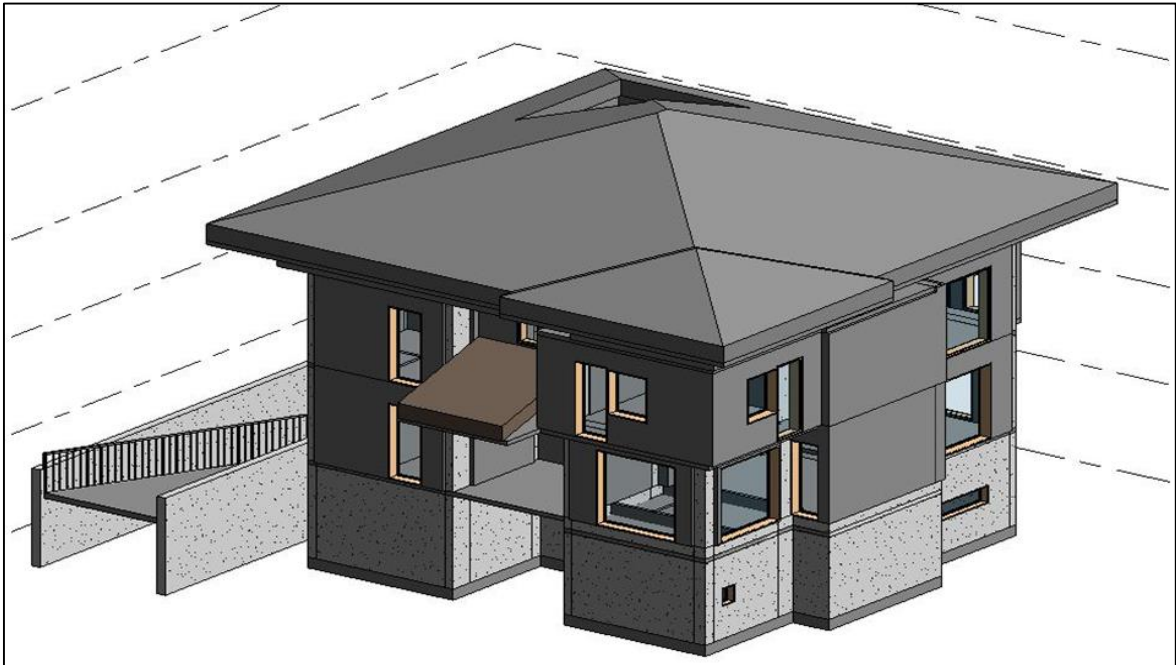
Mevcut inşa durumunda kullanılan malzemeler ve alternatif olarak düşünülen malzemeler Revit üzerinde mevcut malzemeler arasından seçilerek programa aktarılmıştır. Revit kütüphanesi içeriğinde olmayan tüm malzemeler fiziksel ve termal özellikleri ile ‘Materials’ sekmesi altından programa girdi olarak verilmiştir. Yeşil bina tasarımında alternatif malzemelerin yanı sıra yeşil çatı detayının enerji performansına etkileri analiz edilmek istendiğinden yeşil çatı malzemesi olarak Ankara ili dış tasarım sıcaklığı olan -12⁰C’ye dayanıklı yeşil malzeme seçenekler arasından seçilmiştir. Aynı şekilde analizin ileri boyutlarında kullanılacak yeşil duvar malzemesi için de Ankara ili iklim şartlarına uygun yeşil malzemelerden seçilerek analizde girdi olarak kullanılmıştır.

Modelleme üzerinde tasarımda karşılaştırılması düşünülen malzemeleri içerecek şekilde 54 tip senaryo oluşturulmuştur. Bu malzemelerin uygulanması için içten, dıştan ve sandviç olmak üzere 3 farklı duvar yapısı tasarlanmıştır. Planlanan tüm analizler için toplam 162 [54 tip x 3 duvar yapısı] alternatif senaryo Tip olarak kodlanmıştır. İlk 162 Tip alternatif senaryonun analizi yapıldıktan sonra elde edilen sonuçların 3 farklı duvar yapısına göre

elektrik enerjisi tüketimi bakımından en olumlu ve en olumsuz alternatif senaryolar belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen bu alternatif senaryolara en dış duvar katmanı olarak yeşil duvar eklenerek oluşturulmuş en olumlu grup Tip 163, Tip 164, Tip 165 ve en olumsuz grup Tip 166, Tip 167 ve Tip 168 olarak kodlanmıştır.

Mevcut villanın orijinal hali yapı malzemesi olarak delikli tuğla yalıtım malzemesi olarak EPS ve kiremit çatı ile dıştan yalıtımlı olarak inşa edilmiştir. Bu çalışmada mevcut villa “Tip 57” alternatif senaryo ile ifade edilmiştir.

Mevcut villanın proje modellemesi Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10. Mevcut villa projesinin BIM modellemesi

3.3.2. Ankara ilinde mevcut bir villanın autodesk green building studio programı yardımıyla enerji analizin yapılması

Ankara ilinde mevcut bir villaya ait proje Autodesk Revit-2021 Architecture Simulation Programı yardımıyla modellenerek enerji ayarları yapılmış ve sonra .xml uzantılı dosya olarak kaydedilmiştir. Bu aşamanın sonrasında villaya ait 168 Tip alternatif senaryonun enerji analizlerini yapmak için Autodesk Green Building Studio (GBS) programı kullanılmıştır.

Autodesk Green Building Studio programı aracılığı ile 168 alternatif senaryo Tipi için; toplam yıllık enerji [elektrik + yakıt (doğal gaz)] tüketimi, kullanım yerlerine göre yıllık enerji tüketim miktarları [iklimlendirme (pompalar ve yardımcı ekipman, fanlar, alan soğutma), çeşitli donanım, ışıklar], yıllık yakıt son kullanım miktarları [iklimlendirme (alan ısıtma), sıcak su], binadan salınan CO2 emisyon miktarları, enerji kullanım yoğunluğu, yaşam döngüsü enerjisi vb enerji performans parametrelerinin sonuçları elde edilmiştir. Ayrıca mevcut örnek villa için gerekli enerjinin güneş enerjisi destekli olarak karşılanabilmesi amacıyla tek kristal, poly kristal ve ince film fotovoltaiik panel kullanılması durumu araştırılmıştır. Kullanılan fotavoltaik panele göre elde edilecek yıllık enerji üretimi, gerekli panel alanı, ve sistemin geri ödeme süresi analiz edilmiştir. Sonuçların karşılıklı değerlendirilmesiyle en uygulanabilir tasarım parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Sonuçların değerlendirilebilmesi için anlamlı karşılaştırmaları yapabilecek şekilde gruplar oluşturulmuştur. Gruplandırmalarda çıktıların anlamlı değerlendirilebilmesi için gerekli birim dönüşümleri yapılmıştır [$1\text{kWh} = 3,6\text{ MJ}$ ve $1\text{MJ} = 0,28\text{ kWh}$].

4. ANALİZ SONUÇLARI VE BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Öncelikle oluşturulan tüm senaryolar için ayrı ayrı tüm analizlerin çıktıları programdan alınmıştır. Program aracılığıyla elde edilen çıktılar anlamlı sonuçlar oluşturmak amacıyla farklı tablo gruplandırmaları yapılarak tezin ek bölümünde detaylı olarak sunulmuştur. Tez içeriğinde istenen ana sonuçlar bazı tabloların grafik görünümde ifade edilmesiyle karşılaştırılmıştır ve kapsamlı olarak değerlendirilmiştir.

Bu araştırmada, 3 değişik çatı malzemesi (kiremit, shingle ve yeşil çatı), 3 değişik duvar malzemesi (delikli tuğla, gaz beton ve bims blok), 6 değişik yalıtım malzemesi (taş yünü, cam yünü, EPS, XPS, polüretan köpüğü ve koyun yünü) kullanılmıştır. Bu şekilde herbir çatı malzemesi için değerlendirmek üzere, 18 farklı alternatif bina kabuğu senaryosu oluşturulmuştur. Kullanılan 3 farklı çatı malzemesiyle bina kabuğundaki duvar katmanları aynı alınmak suretiyle 18x3 çatı malzemesi=54 tip bina kabuğu alternatifi elde edilmiştir.

Bina kabuğunun katmanları yer değiştirilmek suretiyle 3 farklı duvar yapısı (içten yalıtımlı, dıştan yalıtımlı, sandviç duvar) için tasarlanmıştır. Dolayısıyla bir 54 tip bina kabuğu alternatifi 3 farklı duvar yapısı için 162 tip [54x3 duvar yapısı] e çıkarılmıştır. Tüm alternatif senaryoların detaylı yapılandırması Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Daha sonra her duvar yapısının en olumlu ve en olumsuz tiplerinin dış duvar katmanı yeşil duvar olacak şekilde ek 6 alternatif tip daha tasarlanarak Tip sayısı 168’e çıkarılmıştır.

Grafiklerin oluşturulmasında aşağıdaki çizelgede verildiği gibi bir düzenlemeyle sonuçlar sunulmuştur.

Öncelikle araştırılan parametreye göre alternatif senaryolara göre oluşturulan her duvar yapısı içindeki her çatı tipi için oluşturulan 18’li grubun “en olumlu” ve en olumsuz” tipi belirlenmiştir.

Daha sonra her duvar yapısı içinde tüm çatı tipleri arasında; oluşturulan 54’lü grubun “en olumlu” ve en olumsuz” tipi tespit edilmiştir.

İçten, dıştan ve sandviç duvar yapıları için bu değerlendirme önce her 18’li grup için daha sonra tüm çatı tiplerini kapsayacak şekilde her 54’lü grup için yapılmıştır.

Sonuç olarak araştırılan parametre dikkate alınarak; 162 tip bina kabuğu alternatif senaryolarının içerisinde “en olumlu” ve en olumsuz” tip tespit edilmiştir.

Bu çalışmada mevcut villa “Tip 57” alternatif senaryo ile ifade edilmiştir. Araştırılan her bir parametre için elde edilen “en olumlu” Tip ile binanın mevcut durumunu ifade eden “Tip 57” karşılaştırılarak tasarımda elde edilebilecek % iyileştirme tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan grafiksel gösterimlerin özeti

	Çatı malz.	Yapı malz.	Yalıtım malzemesi (sırayla)	Tip	
İçten Yalıtımlı duvar	Kiremit	Delikli tuğla	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	1-6	1. Grup grafik
		Gaz beton	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	7-12	
		Bims blok	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	13-18	
	Shingle	Delikli tuğla	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	19-24	
		Gaz beton	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	25-30	
		Bims blok	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	31-36	
	Yeşil	Delikli tuğla	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	37-42	
		Gaz beton	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	43-48	
		Bims blok	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	49-54	
Dıştan Yalıtımlı duvar	Kiremit	Delikli tuğla	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	55-60	2. Grup grafik
		Gaz beton	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	61-66	
		Bims blok	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	67-72	
	Shingle	Delikli tuğla	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	73-78	
		Gaz beton	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	79-84	
		Bims blok	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	85-90	
	Yeşil	Delikli tuğla	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	91-96	
		Gaz beton	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	97-102	
		Bims blok	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	103-108	
Sandviç duvar	Kiremit	Delikli tuğla	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	109-114	3. Grup grafik
		Gaz beton	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	115-120	
		Bims blok	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	121-126	
	Shingle	Delikli tuğla	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	127-132	
		Gaz beton	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	133-138	
		Bims blok	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	139-144	

Çizelge 4.1. (devam) Çalışmada kullanılan grafiksel gösterimlerin özeti

Yeşil	Delikli tuğla	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	145-150
	Gaz beton	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	151-156
	Bims blok	1.taş yünü 2.cam yünü 3.EPS 4.XPS 5.polüretan köpüğü 6.koyun yünü	157-162

Son olarak araştırılan villanın alternatif senaryoları arasından her bir duvar tipi [içten yalıtımlı, dıştan yalıtımlı ve sandviç] için elde edilen en olumlu” ve “en olumsuz” alternatif senaryolar, tiplerin dış duvarını “yaşayan duvar” veya “yeşil duvar” olarak adlandırılan forma dönüştürmek üzere tekrar tasarlanmıştır. Dış duvarın son katmanı yeşil duvar olacak şekilde en olumlu 3 tip Tip 163, Tip 164, Tip 165 olarak ve en olumsuz 3 tip Tip 166, Tip 167, Tip 168 olarak adlandırılmıştır. Bu tiplerin en dış katmanını yeşil duvar olarak tasarlanması durumunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir

4.1. Yıllık Enerji Tüketimleri

Bir binanın tasarım aşamasında, kullanıcı konforu sınırları içerisinde enerji kullanımını azaltmak için yapılan araştırmalarda ilk değerlendirilecek parametrelerden biri yıllık enerji tüketimi değerleridir. Bu parametre birçok parametre ile birlikte bir yapının sürdürülebilirlik ilkelerine uygunluğunun değerlendirilmesi konusunda ve binanın enerji analizi konusunda fikir verebilir. Bu çalışmada, Şekil 4.1’de sırasıyla içten yalıtımlı, dıştan yalıtımlı ve sandviç yapıda bina kabuğunda kiremit çatı, shingle çatı ve yeşil çatı alternatiflerine göre yıllık enerji tüketimi değerlerini grafiksel olarak göstermektedir.

Tüm alternatif senaryoların yıllık elektrik enerjisi tüketimi [kWh] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Tüm alternatif senaryoların yıllık elektrik enerjisi tüketiminin [kWh] en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması Çizelge 4.3’de gösterilmiştir. Çizelge 4.3’de gösterildiği gibi 162 alternatif tip arasından yıllık elektrik enerjisi tüketimi açısından en olumlu alternatif Tip 60 (Dıştan yalıtımlı duvar ve kiremit çatı ile yapı malzemesi tuğla ve yalıtım malzemesi koyun yünü) olarak, en olumsuz alternatif Tip 35 (İçten yalıtımlı duvar ve shingle çatı ile yapı malzemesi bims ve yalıtım malzemesi poliüretan) olarak elde edilmiştir. Mevcut yapıyı temsil eden Tip 57’nin en olumlu alternatif tip olan Tip 60’a ait malzemelerle tasarlanması durumunda yıllık elektrik enerjisi tüketimi açısından yaklaşık % 1,16 enerji tasarrufu elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Tüm alternatif senaryoların yıllık yakıt (doğal gaz) tüketimi [kWh] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti Çizelge 4.4’de verilmiştir. Tüm alternatif senaryoların yıllık yakıt (doğal gaz) tüketiminin [kWh] en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması Çizelge 4.5’da sunulmuştur. Çizelge 4.5’da belirtildiği gibi 162 alternatif tip senaryo arasından yıllık yakıt (doğal gaz) tüketimi açısından en olumlu alternatif Tip 89 (Dıştan yalıtımlı duvar ve shingle çatı ile yapı malzemesi bims ve yalıtım malzemesi poliüretan) olarak, en olumsuz alternatif Tip 6 (İçten yalıtımlı duvar ve kiremit çatı ile yapı malzemesi tuğla ve yalıtım malzemesi koyun yünü) olarak elde edilmiştir. Mevcut yapıyı temsil eden Tip 57’nin en olumlu alternatif tip olan Tip 89’a ait malzemelerle tasarlanması durumunda yıllık elektrik enerjisi tüketimi açısından yaklaşık %0,85 enerji tasarrufu elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Tüm çalışma içeriğinde araştırılan parametreler, yukarıda açıklandığı gibi tablo olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 4.2. Tüm alternatif senaryoların yıllık elektrik enerjisi tüketimi [kWh] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti

Bina kabuğu	Çatı malzemesi	En olumlu alternatif			En olumsuz alternatif		
		Tip	Miktar (kWh)	Yapı ve yalıtım malz.	Tip	Miktar (kWh)	Yapı ve yalıtım malz.
İçten yalıtım [Tip 1-54]	Kiremit çatı	6	50 174	Tuğla – Koyun yünü	17	50 542	Bims-Poliüretan
	Shingle çatı	24	50 265	Tuğla – Koyun yünü	35	50 639	Bims-Poliüretan
	Yeşil çatı	42	50 111	Tuğla – Koyun yünü	53	50 486	Bims-Poliüretan
Dıştan yalıtım [Tip 55-108]	Kiremit çatı	60	48 235	Tuğla – Koyun yünü	65	48 505	Gazbeton-Poliüretan
	Shingle çatı	78	48 375	Tuğla – Koyun yünü	83	48 646	Gazbeton-Poliüretan
	Yeşil çatı	96	48 851	Tuğla – Koyun yünü	101	49 119	Gazbeton-Poliüretan
Sandviç yapı [Tip109-162]	Kiremit çatı	114	49 096	Tuğla – Koyun yünü	109	49 361	Tuğla-Taşyünü
	Shingle çatı	132	49 190	Tuğla – Koyun yünü	127	49 464	Tuğla-Taşyünü
	Yeşil çatı	150	49 036	Tuğla – Koyun yünü	155	49 278	Gazbeton-Poliüretan

Çizelge 4.3. Tüm alternatif senaryoların yıllık elektrik enerjisi tüketiminin [kWh] en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması

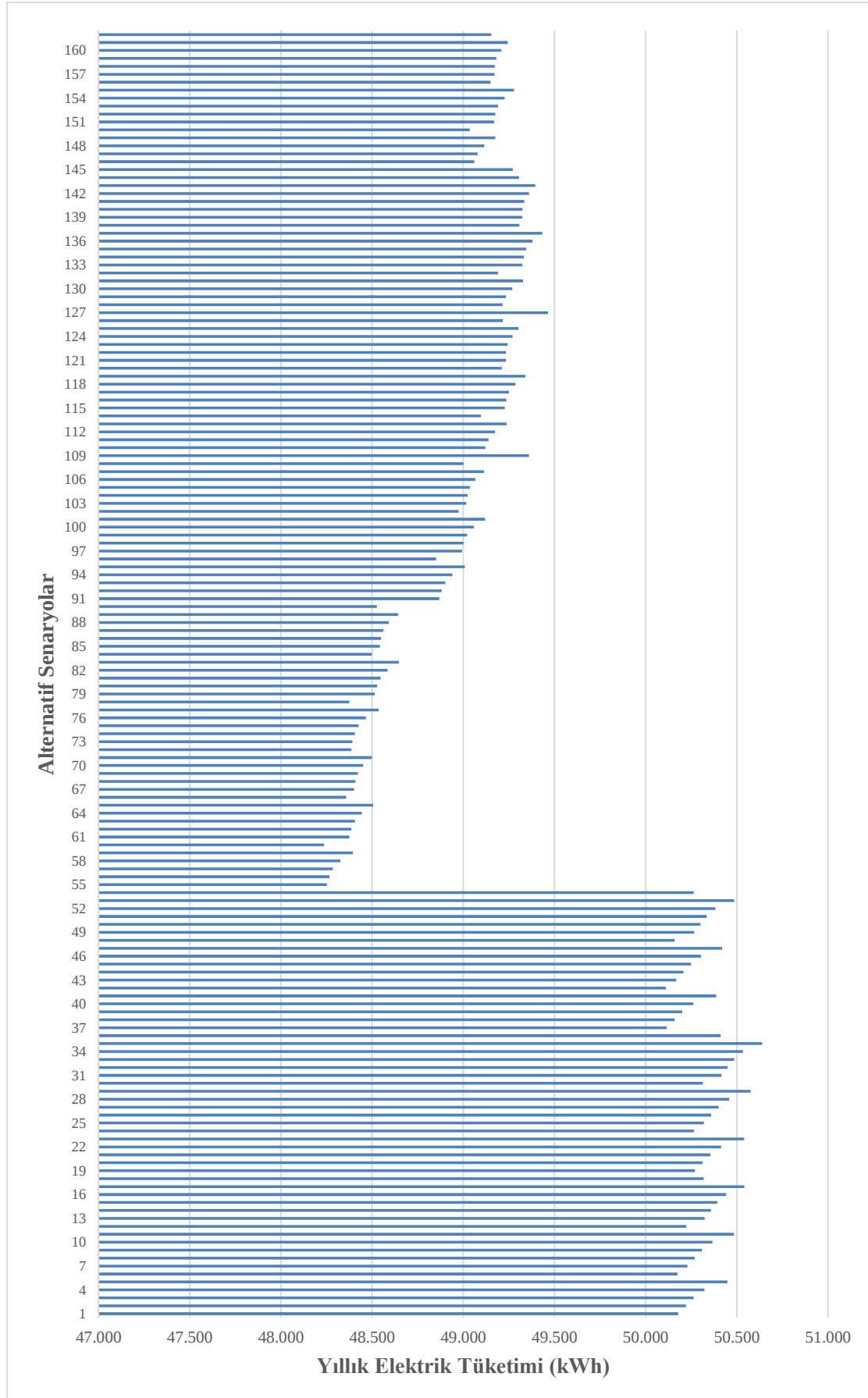
	En olumlu alternatif	En olumsuz alternatif	Mevcut yapı	En olumlu alternatifle Tip 57'nin kıyası
Yıllık elektrik enerjisi tüketimi [kWh]	Tip 60	Tip 35	Tip 57	
	48 235	50 639	48 285	%1,16 daha iyileştirilebilir

