



Araştırma Makalesi

ENERJİ ETKİN TASARIM İÇİN SİMÜLASYON DESTEKLİ PARAMETRİK ANALİZ

İlknur ARI¹, Prof. Dr. Figen BALO²

¹Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş ve Mühendislik Yönetimi, Elazığ, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Elazığ, Türkiye

¹ORCID: 0009-0002-2638-2265 ; ²ORCID: 0000-0001-5886-730X

✉Sorumlu Yazar: ilknurbzkrt93@outlook.com

Geliş tarihi: 14/04/2025

Kabul tarihi: 19/08/2025

Özet: Enerji, günümüz modern toplumlarının temel ihtiyaçlarından biridir. Ancak mevcut enerji talebi, büyük oranda nükleer enerji ve fosil yakıtlar gibi yenilenemez ve çevresel açıdan zararlı kaynaklardan karşılanmaktadır. Özellikle binalar, küresel karbondioksit salınımının yaklaşık %70'ine ve toplam enerji tüketiminin %40'ına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle yapı sektöründe enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda yeni yaklaşımlar geliştirilmesi kritik bir önem taşımaktadır. Bu çalışmada, İstanbul iklim koşullarında 100 m²'lik bir 1+1 stüdyo daire tasarlanarak, yapı malzemeleri ve iklim parametreleri IES-VE (Integrated Environmental Solutions Virtual Environment) simülasyon yazılımına entegre edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, farklı yapı malzemesi kombinasyonlarının enerji tüketimi ve karbondioksit salınımı üzerindeki etkilerini inceleyerek, enerji performansı yüksek ve çevre dostu tasarım alternatiflerini ortaya koymaktır. Simülasyon sürecinde çeşitli senaryolar oluşturularak, her bir malzeme kombinasyonunun enerji verimliliği performansı değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda en düşük enerji tüketim değeri 15.253 kWh, karbondioksit salınımı 5.491 kgCO₂ olarak elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, İstanbul koşullarına en uygun yapı malzemesi bileşimlerini belirlemekte ve mimarlar, mühendisler ile karar vericilere sürdürülebilir tasarım uygulamaları konusunda yol göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Çevresel sürdürülebilirlik,, Enerji etkin tasarım, Enerji verimliliği, IES-VE simülasyonu, Yapı malzemesi seçimi

PARAMETRIC ANALYSIS FOR ENERGY EFFICIENT DESIGN WITH IES-VE SOFTWARE

Abstract: Energy is one of the basic needs of modern societies. However, current energy demand is largely met from non-renewable and environmentally harmful sources such as nuclear power and fossil fuels. Buildings in particular contribute to approximately 70% of global carbon dioxide emissions and 40% of total energy consumption. Therefore, it is critical to develop new approaches in the building sector in line with energy efficiency and environmental sustainability goals. In this study, a 100 m² 1+1 studio apartment was designed in Istanbul climate conditions and building materials and climate parameters were integrated into IES-VE (Integrated Environmental Solutions Virtual Environment) simulation software. The main objective of the study is to examine the effects of different combinations of building materials on energy consumption and carbon dioxide emissions, and to present design alternatives with high energy performance and environmentally friendly design. During the simulation process, various scenarios were created and the energy efficiency performance of each material combination was evaluated. As a result of the analysis, the lowest energy consumption value was obtained as 15,253 kWh and carbon dioxide emission as 5,491 kgCO₂. The findings determine the most suitable building material combinations for Istanbul conditions and guide architects, engineers and decision makers on sustainable design practices.