Çizelge 4.4. Tüm alternatif senaryoların yıllık yakıt (doğal gaz) tüketimi [kWh] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti

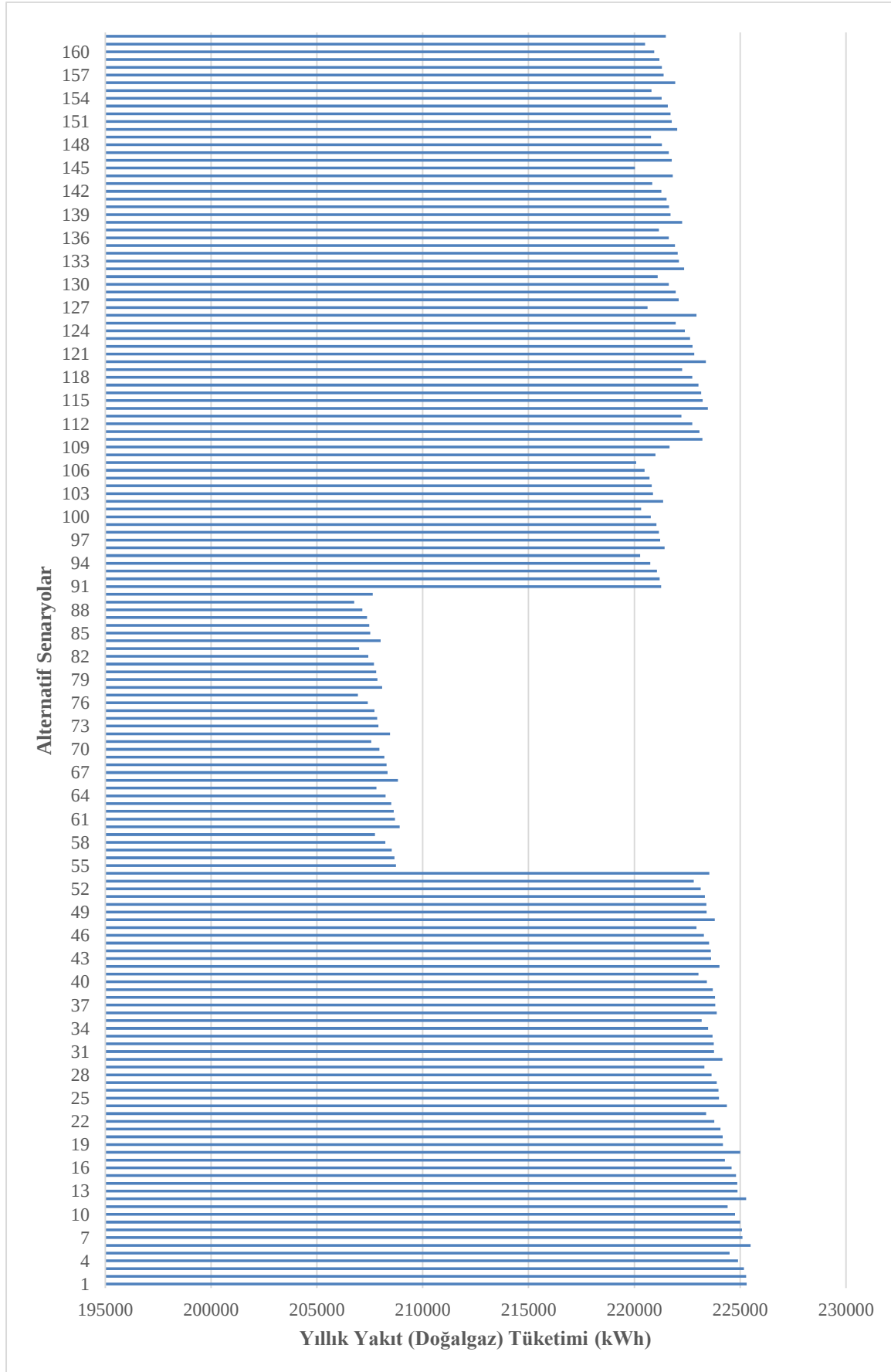
Bina kabuğu	Çatı malzemesi	En olumlu alternatif			En olumsuz alternatif		
		Tip	Miktar (kWh)	Yapı ve yalıtım malz.	Tip	Miktar (kWh)	Yapı ve yalıtım malz.
İçten yalıtım [Tip 1-54]	Kiremit çatı	17	225495,2	Bims-Poliüretan	6	225495,2	Tuğla – Koyun yünü
	Shingle çatı	35	223182,4	Bims-Poliüretan	24	224374,9	Tuğla–Koyun yünü
	Yeşil çatı	53	222810,6	Bims-Poliüretan	42	224020,7	Tuğla–Koyun yünü
Dıştan yalıtım [Tip 55-108]	Kiremit çatı	71	207567,4	Bims-Poliüretan	60	208905,5	Tuğla–Koyun yünü
	Shingle çatı	89	206762,9	Bims-Poliüretan	78	208077	Tuğla–Koyun yünü
	Yeşil çatı	107	220090,9	Bims-Poliüretan	96	221431,3	Tuğla–Koyun yünü
Sandviç yapı [Tip 109-162]	Kiremit çatı	109	221664,8	Tuğla-Taşyünü	114	223476,7	Tuğla – Koyun yünü
	Shingle çatı	127	220620,1	Tuğla-Taşyünü	132	222348,6	Tuğla – Koyun yünü
	Yeşil çatı	145	220024,8	Tuğla-Taşyünü	150	222026,3	Tuğla – Koyun yünü

Çizelge 4.5. Tüm alternatif senaryoların yıllık yakıt (doğal gaz) tüketiminin [kWh] en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması

	En olumlu alternatif	En olumsuz alternatif	Mevcut yapı	En olumlu alternatifle Tip 57'nin kıyası
Yıllık yakıt (doğal gaz) tüketimi [kWh]	Tip 89	Tip 6	Tip 57	
	206 762,9	225 495,2	208539,5	%0,85 daha iyileştirilebilir



Şekil 4.1. Alternatif senaryolara göre çatı alternatiflerine göre yıllık elektrik tüketimleri



Şekil 4.2. Alternatif senaryolara göre çatı alternatiflerine göre yıllık yakıt tüketimi

4.2. Enerji Kullanım Yoğunluğu

Enerji kullanım yoğunluğu, binanın kat planındaki birim alan başına, tipik olarak metrekare cinsinden enerji gereksinimidir. Bir başka tanımla, projenin alan başına yıllık birleşik yakıt ve elektrik gereksiniminin (IP birimlerinde fit kare veya SI birimlerinde metrekare) ortalamasıdır. Farklı büyüklükteki binaların enerji gereksinimlerini karşılaştırırken kullanılan bir parametredir. Uygulanabilirlik açısından araştırılan alternatif binalardan hangisinin daha enerji etkin olduğunun görülebilmesi için enerji gereksinimlerinin karşılaştırmasına yardımcı olur. Enerji kullanım yoğunluğu, enerji kullanımı için hedefler ve kıyaslamalar belirlemek için özellikle kullanılan bir parametredir. Bu parametre tipik olarak iklime, inşaat planına ve binanın boyutuna bağlı olarak makul ölçüde biraz değişir. Enerji kullanım yoğunluğu değerleri, özellikle binanın işletilmesi sırasında kullanılan yakıt ve elektrik miktarını dikkate alır.

Şekil 4.3’de içten yalıtımlı bina kabuğunda çatı alternatiflerine göre yıllık kullanım enerji yoğunluğu değerleri sırasıyla kiremit çatı, shingle çatı ve yeşil çatı içingösterilmiştir.

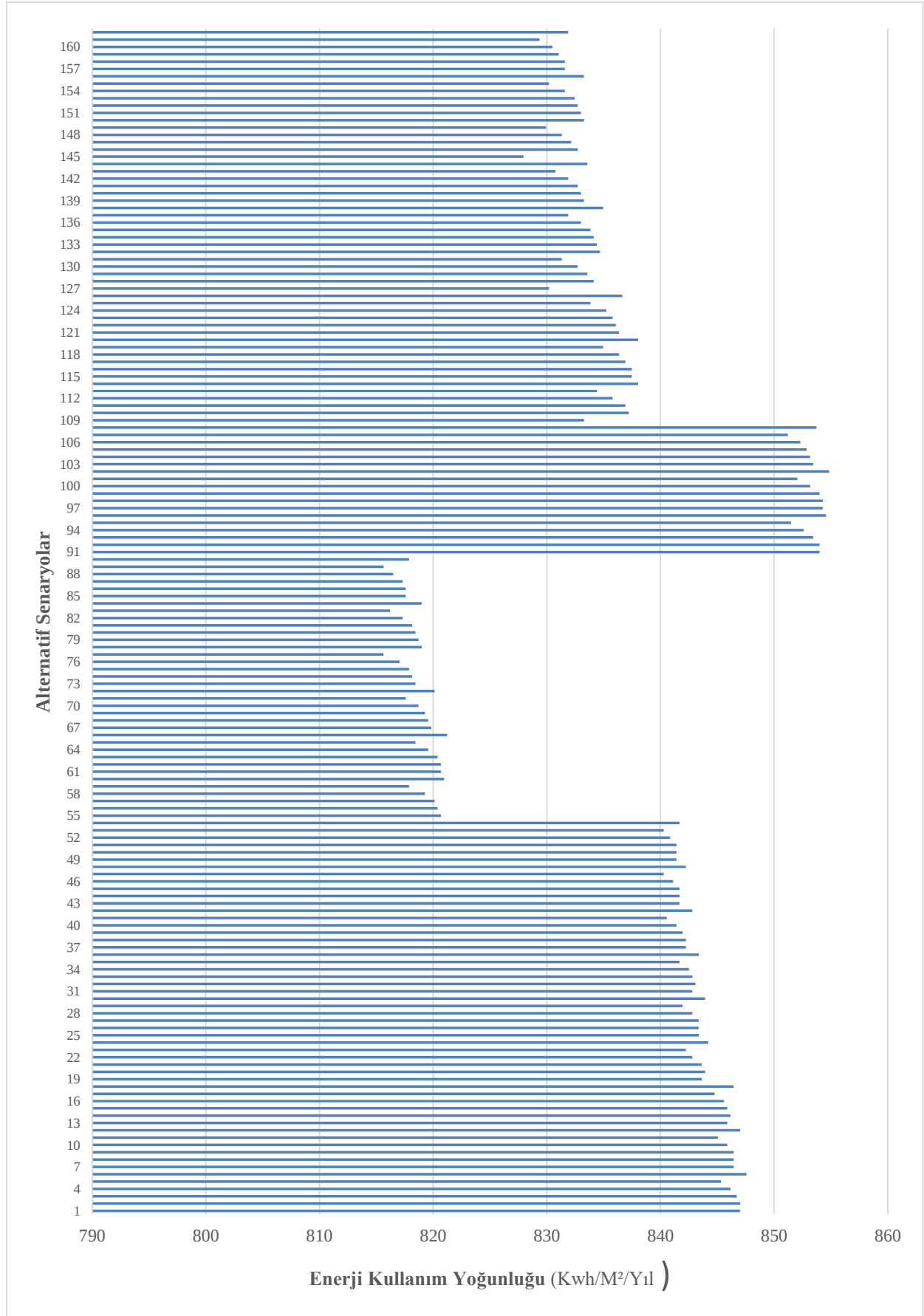
Şekil 4.3’de sunulan grafikten elde edilen sonuçlar incelendiğinde en olumlu ve en olumsuz enerji kullanım yoğunluğu değerleri aşağıdaki Çizelge 4.6.’da verilmiştir ve Çizelge 4.7’de mevcut bina için tasaranan Tip 57 ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.6. Tüm alternatif senaryoların enerji kullanım yoğunluğu [kWh/m²/yıl] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti

Bina kabuğu	Çatı malzemesi	En olumlu alternatif			En olumsuz alternatif		
		Tip	Miktar [kWh/m ² /yıl]	Yapı ve yalıtım malz.	Tip	Miktar [kWh/m ² /yıl]	Yapı ve yalıtım malz.
İçten yalıtım [Tip 1-54]	Kiremit çatı	17	844,76	Bims-Poliüretan	6	847,56	Tuğla-Koyun yünü
	Shingle çatı	36	841,68	Bims-Koyun yünü	19	846,44	Tuğla-Taş yünü
	Yeşil çatı	53	840,28	Bims-Poliüretan	42	842,80	Tuğla-Koyun yünü
Dıştan yalıtım [Tip 55-108]	Kiremit çatı	71	817,60	Bims-Poliüretan	66	821,24	Gazbeton-Koyunyün
	Shingle çatı	89	815,64	Bims-Poliüretan	78	819,00	Tuğla-Koyun yünü
	Yeşil çatı	107	851,20	Bims-Poliüretan	102	854,84	Gazbeton-Koyunyün
Sandviç yapı [Tip 109-162]	Kiremit çatı	109	833,28	Tuğla-Taş yünü	120	838,04	Gazbeton-Koyunyün
	Shingle çatı	127	830,20	Tuğla-Taş yünü	138	834,96	Gazbeton-Koyunyün
	Yeşil çatı	145	827,96	Tuğla-Taş yünü	156	833,28	Gazbeton-Koyunyün

Çizelge 4.7. Tüm alternatif senaryoların enerji kullanım yoğunluğu [kWh/m²/yıl] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması

	En olumlu alternatif	En olumsuz alternatif	Mevcut yapı	En olumlu alternatifle Tip 57'nin kıyası
Enerji kullanım yoğunluğu [kWh/m ² /yıl]	Tip 89	Tip 102	Tip 57	
	815,64	854,84	820,12	% 0,54 daha iyileştirilebilir



Şekil 4.3. Alternatif senaryolara göre analizle elde edilen yıllık enerji kullanım yoğunluğu

4.3. Yıllık Enerji Kullanım Değerleri

Bölüm 5.1’de analizi yapılan yıllık enerji tüketimi değerlerinin kullanım yerlerine göre detaylandırılması en fazla enerji tüketen alanların belirlenmesi açısından önemlidir. Bu nedenle araştırılan bina için oluşturulan 162 tip alternatif senaryonun içten yalıtımlı, dıştan yalıtımlı ve sandviç bina kabuğunda çatı alternatifleri için (liremit, shingle ve yeşil çatı) tüketim alanlarına göre yıllık elektrik enerjisi kullanım değerleri Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

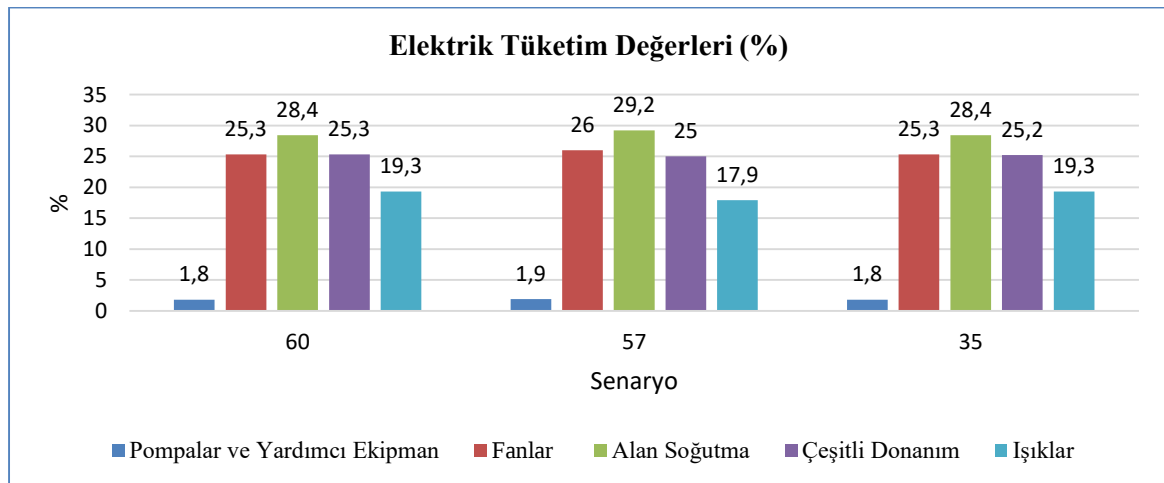
Aynı şekilde içten yalıtımlı, dıştan yalıtımlı ve sandviç bina kabuğunda çatı alternatifleri için (liremit, shingle ve yeşil çatı) tüketim alanlarına göre yıllık (yakıt) doğal gaz kullanım değerleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

4.3.1. Yıllık elektrik enerjisi kullanım değerleri

Üzerinde çalıştığımız binanın Green Building Studio tarafından elektrik tüketim analizi yapılırken;

Pompalar ve yardımcı ekipmanlar, fanlar, alan soğutma, çeşitli donanımlar, ışıklar gibi parametrelerin tüketim değerleri değerlendirilmiştir.

Şekil 4.1 de yıllık elektrik enerjisi tüketimi değerlendirmesi analizinde ettiğimiz en olumlu [Tip 60], en olumsuz [Tip 35] ve mevcut [Tip 57] senaryoların elektrik tüketim değerlemeleri yüzdesel olarak gösterilmiştir.



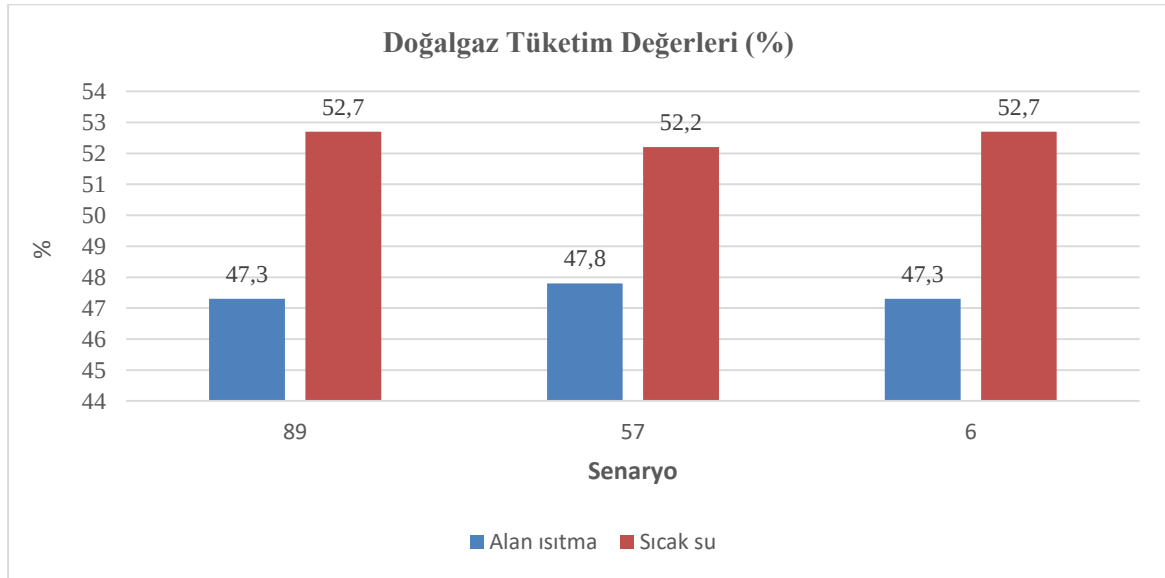
Şekil 4.4. Alternatif senaryolara göre analizle elde edilen yıllık elektrik enerjisi tüketiminin kullanım alanlarına göre dağılımı

4.3.2. Yıllık (yakıt) doğal gaz kullanım değerleri

Üzerinde çalıştığımız binanın Green Building Studio tarafından yakıt tüketim analizi yapılırken;

Alan ısıtma ve Sıcak su temini için tüketilen yakıt parametreleri değerlendirilmiştir.

Şekil 4.5’ de yıllık yakıt tüketimi değerlendirmesinde analiz ettiğimiz en olumlu [Tip 89], en olumsuz [Tip 6] ve mevcut [Tip 57] senaryoların elektrik tüketim değerlemeleri yüzdesel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Alternatif senaryolara göre analizle elde edilen yıllık doğal gaz tüketiminin kullanım alanlarına göre dağılımı

4.4. Yaşam Döngüsü Enerjisi Analizi

Yaşam döngüsü enerjisinin analizi, çevresel etkinin ölçülmesi için enerjiyi kullanır. Yaşam döngüsü enerjisi analizinin amacı, yaşam döngüsü analizi gibi daha geniş bir çevresel değerlendirme yönteminin yerini almak değil, daha çok enerji verimliliğine ilişkin karar vermeyi kolaylaştırmaktır.

Bir binanın yerleşik enerjisini, operasyonel enerjisiyle karşılaştırarak, potansiyel yaşam döngüsü enerji verimliliği ve koruma stratejilerini gösterebilir. Benzer şekilde, yaşam döngüsü enerjisi analizi kavramı, bir binanın operasyonel enerjisini veya yerleşik enerjisini

optimize etmek için tasarlanan stratejilerin yaşam döngüsü faydalarını göstermek için kullanılabilir.

Yaşam döngüsü enerjisi analizinin ana faydası, ürünlerin somutlaştırılmış enerji maliyetlerinin, tasarım değişikliklerinin ve operasyonel enerjiyi optimize etmek için kullanılan stratejilerin değerlendirilebilmesidir.

Örneğin, ısı yalıtımının somut bir enerji maliyeti vardır. Ayrıca yalıtımı yapmak için gerekli bir enerjide vardır. Ancak operasyonel enerjideki tasarruflar zaman içinde gerçekleşir.

Yaşam döngüsü enerjisi analizi, binanın ömrü boyunca net tasarrufları ve belki de daha önemlisi, 'enerji geri ödeme süresi'ni (ilk somutlaştırılmış enerji maliyetinin devam eden operasyonel enerji tasarrufları tarafından geri ödenmesi için geçen süre) tahmin etmek için kullanılabilir.

Bir enerji tasarrufu stratejisinin yaşam döngüsü enerji etkileri net olarak değerlendirilmesi gerekir. Örneğin, ek yalıtımın kurulumu, binanın ömrünün başlangıcında daha fazla somut bir enerji maliyetine sahip olacaktır. Ancak termal performansta elde edilen yıllık ek faydalar, ısıtma ve soğutma sisteminin enerji tüketiminde daha fazla tasarruf olarak modellenebilir.

Yaşam döngüsü enerjisi analizinde bir binada bulunan enerji ve binanın işletilmesinde kullanılan enerji, binanın öngörülen ömrü için hesaplanır [174].

Bu bölümde, içten yalıtımlı, dıştan yalıtımlı ve sandviç bina kabuğunda çatı alternatifleri (kiremit, shingle ve yeşil çatı) için yaşam döngüsü enerjisi [kWh] değerleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

Bütün alternatif senaryoların yaşam döngüsü elektrik enerjisi [kWh] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti Çizelge 4.8'de, yaşam döngüsü elektrik enerjisi değerlerinin [kWh] en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması Çizelge 4.9'da gösterilmiştir. Aynı şekilde tüm alternatif senaryoların yaşam döngüsü yakıt enerjisi [kWh] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti Çizelge 4.10'da, yaşam döngüsü yakıt enerjisi değerlerinin [kWh] en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Tüm alternatif senaryoların yaşam döngüsü elektrik enerjisi [kWh] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti

Bina kabuğu	Çatı malzemesi	En olumlu alternatif			En olumsuz alternatif		
		Tip	Miktar (kWh)	Yapı ve yalıtım malz.	Tip	Miktar (kWh)	Yapı ve yalıtım malz.
İçten yalıtım [Tip 1-54]	Kiremit çatı	6	1505214	Tuğla-Koyun yünü	17	1516257	Bims-Poliüretan
	Shingle çatı	24	1507961	Tuğla-Koyun yünü	35	1519177	Bims-Poliüretan
	Yeşil çatı	42	1503327	Tuğla-Koyun yünü	53	1514573	Bims-Poliüretan
Dıştan yalıtım [Tip 55-108]	Kiremit çatı	60	1447049	Tuğla-Koyun yünü	65	1455154	Gazbeton-Poliüretan
	Shingle çatı	78	1451248	Tuğla-Koyun yünü	83	1459372	Gazbeton-Poliüretan
	Yeşil çatı	96	1465533	Tuğla-Koyun yünü	101	1473581	Gazbeton-Poliüretan
Sandviç yapı [Tip109-162]	Kiremit çatı	114	1472892	Tuğla-Koyun yünü	109	1480822	Tuğla-Taşyünü
	Shingle çatı	132	1475702	Tuğla-Koyun yünü	127	1483927	Tuğla-Taşyünü
	Yeşil çatı	150	1471067	Tuğla-Koyun yünü	155	1478344	Gazbeton-Poliüretan

Çizelge 4.9. Tüm alternatif senaryoların yaşam döngüsü elektrik enerjisi değerlerinin [kWh] en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması

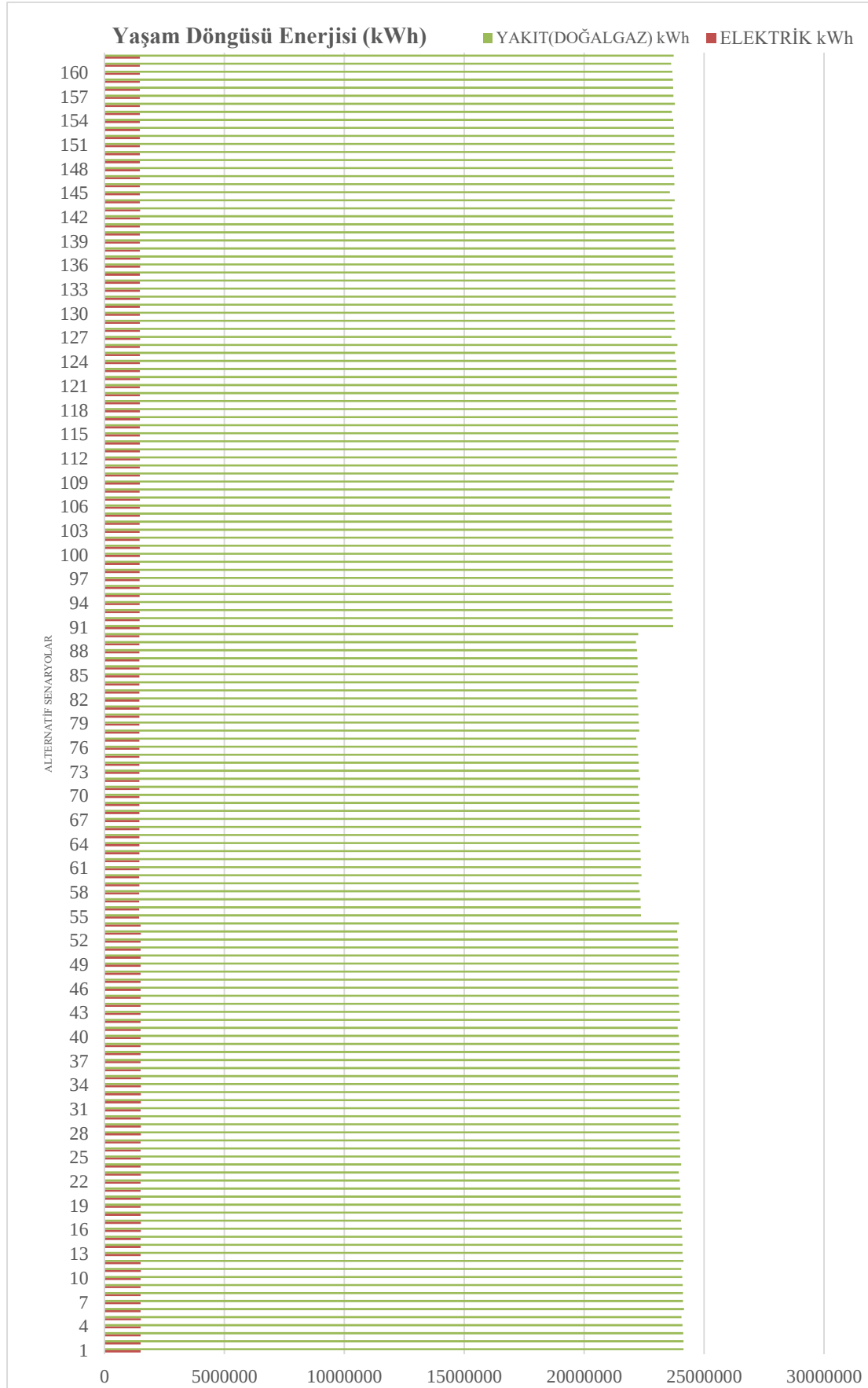
	En olumlu alternatif	En olumsuz alternatif	Mevcut yapı	En olumlu alternatifle Tip 57'nin kıyası
Yaşam döngüsü enerjisi [kWh]	Tip 60 1447049	Tip 35 1519177	Tip 57 1448540	% 0,10 daha iyileştirilebilir

Çizelge 4.10. Tüm alternatif senaryoların yaşam döngüsü yakıt enerjisi [kWh] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti

Bina kabuğu	Çatı malzemesi	En olumlu alternatif			En olumsuz alternatif		
		Tip	Miktar [kWh]	Yapı ve yalıtım malz.	Tip	Miktar (kWh)	Yapı ve yalıtım malz.
İçten yalıtım [Tip 1-54]	Kiremit çatı	17	6728487,4	Bims-Poliüretan	6	6764858,5	Tuğla-Koyun yünü
	Shingle çatı	35	6731243,4	Bims-Poliüretan	24	6695471,2	Tuğla-Koyun yünü
	Yeşil çatı	53	6684317,6	Bims-Poliüretan	42	6720621,6	Tuğla-Koyun yünü
Dıştan yalıtım [Tip 55-108]	Kiremit çatı	71	6227023,3	Bims-Poliüretan	60	6267163,6	Tuğla-Koyun yünü
	Shingle çatı	89	6202883,4	Bims-Poliüretan	78	6242305,4	Tuğla-Koyun yünü
	Yeşil çatı	107	6602724	Bims-Poliüretan	96	6642939	Tuğla-Koyun yünü
Sandviç yapı [Tip109-162]	Kiremit çatı	109	6649944,8	Tuğla-Taşyünü	114	6704296,2	Tuğla-Koyun yünü
	Shingle çatı	127	6618607	Tuğla-Taşyünü	132	6670455,1	Tuğla-Koyun yünü
	Yeşil çatı	145	6600744,4	Tuğla-Taşyünü	150	6660785,9	Tuğla-Koyun yünü

Çizelge 4.11. Tüm alternatif senaryoların yaşam döngüsü yakıt enerjisi değerleri [kWh] en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması

	En olumlu alternatif	En olumsuz alternatif	Mevcut yapı	En olumlu alternatifle Tip 57'nin kıyası
Yaşam döngüsü enerjisi [kWh]	Tip 89	Tip 6	Tip 57	
	6202883,4	6764858,5	6256181,4	%0,85 daha iyileştirilebilir



Şekil 4.6. Alternatif senaryolara göre analizle elde edilen yıllık yaşam döngüsü enerjisi

4.5. Bir Yıl Boyunca Kullanılan Yakıttan Çevreye Salınacak Yıllık CO₂ Emisyonu Değerleri

İçten yalıtım, dıştan yalıtım ve sandviç duvar yapıları için, alternatif senaryolara göre, mevcut villada 1 yıl boyunca kullanılan yakıttan çevreye salınacak yıllık CO₂ emisyonu değerleri Şekil 4.7’de Megagram [1 Megagram = 1 ton] cinsinden gösterilmiştir.

Şekilde görüldüğü gibi içten yalıtımlı olarak tasarlanan duvarlarda en yüksek yıllık CO₂ emisyonu “Tip 6” tarafından 40.2 Mg olarak, en düşük yıllık CO₂ emisyonu “Tip 41, Tip 47, Tip 52 ve Tip 53” tarafından 39.7 Mg olarak elde edilmiştir.

Dıştan yalıtımlı olarak tasarlanan duvarlarda en yüksek yıllık CO₂ emisyonu “Tip 91, Tip 92, Tip 93, Tip 96, Tip 97, Tip 98, Tip 99, Tip 102, Tip 108” tarafından 39.4 Mg olarak, en düşük yıllık CO₂ emisyonu “Tip 89” tarafından 36.8 Mg olarak elde edilmiştir.

Sandviç olarak tasarlanan duvarlarda en yüksek yıllık CO₂ emisyonu “Tip 110, Tip 114, Tip 115, ve Tip 120” tarafından 39.8 Mg olarak, en düşük yıllık CO₂ emisyonu “Tip 145” tarafından 39.2 Mg olarak elde edilmiştir.

Tüm duvar tipleri için yıllık CO₂ emisyonu değerleri değerlendirildiğinde en yüksek değer Tip 6” tarafından 40.2 Mg, en düşük değer “Tip 89” tarafından 36.8 Mg olarak bulunmuştur.

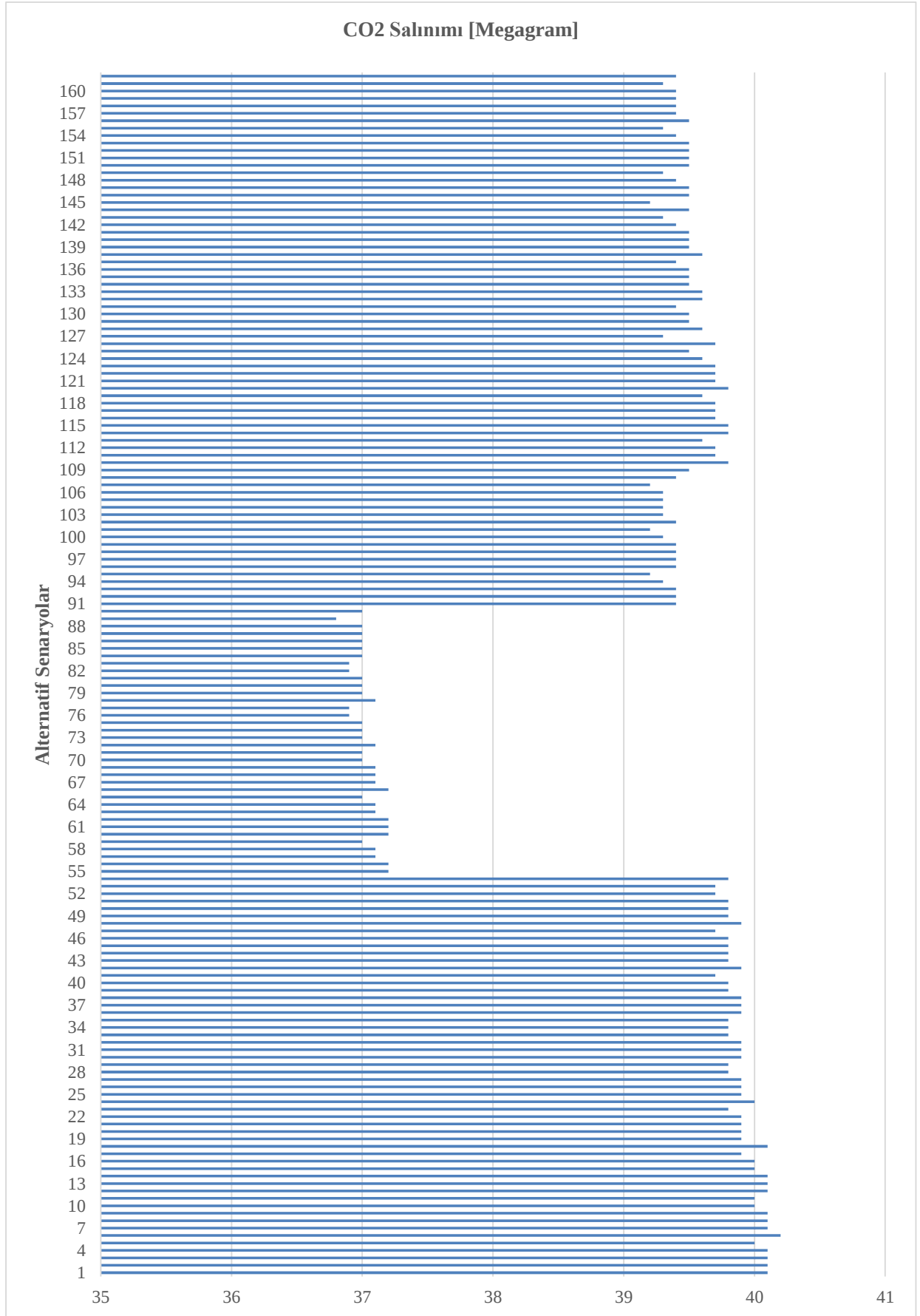
Tüm alternatif senaryoların yıllık CO₂ emisyonu [ton] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti Çizelge 4.12’de, yıllık CO₂ emisyonu [ton] değerlerine göre en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Tüm alternatif senaryoların yıllık CO₂ emisyonu [ton] değerlerinin en olumlu-en olumsuz tiplerinin özeti