Keywords: Environmental sustainability,, Energy efficient design, Energy efficiency, IES-VE simulation, Building material selection

1.Giriş

Enerji yaşamın devamı için temel bir gereksinimdir. Temel ihtiyaçlarımızın karşılanması, endüstriyel ve ticari faaliyetler, teknolojik gelişmeler, ulaşım, ev ve işyeri ısıtma-soğutma, tıbbi bakım, eğitim ve araştırma gibi birçok alanda enerjiye ihtiyaç duyarız. Enerjiyi karşıladığımız kaynakların başında fosil yakıtlar gelir. Kömür, petrol ve doğal gaz enerji ihtiyacımızı karşıladığımız fosil yakıtlardandır. Ayrıca nükleer enerjiden de elektrik üretimi için faydalanırız. Fosil yakıtlar iklim değişikliği, sera gazı ve çevresel kirlilik gibi büyük sorunlara sebep olmaktadır. Nükleer enerji de nükleer atık yönetimi ve güvenlik endişeleri gibi konulara sebep olmaktadır. Fosil yakıtların tükenebilir olma durumundan dolayı da kullanımını minimum düzeyde tutmak oldukça önemlidir. Ayrıca enerjinin sürdürülebilir bir şekilde kullanılması ve çevresel etkilerinin azaltılması da önemlidir. Fosil kökenli enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarı yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarından oldukça fazladır (Can, 2023). Enerji elde etmek amacıyla fosil yakıtlar yerine rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik enerji, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji gibi yenilenebilir kaynaklarından maksimum düzeyde ve en verimli şekilde faydalanmak günümüzde popüler konular arasındadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik araştırmalar ve uygulamalar giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Binalar küresel enerji tüketiminin yaklaşık %40' ından sorumludur. Bu ısıtma, soğutma, aydınlatma, elektrikli cihazlar ve diğer bina işlevleri için harcanan enerjiyi içermektedir. Binaların enerji tüketimindeki payı; bina türü, bina yapısı ve donanımı, iklim koşulları, kullanım alışkanlıkları gibi faktörlere bağlıdır (Vuarroz ve Jusselme, 2018). Uluslararası Enerji Ajansı'na göre, yapılarda en fazla enerji tüketimi ısıtma ve soğutma tarafından gerçekleşmektedir. Bu toplam enerji tüketiminin %37'si kadardır (Hafner vd., 2019). Binaların enerji verimliliğini arttırmak ve daha sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmak, küresel enerji tüketimini azaltmada önemli bir rol oynar. Binalarda enerji tüketiminin tahmin edilmesi, enerji verimliliği elde etmek ve ekolojik etkileri olabildiğince düşürmek enerji etkin yapı tasarımı için büyük önem taşır. Birçok ülke, enerji tüketimini azaltmak ve sera gazı emisyonlarını düşürmek için yapıları, gelişme potansiyeli yüksek bir sektör olarak görmekte ve bu alanda çeşitli uygulamalar yapmaktadır (Yıldız vd., 2021).

Enerji tüketimi ve karbon salınımlarının doğru biçimde tahmin edilmesi, yalnızca tasarım sürecinde değil, aynı zamanda işletme ve iyileştirme aşamalarında da karar vericilere yol gösterici olmaktadır. Bu amaçla geliştirilen bina enerji simülasyon araçları, yapıların termal davranışlarını, enerji gereksinimlerini ve çevresel etkilerini analiz etme kapasitesine sahiptir. BIM tabanlı araçlar (örneğin IES-VE, EnergyPlus, DesignBuilder, TRNSYS, OpenStudio ve IDA ICE), mimari modelleme ile enerji analiz süreçlerini entegre ederek, tasarım kararlarının erken aşamalarda test edilmesine olanak tanımaktadır (Çelebi, 2022).

Bayram ve Orhon (2020) tarafından yapılan bir derleme çalışmasında, faz değiştiren malzemelerin farklı iklim koşullarında bina performansına etkisi, TRNSYS ve EnergyPlus gibi simülasyon araçlarıyla değerlendirilmiştir. Bu çalışma, deneysel verilerin simülasyon çıktılarıyla eşleştirilmesinin önemini vurgulamaktadır (Bayram ve Orhon, 2020).