Bina kabuğu	Çatı malzemesi	En olumlu alternatif			En olumsuz alternatif		
		Tip	Miktar (kWh)	Yapı ve yalıtım malz.	Tip	Miktar (kWh)	Yapı ve yalıtım malz.
İçten yalıtım [Tip 1-54]	Kiremit çatı	17	39,9	Bims-Poliüretan	6	40,2	Tuğla-Koyun yünü
	Shingle çatı	35	39,8	Bims-Poliüretan	24	40,0	Tuğla-Koyun yünü
	Yeşil çatı	53	39,7	Bims-Poliüretan	42	39,9	Tuğla-Koyun yünü
Dıştan yalıtım [Tip 55-108]	Kiremit çatı	71	37,0	Bims-Poliüretan	60	37,2	Tuğla-Koyun yünü
	Shingle çatı	89	36,8	Bims-Poliüretan	78	37,1	Tuğla-Koyun yünü
	Yeşil çatı	107	39,2	Bims-Poliüretan	96	39,4	Tuğla-Koyun yünü
Sandviç yapı [Tip109-162]	Kiremit çatı	109	39,5	Tuğla-Taşyünü	114	39,8	Tuğla-Koyun yünü
	Shingle çatı	127	39,3	Tuğla-Taşyünü	132	39,6	Tuğla-Koyun yünü
	Yeşil çatı	145	39,2	Tuğla-Taşyünü	150	39,5	Tuğla-Koyun yünü

Çizelge 4.13. Tüm alternatif senaryoların yıllık CO₂ emisyonu [ton] değerlerine göre en olumlu-en olumsuz tiplerinin mevcut yapı (Tip 57) ile karşılaştırılması

	En olumlu alternatif	En olumsuz alternatif	Mevcut yapı	En olumlu alternatifle Tip 57'nin kıyası
Yıllık CO ₂ salımı [ton]	Tip 89 36,8	Tip 6 40,2	Tip 57 37,1	% 0,80 daha iyileştirilebilir



Şekil 4.7. Alternatif senaryolara göre analizle elde edilen yıllık CO₂ salınımı miktarı

4.6. Mevcut Binanın Gerçek Enerji Tüketim Değerleri ve Analizlerle Kıyaslanması

Yapılan analizlerin tutarlılığını değerlendirmek için mevcut tüketim değerleriyle kıyaslama yapmak doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu bağlamda Şekil 4.8 ‘de mevcut binanın 2020 yılına ait Elektrik ve Doğalgaz faturalarından alınan tüketim değerleri belirtilmiştir.

Analiz ve gerçek zamanlı tüketim değerleri kıyaslandığı zaman tüketim değerleri arasında farklılıklar gözlenmektedir. Bu farklılıklara sebep olan temel faktörlerden ilki Green Building Studio programının 7/24 esaslı, ideal ortam şartları gözeterek analiz yapmasıdır.

Bu durumda yapı analizinde kullanılan iklimlendirme ve ısıtma kaynaklı parametreler ideal ortam şartlarını sağlamak için 7/24 çalıştığı varsayılarak analiz yapılmaktadır. Bu durum mevcut binanın günlük işleyiş rutininden uzak olduğu için programdan alınan analiz sonuçları da mevcut verilerden farklı çıkmaktadır.

Öte yandan mevcut binada kullanılan yaşam alanlarıyla, Green Building Studio programının analizini yaptığı yaşam alanları (ideal ortam şartları oluşturduğu için) aynı değildir. Günlük rutinde evin sadece belli bölümleri kullanılıp ısıtma ve soğutma uygulamaları binanın sadece belli bölgelerine uygulanırken, analiz programı iklimlendirme uygulamalarını evin tamamına uygulamaktadır.

Ayrıca Şekil 4.4’de gösterilen elektrik tüketim parametrelerinden Pompalar ve Yardımcı Ekipmanlar, Fanlar ve Alan Soğutma gibi tüketim kalemleri analiz yapılan binada mevcut değildir ve bu kalemlerin analiz sonuçlarındaki tüketim miktarları da oldukça yüksektir. Bu parametreler de gerçek tüketim değerleriyle, analiz değerlerinin ayrışmasına sebep olmaktadır.

Analiz değerleriyle, gerçek tüketim değerleri belirtilen parametreler sebebiyle farklı sonuçlar verse de analiz sonuçlarının kıyaslanması açısından olumsuz bir durum oluşturmamaktadır. Çalışmadaki 162 analizin tamamı aynı ideal ortam şartları gözetilerek 7/24 esaslı yapıldığı için bu analizlerin birbirleriyle kıyaslanması tutarlı sonuçlar vermektedir.

AYLAR	ELEKTRİK TÜKETİMİ	DOĞALGAZ TÜKETİMİ
OCAK	810,21 kWh	7734,62 kWh
ŞUBAT	657,89 kWh	6642,71 kWh
MART	694,82 kWh	5293,59 kWh
NİSAN	628,71 kWh	4001,79 kWh
MAYIS	540,34 kWh	1539,03 kWh
HAZİRAN	44,01 kWh	961,73 kWh
TEMMUZ	372,35 kWh	996,91 kWh
AĞUSTOS	408,35 kWh	1016,37 kWh
EYLÜL	542 kWh	1139,9 kWh
EKİM	537,27 kWh	1750,07 kWh
KASIM	631,89 kWh	5198,2 kWh
ARALIK	783,93 kWh	5673,2 kWh
TOPLAM	6651,77 kWh	41948,12 kWh
TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİ		48599,89 kWh

Şekil 4.8. Mevcut binanın 2020 yılına ait Elektrik ve Doğalgaz faturalarından alınan tüketim değerleri

4.7. Fotovoltaik Destekli Olarak Alternatif Senaryoların Değerlendirilmesi

Analizi yapılan örnek villanın tükettiği enerjiyi, güneş enerjisi destekli olarak karşılayabilmesi amacıyla 3 tip fotovoltaik panel (tek kristal, poly kristal, ince film) kullanılması durumun değerlendirilmiştir. Bu amaçla, kullanılan fotovoltaik değerlemeleri Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Alternatif senaryolar için kullanılan fotovoltaik verimlilik değerleri.

PANEL TİPİ	VERİMLİLİK (%)
Monokristal	13,8
Polikristal	12,3
İnce Film	7,5

Çizelge 4.14’de verilen özellikler dikkate alınarak tüm alternatif senaryolar için geçerli analiz sonuçları Çizelge 4.15’de sunulmuştur. Çizelge 4.15’de gösterildiği gibi analizi yapılan villanın tüm alternatif senaryoları için geçerli olacak şekilde güneş enerjisi sistemi

kurulması durumunda, kurulu panel alanı (m²), yıllık enerji üretimi (kWh), potansiyel maliyet tasarrufu (yıllık) ve sistem geri ödeme süresi (yıl) için çıktılar elde edilmiştir.

Çizelge 4.15. Tasarımda kullanılabilir fotovoltaiik panele göre çıktılar

	Kurulu Panel Alanı (m ²)	Yıllık Enerji Üretimi (kWh)	Sistem Geri Ödeme Süresi (yıl)
Tek kristal	145	29.697	29
Poly kristal	145	26.469	29
İnce film	145	16.140	29

Enerji verimliliği açısından en olumlu [Tip 165] ve en olumsuz [Tip 35] alternatif senaryolar için fotovoltaiik yüzey analizleri sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'de gösterilmiştir.

Note: The calculation assumes that BIPV panels used on windows will have a lower efficiency than standard wall and roof panels.

Surface Variables					Shading Variables			Summary			
ID	Type	Direction	Tilt (degrees) ?	Panel Area (m ²)	Solar Exposure ?	Obstruction Shading ?	Annual Energy (kWh) ?	Potential Cost Savings		Payback per Surface (years) ▲	
								per year/m ²	per year		
aim11215	Roof	S	18	15	72.2%	0.0%	3,489	TL32.94	TL485		25.7
aim11255	Roof	S	18	15	72.2%	0.0%	3,571	TL32.94	TL496		25.7
aim11438	Roof	S	18	2	72.2%	0.0%	532	TL32.94	TL74		25.7
aim11293	Roof	S	18	3	70.9%	2.8%	754	TL32.32	TL105		26.0
aim11154	Roof	W	18	7	63.8%	0.0%	1,534	TL29.42	TL213		28.0
aim13842	Roof	S	17	4	62.3%	13.2%	826	TL28.99	TL115		28.3
aim11123	Roof	W	18	28	63.4%	1.1%	5,782	TL28.66	TL804		28.6
aim11745	Roof	N	18	24	63.5%	1.7%	4,984	TL28.64	TL693		28.6
aim11475	Roof	E	18	2	62.8%	6.2%	402	TL28.17	TL56		28.9
aim11586	Roof	E	18	15	59.3%	0.0%	2,817	TL26.68	TL392		30.2
aim11623	Roof	E	18	4	59.3%	0.0%	780	TL26.68	TL108		30.2
aim11660	Roof	E	18	13	59.3%	0.0%	2,547	TL26.68	TL354		30.2
aim11699	Roof	E	18	4	59.3%	0.0%	720	TL26.68	TL100		30.2
aim11784	Roof	N	18	7	50.2%	0.3%	1,117	TL22.83	TL155		33.8
aim11871	Roof	N	18	1	50.2%	0.0%	236	TL22.84	TL33		33.8
aim11328	Roof	W	18	0	63.2%	3.1%	0	TL0.00	TL0		100.0+
aim11364	Roof	W	18	0	4.4%	92.0%	0	TL0.00	TL0		100.0+
aim11401	Roof	W	18	0	36.7%	41.9%	0	TL0.00	TL0		100.0+
aim11512	Roof	N	18	0	45.3%	41.5%	0	TL0.00	TL0		100.0+
aim11549	Roof	N	18	0	36.0%	46.4%	0	TL0.00	TL0		100.0+

Şekil 4.9. Enerji verimliliği açısından en olumlu alternatif senaryo [Tip 165] için fotovoltaiik yüzey analizi

Note: The calculation assumes that BIPV panels used on windows will have a lower efficiency than standard wall and roof panels.

Surface Variables					Shading Variables		Summary			
ID	Type	Direction	Tilt (degrees) ⚙	Panel Area (m²)	Solar Exposure ⚙	Obstruction Shading ⚙	Annual Energy (kWh) ⚙	Potential Cost Savings		
								per year/m²	per year	Payback per Surface (years) ▲
aim12090	Roof	S	18	15	72.2%	0.0%	3,571	TL32.94	TL496	25.7
aim12273	Roof	S	18	2	72.2%	0.0%	532	TL32.94	TL74	25.7
aim14817	Roof	S	17	4	64.0%	8.9%	852	TL29.88	TL118	27.7
aim11958	Roof	W	18	28	63.7%	0.1%	5,936	TL29.42	TL825	28.0
aim11989	Roof	W	18	7	63.8%	0.0%	1,534	TL29.42	TL213	28.0
aim12050	Roof	S	18	15	63.5%	1.0%	3,040	TL28.70	TL423	28.5
aim12580	Roof	N	18	24	63.5%	1.7%	4,984	TL28.64	TL693	28.6
aim12128	Roof	S	18	3	61.9%	3.8%	653	TL27.98	TL91	29.1
aim12310	Roof	E	18	2	59.3%	0.0%	381	TL26.68	TL53	30.2
aim12421	Roof	E	18	15	59.3%	0.0%	2,817	TL26.68	TL392	30.2
aim12458	Roof	E	18	4	59.3%	0.0%	780	TL26.68	TL108	30.2
aim12495	Roof	E	18	13	59.3%	0.0%	2,547	TL26.68	TL354	30.2
aim12534	Roof	E	18	4	59.3%	0.0%	720	TL26.68	TL100	30.2
aim12619	Roof	N	18	7	50.2%	0.3%	1,117	TL22.83	TL155	33.8
aim12706	Roof	N	18	1	50.2%	0.0%	236	TL22.84	TL33	33.8
aim12163	Roof	W	18	0	63.2%	3.1%	0	TL0.00	TL0	100.0+
aim12199	Roof	W	18	0	4.4%	92.0%	0	TL0.00	TL0	100.0+
aim12236	Roof	W	18	0	36.7%	41.9%	0	TL0.00	TL0	100.0+
aim12347	Roof	N	18	0	38.4%	41.2%	0	TL0.00	TL0	100.0+
aim12384	Roof	N	18	0	36.0%	46.4%	0	TL0.00	TL0	100.0+

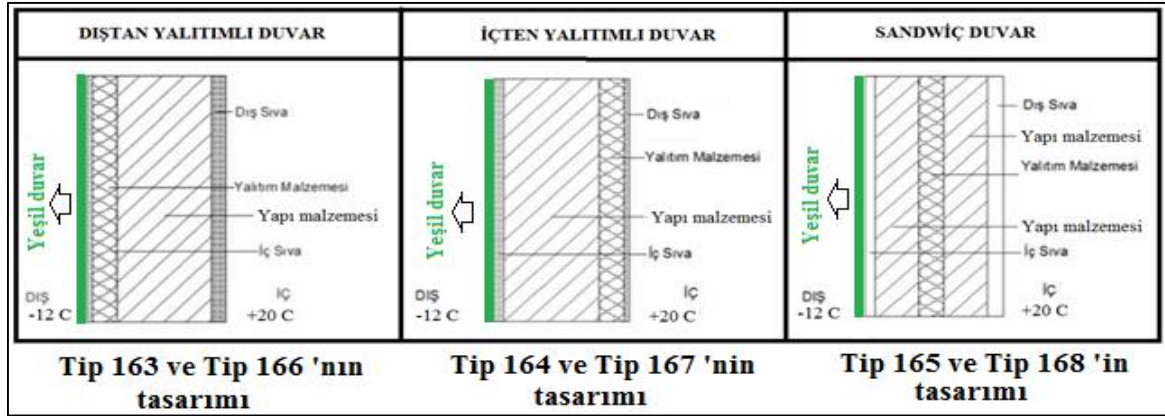
Şekil 4.10. Enerji verimliliği açısından en olumsuz alternatif senaryo [Tip 35] için fotovoltaik yüzey analizi

4.8. En Olumlu ve En Olumsuz Alternatif Senaryoların Dış Cephesinde Yeşil Duvar Olması Durumunun Analizi



Şekil 4.11. Yeşil duvar eklenmiş örnek villanın BIM modellemesi

Öncelikle analizi yapılan villanın 3 farklı duvar yapısı dikkate alınarak enerji tüketimi açısından en olumlu ve en olumsuz tip alternatif senaryoları belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen 6 tip alternatif senaryonun dış cephesine yeşil duvar eklenmesi durumunda çalışmada yapılan tüm analizler tekrarlanarak tasarımda enerji verimliliği açısından önemli parametrelerde elde edilecek iyileşme yüzdeleri tespit edilmiştir. Yeşil duvar eklenmiş örnek villanın BIM modellemesi Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Dış cephelerine yeşil duvar eklenerek tasarlanmış duvar yapılarının gösterimi Şekil 4.12’de verilmiştir. Tüm alternatif senaryoların enerji tüketimi [kWh] açısından en olumlu ve en olumsuz alternatiflerine yeşil duvar ekleyerek oluşturulmuş tipler Çizelge 4.16’da listelenmiştir.



Şekil 4.12. Dış cephelerine yeşil duvar eklenerek tasarlanmış duvar yapılarının gösterimi

Çizelge 4.16. Tüm alternatif senaryoların enerji tüketimi [kWh] açısından en olumlu ve en olumsuz alternatiflerine yeşil duvar ekleyerek oluşturulmuş tipler

Tip 163	İçten yalıtımlı duvar alternatif senaryoları arasında [Tip 1-54] en olumlu alternatif olan Tip 42'ye yeşil duvar eklenmiştir
Tip 164	Dıştan yalıtım duvar alternatif senaryoları arasında [Tip 55-108] en olumlu alternatif olan Tip 60'a yeşil duvar eklenmiştir.
Tip 165	Sandviç yapı duvar alternatif senaryoları arasında [Tip109-162] en olumlu alternatif olan Tip 150'ye yeşil duvar eklenmiştir.
Tip 166	İçten yalıtım duvar alternatif senaryoları arasında [Tip 1-54] en olumsuz alternatif olan Tip 35'e yeşil duvar eklenmiştir.
Tip 167	Dıştan yalıtım duvar alternatif senaryoları arasında [Tip 55-108] en olumsuz alternatif olan Tip 101'e yeşil duvar eklenmiştir.
Tip 168	Sandviç yapı duvar alternatif senaryoları arasında [Tip109-162] en olumsuz alternatif olan Tip 127'ye yeşil duvar eklenmiştir

4.8.1. Yeşil Duvar Eklenmesi Durumunda Yıllık Enerji Tüketimi Analizi

En olumlu alternatif senaryoların yeşil duvar eklenmesi durumunda yıllık enerji tüketimi [kWh] değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.17’de verilmiştir. En olumsuz alternatif

senaryoların yeşil duvar eklenmesi durumunda yıllık enerji tüketimi [kWh] değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.18’de gösterilmiştir.