Dena ve arkadaşları (2021), EnergyPlus enerji simülasyon motorunu OpenStudio SGSAVE yazılımı aracılığıyla kullanarak, Meksika'nın mevcut enerji standartlarına uygunluğunu değerlendirebilecek bir enerji modeli geliştirmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, mevcut standardın iyileştirilmesi gerektiği ortaya konmuş; daha kapsamlı ve doğrulanabilir raporlamaların sağlanabilmesi için EnergyPlus simülasyon altyapısının sistematik biçimde uygulanması önerilmiştir (Dena vd., 2021).

Oral (2023), Türkiye'de farklı iklim bölgelerinde simülasyonlar gerçekleştirerek, Autodesk Revit gibi araçlarla enerji etkin tasarımın nasıl optimize edilebileceğini göstermiştir. Bu çalışma, pasif sistemlerin etkin kullanımıyla enerji tüketiminin azaltılabileceğini ortaya koymuştur (Oral, 2023).

Motawa ve arkadaşları (2021), enerji tasarrufu hedefi doğrultusunda, Mısır koşullarına uygun olarak yerel doğal taşlar “mermer ve kireçtaşı” ile birlikte poliüretan köpük ve ekstrüde polistiren (XPS) gibi yalıtım malzemelerinin bina dış cephe kaplamalarında kullanılabilirliğini değerlendirmiştir. Bu değerlendirme sürecinde DesignBuilder simülasyon yazılımından faydalanılarak farklı sürdürülebilir malzeme kombinasyonları test edilmiştir. Çalışma bulguları, önerilen yapı alternatiflerinin enerji tüketiminde %62'ye varan oranlarda azalma sağladığını ve toplam yaşam döngüsü maliyetlerinde %45,8 düzeyinde ciddi bir düşüşe olanak tanıdığını ortaya koymuştur (Motawa vd., 2021).

Belloso (2025) yaptığı çalışmada bina enerji simülasyonu yoluyla, ısıtma ve soğutma sistemlerinin performansını iki zıt iklim (İsveç ve İspanya) bağlamında analiz etmiştir. IDA ICE yazılımı ile gerçekleştirdiği detaylı enerji simülasyonları sayesinde, aylık ve yıllık enerji talebi, hizmet başına tüketim (ısıtma, soğutma ve kullanım sıcak suyu), toplam enerji maliyeti ve CO2 emisyonları gibi temel göstergeler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, sondaj termal enerji depolamalı jeotermal ısı pompasına dayalı sistemin her iki ülkede de enerji talebinde ve sera gazı emisyonlarında önemli bir azalmaya izin verdiğini göstermektedir (Belloso, 2025).

Bu çalışmanın temel amacı, yapı sektöründe enerji verimliliğini artırmak ve karbon salınımını azaltmak için bina performans simülasyonlarına dayalı bilimsel bir analiz gerçekleştirmektir. Bu doğrultuda, Integrated Environmental Solutions – Virtual Environment (IES-VE) simülasyon yazılımı kullanılarak örnek bir yapı modeli üzerinde enerji tüketimi ve karbon salınım miktarları hesaplanmıştır. Çalışma, simülasyon aracının sunduğu analiz kapasitesi ile enerji performansı verileri arasındaki ilişkiyi ortaya koymayı; aynı zamanda bu yazılımın sürdürülebilir tasarım süreçlerine katkı potansiyelini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışma, İstanbul iklim koşullarında yapı malzemesi kombinasyonlarının enerji tüketimi ve karbon salınımı üzerindeki etkilerini IES-VE simülasyon yazılımı aracılığıyla analiz ederek, enerji verimliliği odaklı bina tasarımına somut katkılar sunmaktadır. Literatürde, farklı iklim bölgelerine özgü malzeme optimizasyonu, karbon salımı hesaplamalarının doğruluğu ve enerji simülasyon araçlarının karşılaştırmalı analizleri gibi alanlarda belirgin boşluklar mevcuttur. Özellikle Türkiye özelinde IES-VE yazılımının akademik değerlendirmeleri sınırlı kalmıştır. Bu bağlamda çalışma; bölgesel iklim verilerine dayalı malzeme performansı analizleriyle iklim temelli tasarım stratejilerine ışık tutmakta, karbon ayak izi ve yaşam döngüsü verimliliğini birlikte ele alarak sürdürülebilir mimari karar mekanizmalarını desteklemektedir. Ayrıca, enerji modelleme çıktılarının tasarım sürecine entegrasyonuna dair uygulamalı bir örnek sunarak hem akademik hem de profesyonel alanda yol gösterici bir nitelik taşımaktadır.

1.1. Enerji Simülasyon Programları

Yapıların enerji tüketimini değerlendirmek, enerji verimliliği analizleri yaparak parametrik sistemi optimize etme yoluyla sağlanabilir. Bu amaçla çok sayıda enerji simülasyonu yapan programlar geliştirilmiştir. Enerji simülasyon programları, enerji verimliliğini artırmak, maliyetleri azaltmak ve çevresel etkileri minimize etmek amacıyla çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyada ve ülkemizde bu enerji simülasyon programlarının kullanımı gittikçe artmaktadır. Bu konu ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bazı enerji simülasyon programları ve yetenekleri şu şekildedir:

○ EnergyPlus

EnergyPlus, ABD Enerji Departmanı tarafından geliştirilen ve bina enerji tüketimi simülasyonu için kullanılan açık kaynaklı bir programdır. İyi bir esneklik sunar ve farklı iklim koşulları, bina sistemleri ve enerji stratejileri üzerinde detaylı analizler yapılmasına izin verir.

○ DesignBuilder

DesignBuilder, bina tasarımının enerji performansını değerlendirmek için kullanılan bir simülasyon ve analiz yazılımıdır. Kullanıcı dostu arayüzü sayesinde, bina tasarımcıları ve enerji uzmanları, farklı enerji verimliliği stratejilerini kolayca karşılaştırabilir ve optimize edebilirler.

○ TRNSYS

TRNSYS, çoklu enerji sistemlerinin modellenmesi ve simülasyonu için kullanılan bir yazılım paketidir. Bina enerji tüketimi, yenilenebilir enerji sistemleri, iklimlendirme sistemleri ve diğer enerji sistemleri üzerinde detaylı analizler yapılmasına izin verir.

○ IES VE

IES VE (Integrated Environmental Solutions - Virtual Environment) İngiltere’de geliştirilmiş, bina tasarımının enerji performansını değerlendirmek için kullanılan bir simülasyon ve analiz yazılımıdır. Enerji modelleme ve simülasyon, güneş ve günışığı analizi, karbon ayak izi ve sürdürülebilirlik, termal konfor analizi, dinamik simülasyonlar gibi çeşitli analizler yapılmasına olanak tanır. Mimari ve inşaat mühendisliği, mekanik ve elektrik mühendisliği ve yeşil bina sertifikasyonu alanlarında kullanılır. Kapsamlı analiz yeteneği, kullanıcı dostu ara yüzü ve detaylı raporlama gibi birçok avantajı bulunmaktadır. IES-VE, detaylı ve kapsamlı analiz yetenekleri ile bina performans simülasyonlarında oldukça güçlü bir araçtır ve enerji verimliliği çalışmalarında önemli katkılar sağlar.

○ OpenStudio

OpenStudio, enerji modelleme ve simülasyonu için kullanılan bir açık kaynaklı yazılım platformudur. Açık Bina Enstitüsü (Open Building Institute) tarafından geliştirilmiştir ve ABD Enerji Bakanlığı tarafından finanse edilmiştir. OpenStudio'nun açık kaynak olması, kullanıcıların yazılımı özelleştirmesine ve geliştirmesine olanak tanır. Ayrıca, birçok üçüncü taraf yazılım ve araçlarla entegrasyonu kolaydır. Bu, OpenStudio'nun bina enerji analizi topluluğunda popüler bir seçim haline gelmesine katkıda bulunur.