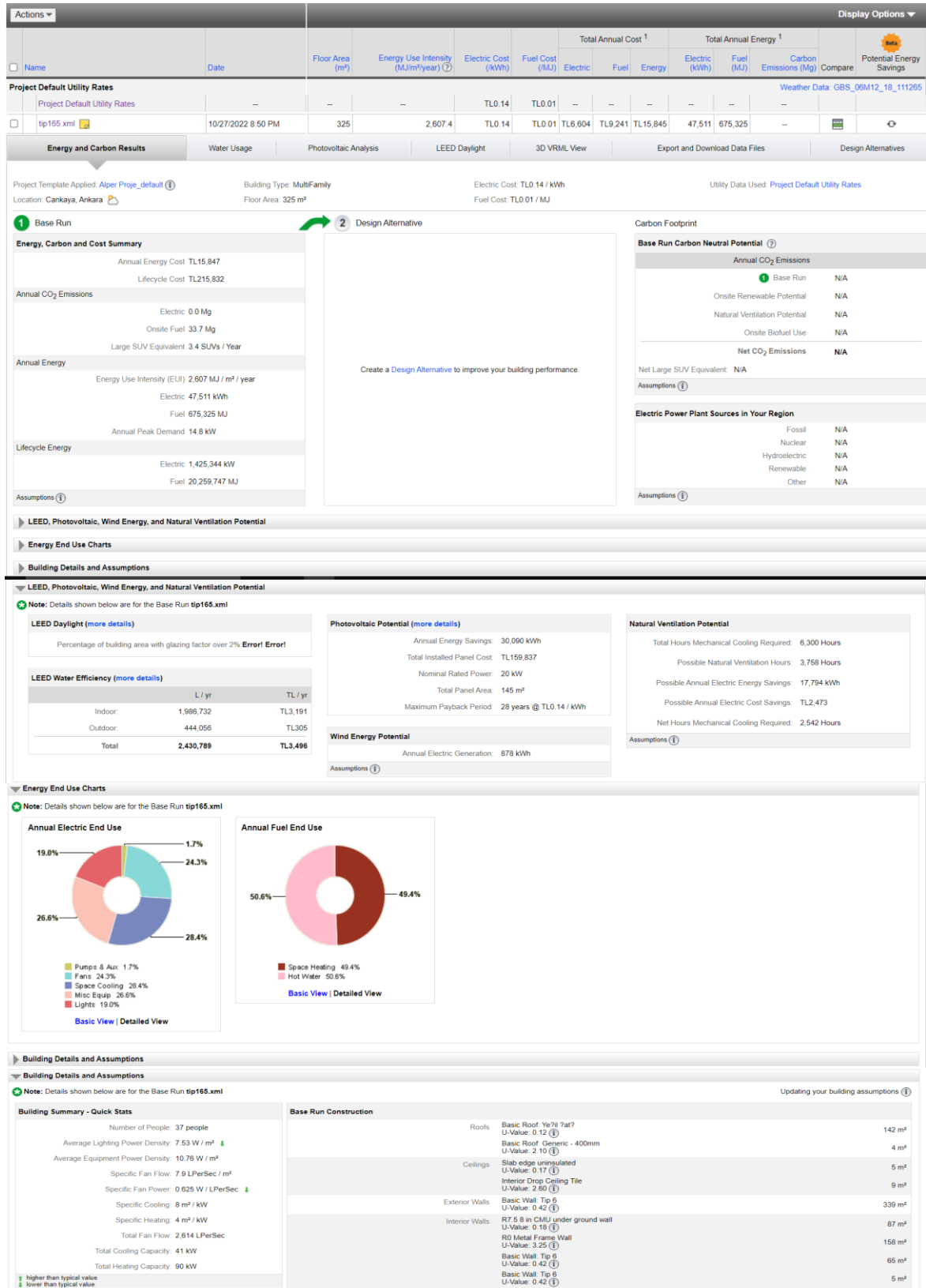
Çizelge 4.17. En olumlu alternatif senaryoların yeşil duvar eklenmesi durumunda yıllık enerji tüketimi [kWh] değerlerinin karşılaştırılması

	En olumlu tipler	Toplam yıllık enerji tüketimi					
		Elektrik (kWh)	Yeşil duvar eklenmesi durumunda % iyileşme	Yakıt (Doğal gaz) (kWh)	Yeşil duvar eklenmesi durumunda % iyileşme	Enerji Kullanım Yoğunluğu (kWh / m ² / Yıl)	Yeşil duvar eklenmesi durumunda % iyileşme
İçten yalıtımlı	Tip 163	48498	% 3,21	191011,5	% 14,73	739,06	% 12,30
	Tip 42	50111		224020,7		842,8	
Dıştan yalıtımlı	Tip 164	47804	% 0,89	190446,7	% 8,83	733,06	% 10,70
	Tip 60	48235		208905,5		820,96	
Sandviç	Tip 165	47511	% 3,10	189091	% 14,83	730,07	% 12,38
	Tip 150	49036		222026,3		833,28	

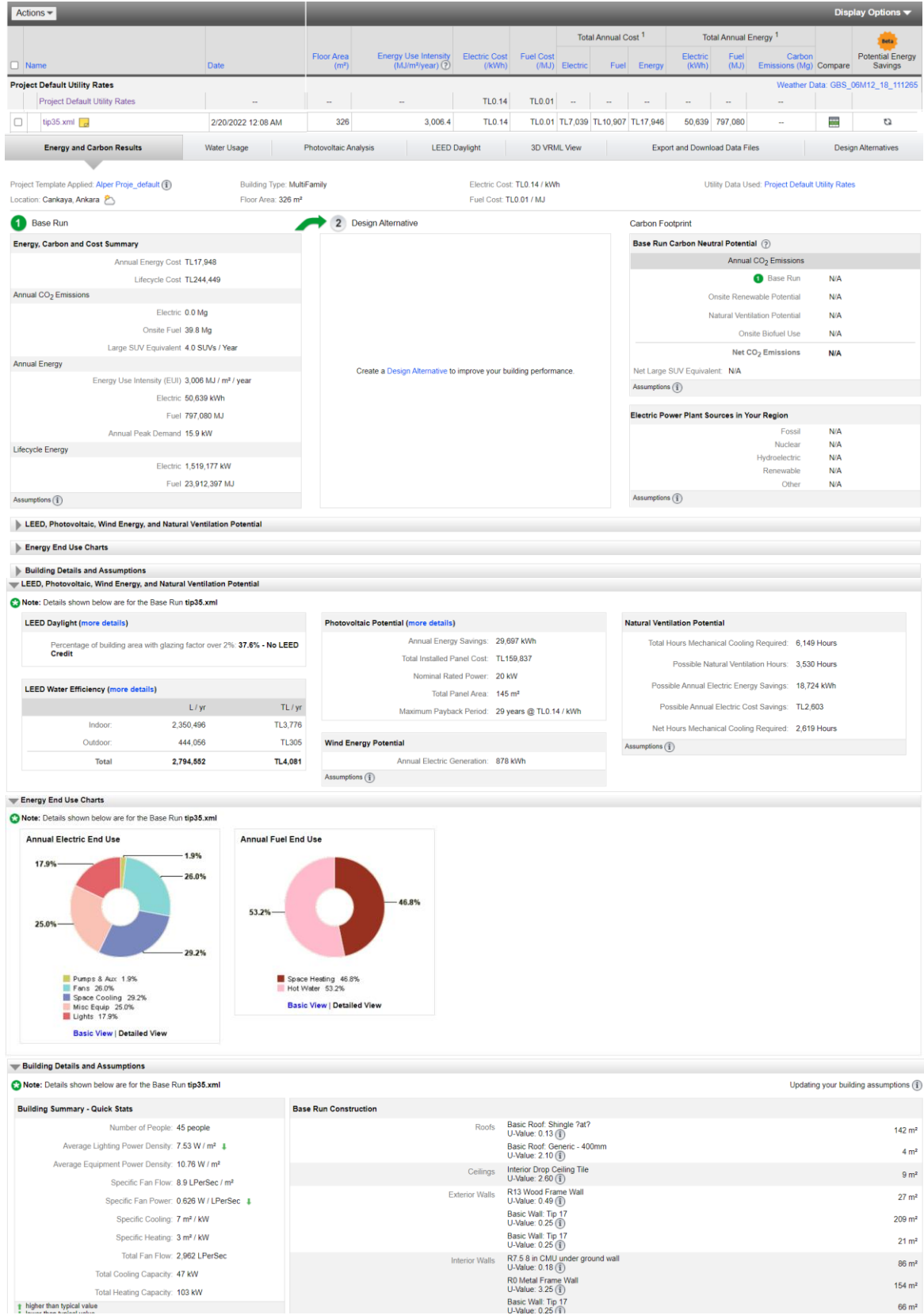
Çizelge 4.18. En olumsuz alternatif senaryoların yeşil duvar eklenmesi durumunda yıllık enerji tüketimi [kWh] değerlerinin karşılaştırılması

	En olumsuz tipler	Toplam yıllık enerji tüketimi					
		Elektrik (kWh)	Yeşil duvar eklenmesi durumunda % iyileşme	Yakıt (Doğal gaz) (kWh)	Yeşil duvar eklenmesi durumunda % iyileşme	Enerji Kullanım Yoğunluğu (kWh / m ² / Yıl)	Yeşil duvar eklenmesi durumunda % iyileşme
İçten yalıtımlı	Tip 166	48990	% 3,25	190291,6	% 14,73	738,36	% 12,36
	Tip 35	50639		223182,4		842,52	
Dıştan yalıtımlı	Tip 167	47981	% 2,10	187720,9	% 14,79	725,25	% 14,88
	Tip 101	49119		220325,6		852,04	
Sandviç	Tip 168	47907	% 3,14	187845,5	% 14,85	727,46	% 12,37
	Tip 127	49464		220620,1		830,2	

Çalışma sonucunda en olumlu alternatif olarak Tip 165 ve en olumsuz alternatif olarak Tip 35 kodlu tasarımlar için simülasyon programı üzerinden alınan analiz sonuçlarına ait ekran görüntüleri sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. En olumlu alternatif olarak belirlenen Tip 165'e ait analiz sonuçlarının ekran görüntüleri



Şekil 4.14. En olumsuz alternatif olarak belirlenen Tip 35'e ait analiz sonuçlarının ekran görüntüleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnşaat sektörü, dünya üzerindeki enerji tüketiminin ve karbon salımının en önemli kaynaklarından biridir. Küresel enerji tüketiminin yaklaşık %38'i yapı sektörüne ve konutlara aittir, ayrıca buna su gibi diğer kaynakların kullanımı dahil değildir. Binaların sebep olduğu bu etkiler küresel ısınma riskini artırmış ve yeşil bina kavramının ortaya çıkıp, gelişmesine yol açmıştır. Yeşil binalar ekonomik, kaynakları verimli kullanan ve klasik binalara kıyasla daha çevre dostu olarak tasarlanan yapılardır. Bina sektöründe yeşil bina uygulamaları, ekonomiklik, faydalılık, dayanıklılık, daha sağlıklı ortam ve konfor şartları gibi klasik bina tasarımlarını olumlu yönde geliştiren tamamlayıcı uygulamalardır. Enerji, su ve diğer kaynakları verimli bir şekilde kullanarak, bina sakinlerinin sağlığını koruyarak ve işletme verimliliğini artırarak ve atık, kirlilik ve çevresel bozulmayı azaltarak yapı çevrenin insan sağlığı ve doğal çevre üzerindeki genel etkisini iyileştirmek yeşil bina tasarımlarının temel amacıdır. Yeşil bina, yalnızca binaların enerji performansını iyileştirmeye hizmet etmeyecek, aynı zamanda yapı malzemelerinin, tekniklerinin ve teknolojisinin geri kazanımını ve geri dönüşümünü artırarak enerji tasarrufuna ve doğal kaynakların korunmasına da yardımcı olacaktır. Yeşil binanın yenilenebilir enerji sistemlerinden destek alarak tasarlanması ile binanın ihtiyaç duyduğu enerjiyi çevreci yöntemlerle karşılaması mümkündür.

Bu çalışmanın amacı, karasal iklim şartlarında yeşil bina tasarımlarının uygulanabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, Ankara ilinde bulunan mevcut bir binanın dış duvar bileşenleri alternatif malzeme senaryoları uygulanarak binanın enerji performans analizleri elde edilmiş ve tüm çıktılarıyla değerlendirilmiştir. Bu çalışmada mevcut binanın yapı bileşenlerinin farklı olması durumunda enerji performansı analizi ile maliyet ve çevresel tasarruflara vurgu yapılmaktadır. Ayrıca enerji talebini ve CO₂ emisyonlarını azaltmak için benimsenen malzeme seçimleri ve güneş enerjisi destekli fotovoltaik sistemler yardımıyla elde edilebilecek kazanımları belirlemektir. Bunun yanında yapının yeşil duvar ve yeşil çatı ile desteklenmesi durumunda tasarımda elde edilebilecek iyileştirmeler analiz edilmiştir.

Tip 150'nin dış duvarına yeşil duvar katmanı eklenerek oluşturulan Tip 165 enerji verimliliği açısından en performanslı tasarım olarak belirlenmiştir. Sandviç duvar yapısında yeşil çatı ve yeşil duvarla tasarlanan bu alternatif senaryoda yapı malzemesi olarak tuğla yalıtım malzemesi olarak koyun yünü kullanılmıştır.

Aynı şekilde alternatif senaryolar arasında enerji verimliliği açısından performansı en düşük tasarım Tip 35 ile elde edilmiştir. İçten yalıtımlı duvar yapısında shingle çatı ile tasarlanan bu alternatif senaryoda yapı malzemesi olarak bimsblok yalıtım malzemesi olarak poliüretan köpüğü kullanılmıştır.

Ayrıca bu bilgiler ışığında ve Şekil 4.8' de belirtilen mevcut binanın tüketim değerleri ve Çizelge 4.15' de belirtilen fotovoltaik panellerden elde edilebilen yıllık enerji üretimi değerleri karşılaştırıldığında mevcut binaya on-grid bir panel sistemi uygulandığı zaman gerçek tüketim değerlerinin yaklaşık %70'inin yenilenebilir kaynaklarla karşılanabileceğini görmekteyiz. Öte yandan aynı binaya yeşil duvar uygulaması yapıldığı zaman elde edilecek enerji tasarrufuyla birlikte faturaya yansıyan gerçek tüketim değerlerinin yaklaşık %79'unun yenilenebilir kaynaklardan karşılanabileceğini söyleyebiliriz.

Yapılan bu çalışma ile örnek bir bina için simulasyon destekli olarak elde edilen enerji performans çıktıları, farklı bina kabuğu bileşenlerinin ve güneş enerjisi destekli fotovoltaik sistemler kullanılmasıyla, enerji maliyetlerinde önemli tasarruflar ve CO₂ salımında azalma sağlayarak binanın daha yeşil bir binaya dönüştürülebileceğini göstermiştir. Simulasyon destekli uygulamaların binanın enerji tüketimi konusunda derinlemesine bilgi edinme açısından önemli olduğu belirlenmiştir. Bu çıktılar binanın enerji maliyetini optimize etme konusunda karar vermenin temelini sağlayabilir.

Çalışmamızda da görmüş olduğumuz üzere BIM tabanlı bina performansı analizleri gerçekçi ve tutarlı olduğundan bu sonuçlar bina performans analizleri için etkin bir şekilde kullanılabilir. Binaya ait enerji performansı değerlerinin araştırılmasıyla binanın enerji tüketimini azaltmak için gerekli stratejilere önceden karar verilebilir. Ayrıca, bu sürdürülebilir tasarım uygulamasının yardımıyla, tasarım alternatifleri üretme seçeneği ile sürdürülebilirliğin çeşitli yönleri araştırılabilir. Daha az enerji tüketen ve daha az karbon salan kendi kendine sürdürülebilir bina elde etmek için çeşitli tasarım parametreleri birleştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Zabalza Bribián, I., Valero Capilla, A., & Aranda Usón, A. (2011). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment*, 46(5), 1133–1140.
2. Gordon, R. L. (2003). Breaking new ground: Mining, Minerals and Sustainable Development. *Resources Policy*, 29(1-2), 69–70.
3. Chang, N.-B., Rivera, B. J., & Wanielista, M. P. (2011). Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties. *Journal of Cleaner Production*, 19(11), 1180–1188.
4. Mwasha, A., Williams, R. G., & Iwaro, J. (2011). Modeling the performance of Residential Building Envelope: The role of Sustainable Energy Performance Indicators. *Energy and Buildings*, 43(9), 2108–2117.
5. Gottfried, D. A. (1996). Sustainable Building Technical Manual - Green Building Design, Construction and operation. *Selecting Enviromentally and Economically Balanced Building Materials*, 32(2), 06–23.
6. Issa, M. H., Attalla, M., Rankin, J. H., & Christian, A. J. (2011). Energy consumption in conventional, energy-retrofitted and Green LEED Toronto Schools. *Construction Management and Economics*, 29(4), 383–395.
7. Simpson, J. R. (2002). Improved estimates of tree-shade effects on residential energy use. *Energy and Buildings*, 34(10), 1067–1076.
8. Council, I. G. B. (2015). IGBC green new buildings rating system. *IGBC*. India, 107-116
9. Aher, P. D., & Pimplikar, S. S. (2012). Green building construction techniques. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 1(8), 857-860
10. Retzlaff, R. (2010). Developing policies for green buildings: What can the United States learn from the Netherlands? *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 6(1), 28–38.
11. İnternet: Council,U.S.G.B.(2007). Building design deaders collaborating on carbon-neutral buildings by 2030. *US Green Building Council*. Web: www.usgbc.org/News/PressReleaseDetails.aspx?ID=3124S Erişim Tarihi: 04.05.2022.
12. Zuo, J., & Zhao, Z.-Y. (2014). Green Building Research–Current Status and Future Agenda: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 271–281.
13. Yang, Z., & Yang, J. (2009, October). Sustainable housing implementation through mutual benefits to stakeholders: a decision making approach. In *CRIOCM2009 International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate Nanjing, China*.

14. RSMeans. (2011). *Green building: Project Planning & Cost Estimating*. (3rd Edition). Wiley.
15. İnternet: IEA (2020). World Energy Outlook 2020. IEA. Web: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020> Erişim Tarihi: 20.07.2022.
16. İnternet: I.E.A. (2020). Energy Technology Perspectives 2020. IEA. Web: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020> Erişim Tarihi: 20.07.2022.
17. İnternet: Specific CO₂ emissions in residential buildings in republic of Korea. (2020). *United Nations Framework Convention on Climate Change* Web: https://cdm.unfccc.int/methodologies/standard_base/2015/sb146.html Erişim Tarihi: 19.07.2022.
18. United Nations Environment Programme. (2020). 2020 global status report for buildings and construction: towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector. *UNEP*.
19. Likhacheva Sokolowski, I., Maheshwari, A., & Malik, A. (2019). Green buildings: A finance and policy blueprint for emerging markets. *IFC*. Washington DC. 23-26.
20. İnternet: IMARC (2019). Green Building Materials Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2019-2024. *IMARC*. Web: <https://www.imarcgroup.com/green-building-materials-market> Erişim Tarihi: 15.08.2022.
21. Yudelson, J. (2008). Today's Green Building Market. *Marketing Green Building Services*, 26–51.
22. Tessema, F., & Taipale, K. (2010). *Sustainable Buildings & Construction in Africa*. Johannesburg: CSCP.
23. Liu, Y., Guo, X., & Hu, F. (2014). Cost-benefit analysis on Green Building Energy Efficiency Technology Application: A case in China. *Energy and Buildings*, 82, 37–46.
24. Cassidy, R., Wright, G., & Flynn, L. (2003). White paper on sustainability: A report of the green building movement. Building design and construction. *Oak Brook, IL*. 10-12.
25. Simpson, J. R. (2002). Improved estimates of tree-shade effects on residential energy use. *Energy and Buildings*, 34(10), 1067-1076.
26. Gioregetti, L. (2010). Sustainable Building Practices for low cost housing. *Implication for Climate Change Mitigation and Adaptation in Developing Countries*, 6(1), 28–38.
27. Reposá, J. H. (2009). Comparison of USGBC LEED for homes and the NAHB national green building program. *International Journal of Construction Education and Research*, 5(2), 108–120.
28. Science and Thecnology Council (1990). Science and Engineering Research Council Research Reports. *Building Services Engineering Research and Technology*, 11(1), 33–34.