○ IDA-ICE

"IDA-ICE", bina enerji analizi ve simülasyonu için kullanılan bir yazılım programıdır. IDA-ICE, bina enerji tüketimini değerlendirmek, enerji tasarrufu önlemlerini değerlendirmek ve bina performansını optimize etmek için kullanılır. Bu yazılım, bina sistemlerini, yapı elemanlarını ve enerji kullanımını ayrıntılı bir şekilde modelleme yeteneğine sahiptir. IDA-ICE genellikle mühendislik firmaları, enerji danışmanları, mimarlar ve araştırmacılar tarafından bina enerji performansının değerlendirilmesi için kullanılır. Bu yazılım, bina tasarımı, yenileme projeleri ve enerji politikalarının geliştirilmesi gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilir.

Bu enerji simülasyon programlarının yetenekleri, sınırları ve erişilebilirlik yönünden karşılaştırmaları Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Enerji Simülasyon Programlarının Karşılaştırması

Yazılım	Yetenekleri	Sınırları	Erişilebilirlik
EnergyPlus	Termal yük, HVAC sistemleri, yenilenebilir enerji, detaylı fiziksel modelleme	Arayüzü teknik; grafiksel modelleme desteklemez	Açık kaynaklı, ücretsiz; aktif topluluk
DesignBuilder	EnergyPlus tabanlı; kullanıcı dostu arayüz; görsel modelleme; analiz modülleri	Lisans ücreti yüksek; bazı gelişmiş analizler ekstra modül gerektirir	Ticari yazılım; öğrenci/akademik lisans imkanı
TRNSYS	Esnek modüler yapı; çoklu enerji sistemleri; yenilenebilir enerji entegrasyonu	Kurulumu ve modelleme süreci karmaşık; yüksek öğrenme eğrisi	Ticari yazılım; üniversitelere özel lisanslar mevcut
IES VE	Termal konfor, gün ışığı analizi, karbon ayak izi, yeşil bina sertifikasyon desteği	Lisans maliyeti yüksek; donanım ihtiyacı fazla	Ticari yazılım; akademik indirim sunuluyor
OpenStudio	EnergyPlus ile entegre; Ruby tabanlı geliştirme; SketchUp ile uyumlu	Kodlama bilgisi gerekebilir; bazı modüller sınırlı kullanıcı deneyimi sunabilir	Açık kaynaklı, ücretsiz; geliştirici dostu

IDA ICE	Detaylı fiziksel modelleme; hassas enerji ve iç ortam simülasyonları	Modelleme süreci zaman alıcı; kullanıcı arayüzü karmaşık olabilir	Ticari yazılım; üniversite ve akademik versiyonu mevcut
----------------	--	---	---

2. Materyal ve Metot

Çalışmada İstanbul ili iklim şartları, yapıya ait genel özellikler ve kullanılan yapı malzemelerinin yoğunluk ve ısı iletkenlik katsayısı gibi teknik özellikleri IES-VE programına girdi olarak işlenmiştir. Çalışmanın tasarımdan analize kadar bütün aşamasında IES-VE enerji simülasyon programı kullanılmıştır.