29. Sandanayake, M., Gunasekara, C., Law, D., Zhang, G., Setunge, S., & Wanijuru, D. (2020). Sustainable criterion selection framework for green building materials—An optimisation based study of fly-ash Geopolymer concrete. *Sustainable Materials and Technologies*, 25,178.
30. Khoshnava, S. M., Rostami, R., Valipour, A., Ismail, M., & Rahmat, A. R. (2018). Rank of Green Building material criteria based on the three pillars of sustainability using the hybrid multi criteria decision making method. *Journal of Cleaner Production*, 173, 82–99.
31. Ragheb, A., El-Shimy, H., & Ragheb, G. (2016). Green Architecture: A concept of Sustainability. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216, 778–787.
32. Masood, O. A., Al-Hady, M. I., & Ali, A. K. (2017). Applying the principles of Green Architecture for saving energy in buildings. *Energy Procedia*, 115, 369–382.
33. Mattoni, B., Guattari, C., Evangelisti, L., Bisegna, F., Gori, P., & Asdrubali, F. (2018). Critical review and methodological approach to evaluate the differences among International Green Building Rating Tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 950–960.
34. Moghtadernejad, S., Chouinard, L. E., & Mirza, M. S. (2020). Design strategies using multi-criteria decision-making tools to enhance the performance of building façades. *Journal of Building Engineering*, 30, 101274.
35. Wang, Y.-D. (2010). Green economics, Green economy, green energy, and green energy economy. *Journal of Policy Development*, 10(1), 147–175.
36. Hoffman, A. J., & Henn, R. (2008). Overcoming the social and psychological barriers to Green Building. *SSRN Electronic Journal*. 21,390-419.
37. İnternet: The US Environmental Protection Agency (2022). Green Buildings. EPA. Web: <https://archive.epa.gov/greenbuilding> Erişim Tarihi: 21.01.2022.
38. Zuo, J., & Zhao, Z.-Y. (2014). Green Building Research—Current Status and Future Agenda: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 271–281.
39. Kuo, C.-F. J., Lin, C.-H., Hsu, M.-W., & Li, M.-H. (2017). Evaluation of intelligent green building policies in Taiwan – using fuzzy analytic hierarchical process and fuzzy transformation matrix. *Energy and Buildings*, 139, 146–159.
40. Yue, W., Cai, Y., Xu, L., Tan, Q., & Yin, X. A. (2016). Adaptation strategies for mitigating agricultural GHG emissions under dual-level uncertainties with the consideration of global warming impacts. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(4), 961–979.
41. Bayer, O. (2019). Insulation materials. *Energy Generation and Efficiency Technologies for Green Residential Buildings*, 149–172.
42. Merritt, F. S., & Ricketts, J. T. (2001). *Building design and construction handbook*. McGraw-Hill Education.

43. Howard, J. L. (2003). *The federal commitment to green building: experiences and expectations*. Washington: Federal Executive, Office Of The Federal Environmental Executive.
44. Johnston, D., & Gibson, S. (2008). *Green from the Ground Up: Sustainable, Healthy and Energy-efficient Home Construction: a Builder's Guide*. Taunton Press.
45. Schiavoni, S., D'Alessandro, F., Bianchi, F., & Asdrubali, F. (2016). Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 988–1011.
46. T.S.E. (2008). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları.
47. Kulaksızoğlu, Z. (2006). Isı Yalıtım Sektör Araştırması. *İstatistik Şubesi*, 1.
48. Kodur, V. K. R., & Harmathy, T. Z. (2016). Properties of building materials. *SFPE handbook of fire protection engineering*, 277-324.
49. Şimşek, Z. (2019). Çatı ve Cephede Su Yalıtım malzemelerinin seçim kriterlerinin incelenmesi. *Journal of Awareness*, 4(2), 227–238.
50. İnternet: Yönetmelik, B. Y. K. H. (2007). Resmî Gazete Sayı: 26735. Web: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/12/20071219-2.htm>. Erişim Tarihi: 18.07.2022.
51. Figueiro, R. (2011). Fibrous and composite materials for civil engineering applications.
52. İnternet: Rockwool : Technical Datasheet. Web: <https://www.rockwool.com/in/technical-resources/product-documentation/data-sheets/> Erişim Tarihi: 20.09.2022.
53. İnternet: Isover: Technical Datasheet. Web: https://www.isover-technical-insulation.com/documentation/market_document_listing Erişim Tarihi: 20.09.2022.
54. İnternet:Celenit: Technical Datasheet. Web: <https://www.celenit.com/en-UK/download/SchedaDownloadLingua-English> Erişim Tarihi: 20.09.2022.
55. İnternet: Fortlan-Dibi: Technical Datasheet. Web: https://www.fortlan-dibi.it/wp-content/uploads/2020/09/brochure_coperture_febbraio_2017 Erişim Tarihi: 20.09.2022.
56. Karamanos, A., Hاديarakou, S., & Papadopoulos, A. M. (2008). The impact of temperature and moisture on the thermal performance of Stone Wool. *Energy and Buildings*, 40(8), 1402–1411.
57. İnternet:Knauf: Technical Datasheet. Web: <https://knauf.com/en/knauf-insulation> Erişim Tarihi: 20.09.2022.
58. İnternet:BIM Thecnical Guideline. Web: <https://www.wbs-ltd.co.uk/technical-hub/building-information-modelling-bim/> Erişim Tarihi: 20.09.2022.

59. İnternet: Sirap Insulation Materials Thecnical Datasheet. Web: <http://www.sirapinsulation.com/insulation> Erişim Tarihi: 20.09.2022.
60. Lakatos, Á., & Kalmár, F. (2012). Analysis of water sorption and thermal conductivity of expanded polystyrene insulation materials. *Building Services Engineering Research and Technology*, 34(4), 407–416.
61. Vo, C. V., Bunge, F., Duffy, J., & Hood, L. (2011). Advances in thermal insulation of extruded polystyrene foams. *Cellular Polymers*, 30(3), 137–156.
62. İnternet: Production technologies of polyurethanes :Dow. Web: <https://www.dow.com/en-us/product-technology/pt-polyurethanes.html> Erişim Tarihi: 20.09.2022.
63. İnternet: Isopan Thecnical Datasheet: Isopan. Web: <https://isopan.com/products/isoparete-plus-2-pe-pg-ro-lu/> Erişim Tarihi: 20.09.2022.
64. Wu, J. W., Sung, W. F., & Chu, H. S. (1999). Thermal conductivity of polyurethane foams. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42(12), 2211–2217.
65. Kuhn, J., Ebert, H.-P., Arduini-Schuster, M. C., Büttner, D., & Fricke, J. (1992). Thermal transport in polystyrene and polyurethane foam insulations. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 35(7), 1795–1801.
66. Chattopadhyay, D. K., & Webster, D. C. (2009). Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes. *Progress in Polymer Science*, 34(10), 1068–1133.
67. Logakis, E., Christen, T., Schee, S., Adamczyk, B., Qi, L., & Liu, R. (2020). Oil-to-gel insulation: A novel eco-efficient insulation concept. *2020 IEEE 3rd International Conference on Dielectrics*.
68. İnternet: Recycletherm thecnical datasheet: Maiano. Web: <https://isolanti.maiano.it/recycletherm-km0/> Erişim Tarihi: 20.09.2022.
69. İnternet: Thecnical datasheet: Daemwool. Web: <https://www.schafwolldaemmung.at/de/warum-schafwolle.html> Erişim Tarihi: 20.09.2022.
70. İnternet: Thermal products thecnical datasheet: Manifattura Ariete. Web: <http://urlm.it/www.manifatturaariete.com> Erişim Tarihi: 20.09.2022.
71. İnternet: Sheepwool Insulation thecnical datasheet : Sheepwool Insulation. Web: <https://www.sheepwoolinsulation.com/where-to-use/external-walls/> Erişim Tarihi: 20.09.2022.
72. Ballagh, K. O. (1996). Acoustical properties of wool. *Applied Acoustics*, 48(2), 101–120.
73. Zach, J., Korjenic, A., Petránek, V., Hroudová, J., & Bednar, T. (2012). Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool. *Energy and Buildings*, 49, 246–253.

74. Clarke, J. A. (2007). *Energy Simulation in Building Design*. Routledge.
75. Ozturk, G. B. (2020). Interoperability in building information modeling for AECO/FM industry. *Automation in Construction*, 113, 103122.
76. Liao, Teo, & Chang. (2019). Reducing critical hindrances to building information modeling implementation: The case of the Singapore Construction Industry. *Applied Sciences*, 9(18), 3833.
77. Eastman, C. M., Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
78. Schwegler, B. (2010). Green BIM: Successful sustainable design with building information modeling by Eddy Krygiel and Bradley Nies. *Journal of Industrial Ecology*, 14(5), 859–860.
79. Rojas, E., Dossick, C., & Schaufelberger, J. (2010). Developing best practices for capturing as-built building information models (BIM) for existing facilities. <https://doi.org/10.21236/ada554392>.
80. Succar, B. (2009). Building Information Modelling Framework: A research and Delivery Foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.
81. Kamel, E., & Memari, A. M. (2019). Review of bim's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. *Automation in Construction*, 97, 164–180.
82. Gökgür, A. (2015). Current and future use of BIM in renovation projects. *Chalmers University of Technology*.
83. Douglass, C. D. (2011). *Instructional modules demonstrating building energy analysis using a building information model*. M.Sc. Thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign.
84. Becker, R., Loges, S., Brell-Cokcan, S., Falk, V., Hoenen, S., Stumm, S., Blankenbach, J., Hildebrandt, L., & Vallée, D. (2018). Bim – towards the entire lifecycle. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 13(01), 84–95.
85. Mohammed, A. B. (2020). Collaboration and BIM model maturity to produce green buildings as an organizational strategy. *HBRC Journal*, 16(1), 243–268.
86. Azhar, S., Khalfan, M., & Maqsood, T. (2015). Building Information Modelling (BIM): Now and beyond. *Construction Economics and Building*, 12(4), 15–28.
87. Wong, J.K.W., Zhou, J.X., Chan, A.P.C. (2018). Exploring the linkages between the adoption of BIM and design error reduction. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 13(1): 108-120.
88. Krygiel, E., & Nies, B. (2008). *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*. John Wiley & Sons.

89. Barison, M. B., & Santos, E. T. (2010, June). BIM teaching strategies: an overview of the current approaches. In *Proc., ICCCBE 2010 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*.
90. Welle, B., Haymaker, J., & Rogers, Z. (2011). ThermalOpt: A methodology for automated BIM-based multidisciplinary thermal simulation for use in optimization environments. *Building Simulation*, 4(4), 293–313.
91. El-Diraby, T., Krijnen, T., & Papagelis, M. (2017). BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of Green Buildings. *Automation in Construction*, 82, 59–74.
92. Wong, J. K., & Zhou, J. (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through Green Bim: A Review. *Automation in Construction*, 57, 156–165.
93. Özcan, H. (2010). *Yapı bilgi sistemleri ve mimarlıktaki yeri*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
94. Moakher, P. E., & Pimplikar, S. S. (2012). Building information modeling (BIM) and sustainability—using design technology in energy efficient modeling. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 1(2), 10-21.
95. Wang, H., Chiang, P. C., Cai, Y., Li, C., Wang, X., Chen, T. L., & Huang, Q. (2018). Application of wall and insulation materials on green building: a review. *Sustainability*, 10(9), 3331
96. Zuo, J., & Zhao, Z. Y. (2014). Green building research—current status and future agenda: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 271-281.
97. Wang, Z., & Yang, L. (2014). Indirect carbon emissions in household consumption: evidence from the urban and rural area in China. *Journal of Cleaner Production*, 78, 94-103.
98. Fan, J. L., Liao, H., Liang, Q. M., Tatano, H., Liu, C. F., & Wei, Y. M. (2013). Residential carbon emission evolutions in urban–rural divided China: an end-use and behavior analysis. *Applied Energy*, 101, 323-332.
99. Niu, H., He, Y., Desideri, U., Zhang, P., Qin, H., & Wang, S. (2014). Rural household energy consumption and its implications for eco-environments in NW China: A case study. *Renewable Energy*, 65, 137-145.
100. Qi, T., Zhang, X., & Karplus, V. J. (2014). The energy and CO2 emissions impact of renewable energy development in China. *Energy Policy*, 68, 60-69.
101. Shan, M., Wang, P., Li, J., Yue, G., & Yang, X. (2015). Energy and environment in Chinese rural buildings: Situations, challenges, and intervention strategies. *Building and Environment*, 91, 271-282.
102. Evans, M., Yu, S., Song, B., Deng, Q., Liu, J., & Delgado, A. (2014). Building Energy Efficiency in rural China. *Energy Policy*, 64, 243–251.

103. Shao, N., Zhang, J., & Ma, L. (2017). Analysis on indoor thermal environment and optimization on design parameters of rural residence. *Journal of Building Engineering*, 12, 229-238.
104. Maltese, S., Tagliabue, L. C., Cecconi, F. R., Pasini, D., Manfren, M., & Ciribini, A. L. (2017). Sustainability assessment through green BIM for environmental, social and economic efficiency. *Procedia Engineering*, 180, 520-530.
105. Wu, W., & Issa, R. R. (2015). BIM execution planning in green building projects: LEED as a use case. *Journal of Management in Engineering*, 31(1).
106. Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of building information modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7), 971-980.
107. Froese, T. M. (2010). The impact of emerging information technology on project management for construction. *Automation in Construction*, 19(5), 531-538.
108. Wu, W., & Issa, R. R. (2015). BIM execution planning in green building projects: LEED as a use case. *Journal of Management in Engineering*, 31(1).
109. Santos, R., Costa, A. A., & Grilo, A. (2017). Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015. *Automation in Construction*, 80, 118-136.
110. Wu, W., & Issa, R. R. (2012). Leveraging cloud-BIM for LEED automation. *Journal of Information Technology in Construction*, 17(24), 367-384.
111. Wong, J. K. W., & Zhou, J. (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Automation in Construction*, 57, 156-165.
112. Motawa, I., Carter, K. (2013). Sustainable BIM-based evaluation of buildings. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 74, 419-428.
113. Biswas, T., Wang, T. H., & Krishnamurti, R. (2013). From design to pre-certification using building information modeling. *Journal of Green Building*, 8(1), 151-176.
114. Barnes, S., & Castro-Lacouture, D. (2009). BIM-enabled integrated optimization tool for LEED decisions. In *Computing in Civil Engineering*, 258-268.
115. Azhar, S., Carlton, W. A., Olsen, D., Ahmad, I. (2011). Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. *Automation in Construction*, 20(2), 217-224.
116. Wu, W., & Issa, R. R. (2015). BIM execution planning in green building projects: LEED as a use case. *Journal of Management in Engineering*, 31(1).
117. Ilhan, B., & Yaman, H. (2016). Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions. *Automation in Construction*, 70, 26-37.

118. Wong, K. D., & Fan, Q. (2013). Building information modelling (BIM) for sustainable building design. *Facilities*, 31(3/4), 138-157.
119. Abanda, F. H., Tah, J. H. M., & Cheung, F. K. T. (2017). BIM in off-site manufacturing for buildings. *Journal of building engineering*, 14, 89-102.
120. Kymmell, W. (2008). *Building information modeling: Planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations (McGraw-Hill construction series)*. McGraw-Hill Education.
121. Motawa, I., & Carter, K. (2013). Sustainable BIM-based evaluation of buildings. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 74, 419-428.
122. Solla, M., Ismail, L. H., & Yunus, R. (2016). Investigation on the potential of integrating BIM into green building assessment tools. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(4), 2412-2418.
123. Hui, S. (2019, October). New opportunities of using building information modelling (BIM) for green buildings. In *Proceedings of the 15th Asia Pacific Conference, Kaohsiung, Taiwan*, 18-19.
124. Ebrahim, A., & Wayal, A. S. (2020). Green BIM for sustainable design of buildings. In *ICRRM 2019–System Reliability, Quality Control, Safety, Maintenance and Management: Applications to Civil, Mechanical and Chemical Engineering*, 185-189. Springer Singapore.
125. Dall'O', G., Zichi, A., & Torri, M. (2020). Green BIM and CIM: sustainable planning using building information modelling. *Green Planning for Cities and Communities: Novel incisive approaches to sustainability*, 383-409.
126. Ilhan, B., & Yaman, H. (2016). Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions. *Automation in Construction*, 70, 26-37.
127. Rathnasiri, P., & Jayasena, S. (2022). Green building information modelling technology adoption for existing buildings in Sri Lanka. Facilities management perspective. *Intelligent Buildings International*, 14(1), 23-44.
128. Lin, P. H., Chang, C. C., Lin, Y. H., & Lin, W. L. (2019). Green BIM assessment applying for energy consumption and comfort in the traditional public market: A case study. *Sustainability*, 11(17), 4636.
129. Khoshdelnezamiha, G., Liew, S. C., Bong, V. N. S., & Ong, D. E. L. (2019, June). BIM-based approach for green buildings in Malaysia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 268(1), 012052.
130. Maskil-Leitan, R., & Reychav, I. (2018). A sustainable sociocultural combination of building information modeling with integrated project delivery in a social network perspective. *Clean technologies and environmental policy*, 20, 1017-1032.
131. Chong, H. Y., Lee, C. Y., & Wang, X. (2017). A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability. *Journal of cleaner production*, 142, 4114-4126.

132. Shadram, F., Johansson, T. D., Lu, W., Schade, J., & Olofsson, T. (2016). An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design. *Energy and Buildings*, 128, 592-604.
133. Ahmad, T., Aibinu, A., & Thaheem, M. J. (2017). BIM-based iterative tool for sustainable building design: A conceptual framework. *Procedia engineering*, 180, 782-792.
134. Lin, Y., Zhou, S., Yang, W., & Li, C. Q. (2018). Design optimization considering variable thermal mass, insulation, absorptance of solar radiation, and glazing ratio using a prediction model and genetic algorithm. *Sustainability*, 10(2), 336.
135. Fonseca i Casas, A., Ortiz, J., Garrido, N., Fonseca, P., & Salom, J. (2018). Simulation model to find the best comfort, energy and cost scenarios for building refurbishment. *Journal of Building Performance Simulation*, 11(2), 205-222.
136. Huang, H., Nazi, W. I. B. W. M., Yu, Y., & Wang, Y. (2020). Energy performance of a high-rise residential building retrofitted to passive building standard—a case study. *Applied Thermal Engineering*, 181, 115902.
137. Bellia, L., Borrelli, M., De Masi, R. F., Ruggiero, S., & Vanoli, G. P. (2018). University building: Energy diagnosis and refurbishment design with cost-optimal approach. Discussion about the effect of numerical modelling assumptions. *Journal of Building Engineering*, 18, 1-18.
138. El-Darwish, I., & Gomaa, M. (2017). Retrofitting strategy for building envelopes to achieve energy efficiency. *Alexandria Engineering Journal*, 56(4), 579-589.
139. Mahdy, M. M., & Barakat, M. (2017). Thermal behaviour assessment for the different building envelope parts in Egypt under climate change scenarios. *Journal of Engineering Science and Military Technologies*, 1(2), 72-85.
140. Alnaser, N. W., Flanagan, R., & Alnaser, W. E. (2008). Model for calculating the sustainable building index (SBI) in the kingdom of Bahrain. *Energy and buildings*, 40(11), 2037-2043.
141. Alnaser, N. W., Flanagan, R., Alnaser, W. E. (2008b). "Model for calculating the sustainable building index (SBI) in the kingdom of Bahrain", *J. Energy and Buildings*, 40, 2037–2043.
142. Juan, Y. K., Gao, P., & Wang, J. (2010). A hybrid decision support system for sustainable office building renovation and energy performance improvement. *Energy and buildings*, 42(3), 290-297.
143. Taleb, H. M., & Sharples, S. (2011). Developing sustainable residential buildings in Saudi Arabia: A case study. *Applied Energy*, 88(1), 383-391.
144. Moghtadernejad, S., Mirza, M. S., & Chouinard, L. E. (2019). Determination of the fuzzy measures for multicriteria and optimal design of a building façade using Choquet integrals. *Journal of Building Engineering*, 26, 100877.

145. Wu, M. H., Ng, T. S., & Skitmore, M. R. (2016). Sustainable building envelope design by considering energy cost and occupant satisfaction. *Energy for sustainable Development*, 31, 118-129.
146. Ben-Alon, L., Loftness, V., Harries, K. A., & Hameen, E. C. (2021). Life cycle assessment (LCA) of natural vs conventional building assemblies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110951.
147. Dekkiche, H., & Taileb, A. (2016). The importance of integrating LCA into the LEED rating system. *Procedia Engineering*, 145, 844-851.
148. Vilcekova, S., Sedlakova, A., Burdova, E. K., & Vojtus, J. (2015). Comparison of environmental and energy performance of exterior walls. *Energy Procedia*, 78, 231-236.
149. Farahzadi, L., Urbano Gutierrez, R., Riyahi Bakhtiari, A., Azemati, H., & Hosseini, S. B. (2016). Assessment of Alternative Building Materials in the Exterior Walls for Reduction of Operational Energy and CO2 Emissions. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 5, 183-189.
150. Najjar, M., Figueiredo, K., Palumbo, M., & Haddad, A. (2017). Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building. *Journal of Building Engineering*, 14, 115-126.
151. Amani, N., & Kiaee, E. (2020). Developing a two-criteria framework to rank thermal insulation materials in nearly zero energy buildings using multi-objective optimization approach. *Journal of Cleaner Production*, 276, 122592.
152. Balali, A., & Valipour, A. (2020). Identification and selection of building façade's smart materials according to sustainable development goals. *Sustainable Materials and Technologies*, 26.
153. Moussavi Nadoushani, Z. S., Akbarnezhad, A., Ferre Jornet, J., & Xiao, J. (2017). Multi-criteria selection of façade systems based on sustainability criteria. *Building and Environment*, 121, 67-78.
154. Mostavi, E., Asadi, S., & Boussaa, D. (2017). Development of a new methodology to optimize building life cycle cost, environmental impacts, and occupant satisfaction. *Energy*, 121, 606-615.
155. Samuel, D. L., Dharmasastha, K., Nagendra, S. S., & Maiya, M. P. (2017). Thermal comfort in traditional buildings composed of local and modern construction materials. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), 463-475.
156. Gomaa Mayhoub, M. M., Ibrahim, M. G., Tarek El Sayad, Z. M., & Abdel Monteieb Ali, A. M. (2019, October). Development of Green Building Materials' Evaluation Criteria to Achieve Optimum Building Facade Energy Performance. In *Proceedings of the 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Innovative Technology Toward Energy Resilience, ICSEEA, Serpong, Indonesia*, 23-24.

157. Jalaei, F., & Jrade, A. (2015). Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings. *Sustainable Cities and Society*, 18, 95-107.
158. Beazley, S., Heffernan, E., & McCarthy, T. J. (2017). Enhancing energy efficiency in residential buildings through the use of BIM: The case for embedding parameters during design. *Energy Procedia*, 121, 57-64.
159. İnternet: About the Energy Model: Autodesk. Web: <https://knowledge.autodesk.com> Erişim Tarihi: 14 .03.2022.
160. Gerrish, T., Ruikar, K., Cook, M., Johnson, M., & Phillip, M. (2017). Using BIM capabilities to improve existing building energy modelling practices. *Engineering, Construction and Architectural Management*.
161. İnternet: Autodesk: Autodesk. Web: <https://www.autodesk.com/industry/aec/bim> Erişim Tarihi: 14 .03.2022.
162. Mostafavi, N., Farzinmoghadam, M., & Hoque, S. (2015). Envelope retrofit analysis using eQUEST, IESVE Revit Plug-in and Green Building Studio: a university dormitory case study. *International Journal of Sustainable Energy*, 34(9), 594-613.
163. İnternet: Green Building Studio: Autodesk. Web: <https://gbs.autodesk.com/GBS/> Erişim Tarihi: 28.05.2022.
164. Ebrahim, A., Wayal, A. S., & Cook, M. (2019). BIM based building performance analysis of a green office building. *International Journal of Science Engineering and Technology*, 8(8), 566-573.
165. Dikmen, N., & Ozkan, S. T. E. (2016). Unconventional insulation materials. *Insulation Materials in Context of Sustainability*.
166. Rahimikhoob, A., Behbahani, S., & Nazarifar, M. H. (2008). Estimation of cooling degree days (CDDS) from Avhrr Data and an MLF neural network. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 34(6), 596–6000.
167. Roshan, G. R., Ghanghermeh, A. A., & Attia, S. (2017). Determining new threshold temperatures for cooling and heating degree day index of different climatic zones of Iran. *Renewable Energy*, 101, 156-167.
168. WMO, & OMM. (1966). International meteorological vocabulary.
169. İnternet: CO2 Measurements. Web: <https://www.vaisala.com/en/measurement/carbon-dioxide-co2-measurements> Erişim Tarihi: 23.06.2022.
170. Lee, H. J., Kim, S. Y., & Yun, C. Y. (2017). Comparison of solar radiation models to estimate direct normal irradiance for Korea. *Energies*, 10(5), 594.
171. İnternet: Hospital 2020 Web: <http://hospital2020.org/Agreenhospital.html> Erişim Tarihi: 06.08.2022.

172. İnternet: About the Energy Model: Autodesk. Web: <https://knowledge.autodesk.com>
Erişim Tarihi: 14 .03.2022.
173. Nugraha Bahar, Y., Pere, C., Landrieu, J., & Nicolle, C. (2013). A thermal simulation tool for building and its interoperability through the building information modeling (BIM) platform. *Buildings*, 3(2), 380-398.
174. Crawford, R. (2011). *Life Cycle Assessment in the Built Environment*. Routledge.

EKLER

EK 1. Toplam Yıllık Enerji Tüketimi ve Toplam Yıllık Maliyet Değerleri (1MJ =0.28 kWh)

Tip	Toplam yıllık maliyet [TL]			Toplam yıllık enerji tüketimi		Enerji Kullanım Yoğunluğu (EUI)
	Elektrik	Yakıt (Doğal gaz)	Toplam Enerji maliyeti	Elektrik (kWh)	Yakıt (Doğal gaz) (kWh)	(kWh / m ² / Yıl)
1	6975	11010	17985	50179	225301.2	847
2	6981	11010	17990	50221	225287.2	847
3	6987	11004	17991	50263	225178.8	846.72
4	6995	10990	17985	50323	224892.4	846.16
5	7012	10971	17983	50449	224497.8	845.32
6	6974	11020	17994	50174	225495.2	847.56
7	6982	11001	17983	50229	225108.8	846.44
8	6987	11000	17987	50269	225088.6	846.44
9	6993	10996	17989	50309	225004.4	846.44
10	7001	10984	17985	50367	224760.8	845.88
11	7017	10967	17984	50484	224407.4	845.04
12	6981	11009	17990	50223	225277.6	847
13	6995	10989	17984	50324	224873	845.88
14	7000	10989	17989	50358	224865.5	846.16
15	7005	10986	17990	50393	224800	845.88
16	7011	10976	17987	50442	224594.7	845.6
17	7025	10960	17986	50542	224282.8	844.76
18	6994	10996	17990	50319	225004.4	846.44
19	6988	10956	17943	50270	224182	846.44
20	6994	10955	17948	50313	224169.4	843.64
21	6999	10950	17949	50355	224063.6	843.92
22	7008	10936	17943	50414	223780.5	843.64
23	7025	10917	17942	50541	223393.5	842.8
24	6987	10965	17952	50265	224374.9	842.24
25	6994	10946	17941	50320	223995.5	844.2
26	7000	10946	17946	50360	223977.3	843.36
27	7006	10941	17947	50401	223895	843.36
28	7014	10930	17943	50458	223653.9	843.36
29	7030	10913	17943	50576	223307.6	842.8
30	6994	10955	17948	50314	224163.8	841.96
31	7008	10935	17943	50416	223762	843.92
32	7013	10935	17947	50450	223755.3	842.8
33	7017	10932	17949	50485	223691.4	843.08
34	7024	10922	17946	50534	223489.6	842.52
35	7039	10907	17946	50639	223182.4	842.52
36	7007	10941	17949	50412	223892.5	841.68
37	6966	10938	17904	50116	223828.6	842.24
38	6972	10938	17910	50159	223814.9	842.24
39	6978	10932	17910	50201	223704	841.96
40	6986	10918	17905	50262	223424.3	841.4
41	7004	10899	17903	50387	223033.7	840.56
42	6965	10948	17913	50111	224020.7	842.8
43	6973	10928	17902	50167	223626.8	841.68
44	6979	10927	17906	50208	223607.2	841.68
45	6984	10924	17908	50248	223528.2	841.68
46	6992	10912	17904	50303	223286.3	841.12

EK 1. (devam) Toplam Yıllık Enerji Tüketimi ve Toplam Yıllık Maliyet Değerleri (1MJ
=0.28 kWh)

47	7008	10894	17903	50420	222931.5	840.28
48	6972	10937	17909	50160	223794.2	842.24
49	6987	10918	17905	50266	223412	841.4
50	6992	10918	17909	50301	223404.4	841.4
51	6997	10914	17911	50335	223335.8	841.4
52	7003	10904	17907	50383	223128.6	840.84
53	7018	10889	17906	50486	222810.6	840.28
54	6987	10924	17911	50263	223542.8	841.68
55	6707	10201	16908	48252	208735.2	820.68
56	6709	10197	16906	48265	208670.6	820.4
57	6712	10191	16903	48285	208539.5	820.12
58	6717	10176	16893	48326	208227.3	819.28
59	6727	10152	16879	48394	207747.4	817.88
60	6705	10209	16914	48235	208905.5	820.96
61	6724	10198	16922	48375	208684.6	820.68
62	6726	10195	16921	48386	208626	820.68
63	6728	10190	16918	48405	208510.7	820.4
64	6734	10176	16910	48444	208239.4	819.56
65	6742	10155	16897	48505	207806.8	818.44
66	6722	10205	16927	48358	208832.7	821.24
67	6728	10182	16909	48401	208343.2	819.84
68	6729	10179	16908	48408	208289.5	819.56
69	6731	10174	16904	48422	208186.2	819.28
70	6735	10162	16897	48450	207953.2	818.72
71	6741	10144	16885	48499	207567.4	817.6
72	6726	10187	16913	48386	208460.3	820.12
73	6726	10160	16887	48391	207907.8	818.44
74	6728	10157	16886	48406	207845.4	818.16
75	6731	10151	16882	48426	207717.2	817.88
76	6737	10136	16873	48466	207409.4	817.04
77	6746	10113	16859	48536	206934.8	815.64
78	6724	10168	16893	48375	208077	819
79	6744	10158	16902	48515	207860.2	818.72
80	6745	10155	16900	48527	207804.2	818.44
81	6748	10150	16898	48547	207691.7	818.16
82	6753	10137	16890	48585	207423.7	817.32
83	6762	10116	16878	48646	206999.8	816.2
84	6741	10165	16906	48499	208008.1	819
85	6747	10141	16889	48542	207524.2	817.6
86	6748	10139	16887	48549	207472.7	817.6
87	6750	10134	16884	48562	207370.8	817.32
88	6754	10123	16877	48592	207141.8	816.48
89	6761	10104	16866	48643	206762.9	815.64
90	6745	10147	16892	48526	207641	817.88
91	6793	10813	17606	48869	221270.8	854
92	6794	10810	17604	48881	221197.8	854
93	6797	10803	17600	48901	221062.8	853.44
94	6803	10788	17591	48940	220757.3	852.6
95	6812	10764	17576	49008	220268.4	851.48
96	6790	10821	17611	48851	221431.3	854.56
97	6810	10811	17621	48993	221221.3	854.28
98	6811	10808	17619	49002	221157.7	854.28
99	6814	10802	17616	49020	221039.3	854

EK 1. (devam) Toplam Yıllık Enerji Tüketimi ve Toplam Yıllık Maliyet Değerleri (1MJ
=0.28 kWh)

100	6819	10789	17608	49058	220770.2	853.16
101	6828	10767	17595	49119	220325.6	852.04
102	6807	10818	17625	48974	221361	854.84
103	6813	10794	17608	49017	220885.3	853.44
104	6814	10791	17606	49023	220823.4	853.16
105	6816	10786	17602	49036	220719.2	852.88
106	6820	10775	17595	49066	220488.8	852.32
107	6827	10756	17582	49114	220090.9	851.2
108	6811	10800	17611	49002	220993.6	853.72
109	6861	10833	17694	49361	221664.8	833.28
110	6828	10909	17736	49121	223219.9	837.2
111	6830	10902	17732	49139	223077.1	836.92
112	6835	10885	17720	49174	222741.1	835.8
113	6844	10860	17704	49237	222219.8	834.4
114	6824	10921	17745	49096	223476.7	838.04
115	6843	10909	17752	49228	223231.7	837.48
116	6844	10906	17749	49236	223163.1	837.48
117	6846	10899	17745	49251	223034.6	836.92
118	6851	10885	17736	49287	222740.6	836.36
119	6858	10862	17720	49340	222262.6	834.96
120	6840	10916	17757	49211	223383.2	838.04
121	6844	10889	17733	49234	222826.2	836.36
122	6844	10886	17729	49234	222752.3	836.08
123	6845	10880	17725	49243	222635	835.8
124	6849	10868	17716	49270	222384.1	835.24
125	6853	10846	17700	49303	221950.1	833.84
126	6841	10895	17736	49216	222936.3	836.64
127	6876	10781	17657	49464	220620.1	830.2
128	6841	10854	17694	49215	222094.6	834.12
129	6843	10847	17690	49234	221952.9	833.56
130	6848	10830	17679	49268	221622	832.72
131	6857	10805	17662	49328	221107.6	831.32
132	6837	10866	17703	49190	222348.6	834.68
133	6856	10854	17710	49323	222112	834.4
134	6857	10851	17708	49332	222043.6	834.12
135	6859	10845	17704	49346	221917.1	833.84
136	6864	10831	17695	49380	221627.3	833
137	6871	10808	17679	49433	221155.2	831.88
138	6854	10862	17715	49307	222262	834.96
139	6856	10835	17691	49324	221708.2	833.28
140	6856	10831	17687	49325	221635.4	833
141	6857	10825	17683	49334	221519.8	832.72
142	6861	10813	17674	49360	221273.6	831.88
143	6866	10792	17658	49395	220843.6	830.76
144	6854	10840	17694	49306	221816.8	833.56
145	6849	10752	17601	49272	220024.8	827.96
146	6820	10838	17657	49061	221773.7	832.72
147	6822	10831	17653	49078	221632.6	832.16
148	6827	10815	17642	49115	221301.9	831.32
149	6835	10790	17625	49176	220786.2	829.92
150	6816	10850	17666	49036	222026.3	833.28
151	6834	10838	17672	49168	221772.3	833
152	6835	10834	17670	49175	221704.3	832.72

EK 1. (devam) Toplam Yıllık Enerji Tüketimi ve Toplam Yıllık Maliyet Değerleri (1MJ
=0.28 kWh)

153	6837	10828	17666	49190	221577.2	832.44
154	6842	10814	17656	49226	221287.1	831.6
155	6850	10791	17641	49278	220814.2	830.2
156	6832	10845	17677	49149	221925.8	833.28
157	6835	10819	17653	49172	221378.6	831.6
158	6835	10815	17650	49173	221305.6	831.6
159	6836	10809	17645	49181	221189.4	831.04
160	6840	10797	17637	49208	220941.3	830.48
161	6845	10776	17621	49244	220510.4	829.36
162	6832	10824	17656	49153	221490.9	831.88
163	6741	9335	16076	48498	191011.5	739.06
164	6645	9307	15952	47804	190446.7	733.06
165	6604	9241	15845	47511	189091	730.07
166	6810	9299	16109	48990	190291.6	738.36
167	6669	9174	15843	47981	187720.9	725.25
168	6659	9180	15839	47907	187845.5	727.46

EK 2. Yıllık Enerji Son Kullanım Değerleri [%]

	Yıllık Elektrik Son Kullanım [%]					Yıllık Yakıt Son Kullanım [%]	
	İklimlendirme (HVAC)			Diğer	Işıklar	HVAC	Diğer
	Pompalar ve yardımcı ekipman	Fanlar	Alan soğutma	Çeşitli donanım	Işıklar	Alan ısıtma	Sıcak su
1	1.9	26.0	28.8	25.3	18.0	47.3	52.7
2	1.9	26.0	28.9	25.2	18.0	47.3	52.7
3	1.9	26.0	28.9	25.2	18.0	47.2	52.8
4	1.9	26.1	28.9	25.2	18.0	47.2	52.8
5	1.9	26.1	29.0	25.1	17.9	47.1	52.9
6	1.9	26.0	28.8	25.3	18.0	47.3	52.7
7	1.9	26.0	28.9	25.2	18.0	47.2	52.8
8	1.9	26.0	28.9	25.2	18.0	47.2	52.8
9	1.9	26.1	28.9	25.2	18.0	47.2	52.8
10	1.9	26.1	29.0	25.2	18.0	47.1	52.9
11	1.9	26.1	29.0	25.1	17.9	47.0	53.0
12	1.9	26.0	28.9	25.2	18.0	47.3	52.7
13	1.9	26.1	28.9	25.2	18.0	47.2	52.8
14	1.9	26.1	28.9	25.2	18.0	47.2	52.8
15	1.9	26.1	28.9	25.1	18.0	47.1	52.9
16	1.9	26.1	29.0	25.1	17.9	47.1	52.9
17	1.9	26.1	29.0	25.1	17.9	47.0	53.0
18	1.9	26.1	28.9	25.2	18.0	47.2	52.8
19	1.9	26.0	29.0	25.2	18.0	47.0	53.0
20	1.9	26.0	29.0	25.2	18.0	47.0	53.0
21	1.9	26.0	29.0	25.2	18.0	47.0	53.0
22	1.9	26.0	29.1	25.1	18.0	46.9	53.1
23	1.9	26.0	29.2	25.1	17.9	46.8	53.2
24	1.9	26.0	29.0	25.2	18.0	47.0	53.0
25	1.9	26.0	29.0	25.2	18.0	47.0	53.0
26	1.9	26.0	29.0	25.2	18.0	46.9	53.1
27	1.9	26.0	29.1	25.1	18.0	46.9	53.1
28	1.9	26.0	29.1	25.1	17.9	46.9	53.1
29	1.9	26.0	29.2	25.1	17.9	46.8	53.2
30	1.9	26.0	29.0	25.2	18.0	47.0	53.0
31	1.9	26.0	29.1	25.1	17.9	46.9	53.1
32	1.9	26.0	29.1	25.1	17.9	46.9	53.1
33	1.9	26.0	29.1	25.1	17.9	46.9	53.1
34	1.9	26.0	29.1	25.1	17.9	46.8	53.2
35	1.9	26.0	29.2	25.0	17.9	46.8	53.2
36	1.9	26.0	29.1	25.1	18.0	46.9	53.1
37	1.9	25.9	28.9	25.3	18.1	46.9	53.1
38	1.9	25.9	28.9	25.3	18.0	46.9	53.1
39	1.9	26.0	28.9	25.2	18.0	46.9	53.1
40	1.9	26.0	29.0	25.2	18.0	46.8	53.2
41	1.9	26.0	29.1	25.1	18.0	46.7	53.3
42	1.9	25.9	28.9	25.3	18.1	47.0	53.0
43	1.9	25.9	28.9	25.3	18.0	46.9	53.1
44	1.9	26.0	28.9	25.2	18.0	46.9	53.1
45	1.9	26.0	28.9	25.2	18.0	46.8	53.2
46	1.9	26.0	29.0	25.2	18.0	46.8	53.2
47	1.9	26.0	29.1	25.1	17.9	46.7	53.3
48	1.9	26.0	28.9	25.3	18.0	46.9	53.1
49	1.9	26.0	29.0	25.2	18.0	46.8	53.2

EK 2. (devam) Yıllık Enerji Son Kullanım Değerleri [%]

50	1.9	26.0	29.0	25.2	18.0	46.8	53.2
51	1.9	26.0	29.0	25.2	18.0	46.8	53.2
52	1.9	26.0	29.0	25.1	18.0	46.7	53.3
53	1.9	26.0	29.1	25.1	17.9	46.7	53.3
54	1.9	26.0	28.9	25.2	18.0	46.8	53.2
55	1.8	25.3	28.4	25.3	19.3	47.8	52.2
56	1.8	25.3	28.4	25.3	19.3	47.8	52.2
57	1.8	25.3	28.4	25.2	19.3	47.8	52.2
58	1.8	25.3	28.5	25.2	19.2	47.7	52.3
59	1.8	25.3	28.5	25.2	19.2	47.6	52.4
60	1.8	25.3	28.4	25.3	19.3	47.9	52.1
61	1.8	25.3	28.4	25.2	19.2	47.8	52.2
62	1.8	25.3	28.5	25.2	19.2	47.8	52.2
63	1.8	25.3	28.5	25.2	19.2	47.8	52.2
64	1.8	25.3	28.5	25.2	19.2	47.7	52.3
65	1.8	25.3	28.6	25.1	19.2	47.6	52.4
66	1.8	25.3	28.4	25.2	19.2	47.9	52.1
67	1.8	25.3	28.5	25.2	19.2	47.7	52.3
68	1.8	25.3	28.5	25.2	19.2	47.7	52.3
69	1.8	25.3	28.5	25.2	19.2	47.7	52.3
70	1.8	25.3	28.5	25.2	19.2	47.6	52.4
71	1.8	25.3	28.6	25.1	19.2	47.5	52.5
72	1.8	25.3	28.5	25.2	19.2	47.8	52.2
73	1.8	25.2	28.6	25.2	19.2	47.6	52.4
74	1.8	25.2	28.6	25.2	19.2	47.6	52.4
75	1.8	25.2	28.6	25.2	19.2	47.6	52.4
76	1.8	25.2	28.7	25.1	19.2	47.5	52.5
77	1.8	25.2	28.8	25.1	19.2	47.4	52.6
78	1.8	25.2	28.6	25.2	19.2	47.7	52.3
79	1.8	25.2	28.7	25.1	19.2	47.6	52.4
80	1.8	25.2	28.7	25.1	19.2	47.6	52.4
81	1.8	25.2	28.7	25.1	19.2	47.6	52.4
82	1.8	25.2	28.7	25.1	19.1	47.5	52.5
83	1.8	25.2	28.8	25.1	19.1	47.4	52.6
84	1.8	25.3	28.6	25.1	19.2	47.6	52.4
85	1.8	25.2	28.7	25.1	19.2	47.5	52.5
86	1.8	25.2	28.7	25.1	19.2	47.5	52.5
87	1.8	25.2	28.7	25.1	19.2	47.5	52.5
88	1.8	25.2	28.8	25.1	19.1	47.4	52.6
89	1.8	25.2	28.8	25.1	19.1	47.3	52.7
90	1.8	25.2	28.7	25.1	19.2	47.6	52.4
91	1.8	25.2	28.6	25.2	19.2	46.3	53.7
92	1.8	25.2	28.6	25.2	19.2	46.3	53.7
93	1.8	25.2	28.6	25.2	19.2	46.2	53.8
94	1.8	25.2	28.6	25.2	19.2	46.2	53.8
95	1.8	25.1	28.7	25.1	19.2	46.1	53.9
96	1.8	25.2	28.5	25.2	19.2	46.3	53.7
97	1.8	25.2	28.6	25.1	19.2	46.3	53.7
98	1.8	25.2	28.6	25.1	19.2	46.3	53.7
99	1.8	25.2	28.7	25.1	19.2	46.2	53.8
100	1.8	25.2	28.7	25.1	19.1	46.2	53.8
101	1.8	25.2	28.8	25.1	19.1	46.1	53.9
102	1.8	25.2	28.6	25.2	19.2	46.3	53.7
103	1.8	25.2	28.7	25.1	19.2	46.2	53.8
104	1.8	25.2	28.7	25.1	19.2	46.2	53.8

EK 2. (devam) Yıllık Enerji Son Kullanım Değerleri [%]

105	1.8	25.2	28.7	25.1	19.2	46.2	53.8
106	1.8	25.2	28.7	25.1	19.1	46.1	53.9
107	1.8	25.2	28.8	25.1	19.1	46.0	54.0
108	1.8	25.2	28.6	25.1	19.2	46.2	53.8
109	1.8	25.3	28.8	25.7	18.3	46.4	53.6
110	1.8	25.3	28.6	25.8	18.4	46.8	53.2
111	1.8	25.3	28.6	25.8	18.4	46.7	53.3
112	1.8	25.3	28.7	25.8	18.4	46.7	53.3
113	1.8	25.3	28.7	25.7	18.4	46.5	53.5
114	1.8	25.4	28.6	25.8	18.4	46.8	53.2
115	1.8	25.4	28.6	25.7	18.4	46.8	53.2
116	1.8	25.4	28.7	25.7	18.4	46.8	53.2
117	1.8	25.4	28.7	25.7	18.4	46.7	53.3
118	1.8	25.4	28.7	25.7	18.4	46.7	53.3
119	1.8	25.4	28.8	25.7	18.3	46.5	53.5
120	1.8	25.4	28.6	25.7	18.4	46.8	53.2
121	1.8	25.4	28.7	25.7	18.4	46.7	53.3
122	1.8	25.4	28.7	25.7	18.4	46.7	53.3
123	1.8	25.4	28.7	25.7	18.4	46.6	53.4
124	1.8	25.4	28.7	25.7	18.4	46.6	53.4
125	1.8	25.3	28.8	25.7	18.4	46.5	53.5
126	1.8	25.4	28.6	25.7	18.4	46.7	53.3
127	1.8	25.3	29.0	25.6	18.3	46.1	53.9
128	1.8	25.3	28.8	25.7	18.4	46.5	53.5
129	1.8	25.3	28.8	25.7	18.4	46.5	53.5
130	1.8	25.3	28.8	25.7	18.4	46.4	53.6
131	1.8	25.2	28.9	25.7	18.3	46.3	53.7
132	1.8	25.3	28.7	25.8	18.4	46.6	53.4
133	1.8	25.3	28.8	25.7	18.3	46.5	53.5
134	1.8	25.3	28.8	25.7	18.3	46.5	53.5
135	1.8	25.3	28.8	25.7	18.3	46.5	53.5
136	1.8	25.3	28.9	25.7	18.3	46.4	53.6
137	1.8	25.3	28.9	25.6	18.3	46.3	53.7
138	1.8	25.3	28.8	25.7	18.4	46.5	53.5
139	1.8	25.3	28.8	25.7	18.3	46.4	53.6
140	1.8	25.3	28.8	25.7	18.3	46.4	53.6
141	1.8	25.3	28.8	25.7	18.3	46.4	53.6
142	1.8	25.3	28.9	25.7	18.3	46.3	53.7
143	1.8	25.3	28.9	25.7	18.3	46.2	53.8
144	1.8	25.3	28.8	25.7	18.4	46.4	53.6
145	1.8	25.2	28.9	25.7	18.4	46.0	54.0
146	1.8	25.2	28.6	25.8	18.4	46.4	53.6
147	1.8	25.2	28.7	25.8	18.4	46.4	53.6
148	1.8	25.2	28.7	25.8	18.4	46.3	53.7
149	1.8	25.2	28.6	25.8	18.4	46.2	53.8
150	1.8	25.2	28.6	25.8	18.5	46.5	53.5
151	1.8	25.3	28.7	25.8	18.4	46.4	53.6
152	1.8	25.3	28.7	25.8	18.4	46.4	53.6
153	1.8	25.3	28.7	25.8	18.4	46.4	53.6
154	1.8	25.3	28.7	25.7	18.4	46.3	53.7
155	1.8	25.3	28.8	25.7	18.4	46.2	53.8
156	1.8	25.3	28.7	25.8	18.4	46.3	53.7
157	1.8	25.2	28.7	25.8	18.4	46.3	53.7
158	1.8	25.3	28.7	25.8	18.4	46.3	53.7
159	1.8	25.3	28.8	25.7	18.4	46.2	53.8

EK 2. (devam) Yıllık Enerji Son Kullanım Değerleri [%]

160	1.8	25.3	28.8	25.7	18.4	46.2	53.8
161	1.8	25.2	28.8	25.7	18.4	46.1	53.9
162	1.8	25.3	28.7	25.8	18.4	46.4	53.6
163	1.8	25.0	28.6	26.0	18.6	49.9	50.1
164	1.7	24.3	28.2	26.5	19.2	49.7	50.3
165	1.7	24.3	28.4	26.6	19	49.4	50.6
166	1.8	25.1	29.0	25.8	18.4	49.7	50.3
167	1.7	24.2	28.5	26.4	19.2	49	51
168	1.7	24.4	28.8	26.4	18.8	49	51

EK 3. Yıllık CO₂ Emisyonları, Yaşam Döngüsü Enerjisi

	Yıllık CO ₂ emisyonları		Yaşam döngüsü enerjisi	
	(Onsite) Yakıt	* Büyük SUV Eşdeğeri	Elektrik	Yakıt
	Mg	SUVs / Year	kW	kWh
1	40.1	4.0	1505368	6759030.6
2	40.1	4.0	1506631	6758618.2
3	40.1	4.0	1507884	6755366.5
4	40.1	4.0	1509676	6746770.8
5	40.0	4.0	1513480	6734931.8
6	40.2	4.0	1505214	6764858.5
7	40.1	4.0	1506864	6753265.7
8	40.1	4.0	1508073	6752662.6
9	40.1	4.0	1509280	6750132.5
10	40.0	4.0	1511002	6742819.4
11	40.0	4.0	1514510	6732221.2
12	40.1	4.0	1506692	6758325
13	40.1	4.0	1509722	6746191.2
14	40.1	4.0	1510746	6745967.8
15	40.0	4.0	1511794	6743996.3
16	40.0	4.0	1513256	6737842.4
17	39.9	4.0	1516257	6728487.4
18	40.1	4.0	1509566	6750129.1
19	39.9	4.0	1508106	6725457.5
20	39.9	4.0	1509401	6725084.5
21	39.9	4.0	1510646	6721905.1
22	39.9	4.0	1512421	6713410.2
23	39.8	4.0	1516227	6701802.2
24	40.0	4.0	1507961	6731243.4
25	39.9	4.0	1509588	6719865.6
26	39.9	4.0	1510798	6719315.4
27	39.9	4.0	1512021	6716847.5
28	39.8	4.0	1513749	6709615.9
29	39.8	4.0	1517281	6699226.8
30	39.9	4.0	1509432	6724909.8
31	39.9	4.0	1512483	6712861.7
32	39.9	4.0	1513515	6712660.1
33	39.8	4.0	1514557	6710739
34	39.8	4.0	1516020	6704682.6
35	39.8	4.0	1519177	6695471.2
36	39.9	4.0	1512349	6716771
37	39.9	4.0	1503483	6714862.6
38	39.9	4.0	1504760	6714445.9
39	39.8	4.0	1506024	6711123.7
40	39.8	4.0	1507862	6702731.3
41	39.7	4.0	1511624	6691010.8
42	39.9	4.0	1503327	6720621.6
43	39.8	4.0	1505014	6708802
44	39.8	4.0	1506245	6708217.3
45	39.8	4.0	1507445	6705848.5
46	39.8	4.0	1509096	6698589.2
47	39.7	4.0	1512614	6687945.6
48	39.9	4.0	1504814	6713823.5
49	39.8	4.0	1507990	6702362.5
50	39.8	4.0	1509017	6702135.7

EK 3. (devam) Yıllık CO₂ Emisyonları, Yaşam Döngüsü Enerjisi

51	39.8	4.0	1510056	6700072.7
52	39.7	4.0	1511492	6693862.6
53	39.7	4.0	1514573	6684317.6
54	39.8	4.0	1507882	6706280.3
55	37.2	3.7	1447565	6262055.5
56	37.2	3.7	1447953	6260117.6
57	37.1	3.7	1448540	6256181.4
58	37.1	3.7	1449767	6246823
59	37.0	3.7	1451825	6232422.8
60	37.2	3.7	1447049	6267163.6
61	37.2	3.7	1451255	6260537.6
62	37.2	3.7	1451573	6258780.4
63	37.1	3.7	1452143	6255318.7
64	37.1	3.7	1453317	6247177.4
65	37.0	3.7	1455154	6234202.8
66	37.2	3.7	1450733	6264983.8
67	37.1	3.7	1452017	6250298.9
68	37.1	3.7	1452227	6248685.2
69	37.1	3.7	1452646	6245580.6
70	37.0	3.7	1453508	6238599.4
71	37.0	3.7	1454961	6227023.3
72	37.1	3.7	1451566	6253811.8
73	37.0	3.7	1451741	6237234.4
74	37.0	3.7	1452172	6235363.7
75	37.0	3.7	1452781	6231514.8
76	36.9	3.7	1453976	6222284
77	36.9	3.7	1456072	6208041.8
78	37.1	3.7	1451248	6242305.4
79	37.0	3.7	1455456	6235804.7
80	37.0	3.7	1455803	6234123
81	37.0	3.7	1456398	6230747.9
82	36.9	3.7	1457536	6222710.8
83	36.9	3.7	1459372	6209997.4
84	37.0	3.7	1454965	6240239
85	37.0	3.7	1456265	6225728
86	37.0	3.7	1456482	6224184.1
87	37.0	3.7	1456847	6221124.8
88	37.0	3.7	1457771	6214250.3
89	36.8	3.7	1459292	6202883.4
90	37.0	3.7	1455792	6229226.6
91	39.4	3.9	1466083	6638126
92	39.4	3.9	1466435	6635934
93	39.4	3.9	1467026	6631883
94	39.3	3.9	1468196	6622720
95	39.2	3.9	1470254	6608050
96	39.4	4.0	1465533	6642939
97	39.4	3.9	1469795	6636634
98	39.4	3.9	1470060	6634732
99	39.4	3.9	1470609	6631175
100	39.3	3.9	1471741	6623108
101	39.2	3.9	1473581	6609763
102	39.4	4.0	1469229	6640826
103	39.3	3.9	1470523	6626562
104	39.3	3.9	1470704	6624701
105	39.3	3.9	1471094	6621577

EK 3. (devam) Yıllık CO₂ Emisyonları, Yaşam Döngüsü Enerjisi

106	39.3	3.9	1471966	6614661
107	39.2	3.9	1473426	6602724
108	39.4	3.9	1470065	6629808
109	39.5	4.0	1480822	6649944.8
110	39.8	4.0	1473616	6696601
111	39.7	4.0	1474168	6692311.9
112	39.7	4.0	1475222	6682231.9
113	39.6	4.0	1477106	6666593.6
114	39.8	4.0	1472892	6704296.2
115	39.8	4.0	1476850	6696952.9
116	39.7	4.0	1477069	6694892.4
117	39.7	4.0	1477529	6691034.3
118	39.7	4.0	1478615	6682215.1
119	39.6	4.0	1480194	6667878
120	39.8	4.0	1476317	6701495.6
121	39.7	4.0	1477033	6684788
122	39.7	4.0	1477034	6682572.1
123	39.7	4.0	1477296	6679053.4
124	39.6	4.0	1478102	6671523.6
125	39.5	4.0	1479095	6658500.2
126	39.7	4.0	1476474	6688084.2
127	39.3	3.9	1483927	6618607
128	39.6	4.0	1476460	6662841.4
129	39.5	4.0	1477012	6658590.1
130	39.5	4.0	1478032	6648658.8
131	39.4	3.9	1479854	6633230.5
132	39.6	4.0	1475702	6670455.1
133	39.6	4.0	1479696	6663358.8
134	39.5	4.0	1479951	6661312.6
135	39.5	4.0	1480379	6657508.2
136	39.5	4.0	1481406	6648817.6
137	39.4	3.9	1482994	6634659.4
138	39.6	4.0	1479215	6667857
139	39.5	4.0	1479734	6651249.4
140	39.5	4.0	1479738	6649058.6
141	39.5	4.0	1480027	6645591.1
142	39.4	3.9	1480802	6638207.5
143	39.3	3.9	1481847	6625307.6
144	39.5	4.0	1479194	6654502.7
145	39.2	3.9	1478170	6600744.4
146	39.5	4.0	1471838	6653208.2
147	39.5	4.0	1472328	6648973.8
148	39.4	3.9	1473443	6639061
149	39.3	3.9	1475282	6623581.4
150	39.5	4.0	1471067	6660785.9
151	39.5	4.0	1475038	6653173
152	39.5	4.0	1475239	6651124.2
153	39.5	4.0	1475708	6647312.3
154	39.4	3.9	1476773	6638615.8
155	39.3	3.9	1478344	6624424.8
156	39.5	4.0	1474483	6657768.6
157	39.4	4.0	1475173	6641359.2
158	39.4	3.9	1475180	6639167.6
159	39.4	3.9	1475423	6635681.6
160	39.4	3.9	1476233	6628234.2

EK 3. (devam) Yıllık CO₂ Emisyonları, Yaşam Döngüsü Enerjisi

161	39.3	3.9	1477308	6615313.3
162	39.4	4.0	1474597	6644726.8
163	34.0	3.4	1454930	5730344.7
164	33.9	3.4	1434109	5713398.6
165	33.7	3.4	1425344	5672727.1
166	33.9	3.4	1469689	5708745.8
167	33.4	3.4	1439433	5631627.9
168	33.5	3.4	1437216	5635363.4

* Yıllık CO₂ emisyonları için büyük SUV eşdeğeri: Bir spor arazi aracı (SUV) veya 4x4 en ağır binek araçlardan bazılarıdır. Yani yüksek yakıt tüketimiyle tanınırlar. Tipik elektrikli olmayan SUV 'lerin sorunu. orta büyüklükteki bir arabadan ortalama olarak yüzde 25 daha fazla karbon emisyonu üretmeleridir. Bu nedenle son yıllarda CO₂ emisyonu eşdeğer kıyaslamaları için 1 önceki yıl en yüksek CO₂ emisyonu salımı yapan SUV ile kıyaslanmaktadır.



Gazili olmak ayrıcalıktır...