IES-VE, sadece enerji tüketimi değil; aynı zamanda karbon salınımı, gün ışığı analizi, termal konfor ve iç hava kalitesi gibi çok yönlü performans kriterlerini bir arada değerlendirebilmektedir. Bu yönüyle EnergyPlus veya OpenStudio gibi araçlardan daha kapsamlı bir modelleme sağlamaktadır (IES, 2024). LEED ve BREEAM gibi uluslararası sürdürülebilirlik sertifikalarının kriterlerini destekleyen modülleri sayesinde, analiz sonuçlarının yalnızca teorik değil, aynı zamanda uygulamaya dönük doğruluğu sağlanabilmektedir (Özkaymak ve Şahin, 2021). Diğer simülasyon yazılımlarına kıyasla arayüz tasarımı daha erişilebilir olup, grafiksel modelleme olanakları güçlüdür. Bu yönüyle DesignBuilder ile benzer kolaylık sunarken, IES-VE'nin analiz kapasitesi daha kapsamlıdır (Ergün vd., 2023). Dinamik simülasyon altyapısı, saatlik bazda enerji kullanım verisi üretmektedir. Böylece bina davranışları farklı iklim senaryoları altında zaman-mekân hassasiyeti ile analiz edilebilmektedir. TRNSYS gibi modüler sistemlerde bu süreç daha karmaşıktır (Dogan, 2022). Karmaşık teknik altyapısına rağmen, kullanıcı arayüzü görsel modelleme açısından kolaylık sağlar. DesignBuilder ile benzer arayüz avantajı sunarken, simülasyon kapasitesi açısından daha güçlüdür (Ergün vd., 2023). IES-VE'nin doğruluğu birçok akademik çalışmada test edilmiştir. Özellikle karbon emisyonu ve enerji verimliliği analizlerinde güvenilir sonuçlar ürettiği kanıtlanmıştır (Akca vd., 2020).

2.1. IES-VE Programı

IES-VE programı, binaların enerji performansını, termal konforunu, aydınlatma analizlerini ve karbon emisyonlarını dinamik simülasyonlarla değerlendiren bütünleşik bir modelleme platformudur. Bu yazılım, ASHRAE, CIBSE, LEED, BREEAM gibi uluslararası standartlarla uyumlu sonuçlar üretir. Bu yazılımda kullanılan temel modüllerden ModelIT [3D bina geometrisinin oluşturulması], ApacheSim [Dinamik termal simülasyon (CIBSE TM54 uyumlu)], MacroFlo [Doğal havalandırma ve hava akışı analizi], SunCast [Gölgeleme ve güneş ışıınımı analizleri], VE-LCA [Yaşam döngüsü analizi (LCA) için karbon hesaplamaları] kullanılmaktadır (Crawley vd., 2008).

Modelleme adımlarına göre bu yazılımla geometrik model oluşturma ile bina katmanları (duvar, pencere, çatı) ve malzeme özellikleri (U-değerleri, ısı kütlesi) tanımlanır. İklim verileri (EPW formatında) yazılıma entegre edilir. Simülasyon parametrelerinin belirlenmesi ile kullanım senaryoları (örn. ofis çalışma saatleri, HVAC çalışma modları), enerji tüketim profilleri ve iç yükler (aydınlatma, ekipman, insan yoğunluğu) belirlenmektedir. IES-VE yazılımında mevcut doğrulama ve kalibrasyon ile simülasyon sonuçları, gerçek ölçüm verileri veya ASHRAE Guideline 14'e göre karşılaştırılmaktadır. CV(RMSE) ve NMBE istatistiksel metrikleri ile hata payı analizi yapılmaktadır. Analiz çıktıları olarak enerji tüketimi (kWh/m²-yıl), karbon ayak izi (kgCO₂/m²) ve termal konfor analizleri (PMV-PPD, adaptif konfor modelleri) elde edilmektedir (Mardaljevic vd., 2009). EN 15251 (Bina performans değerlendirme) ve ISO 13790 (Enerji verimliliği hesaplamaları) standartlarına göre analizlerin hesaplamalarını yapmaktadır (ISO, 2008). Bu yazılımın en önemli avantajları dinamik simülasyon alanındaki yeteneği (yıllık saat bazlı analiz). Ve BIM entegrasyonu (Revit, SketchUp bağlantısı) konusunda etkin olmasıdır. Bu yazılım ile ilgili başlıca sınırlamalar yüksek hesaplama süresi (karmaşık modellerde) ve kullanıcı deneyimi gerektiren ara yüzüdür (EN, 2007).

Bu çalışmada araştırılan binanın enerji performansı, IES-VE 2023 yazılımında dinamik termal simülasyon yöntemiyle analiz edilmiştir. Model, ASHRAE 90.1 standartlarına göre kalibre edilmiş ve yıllık enerji tüketimi, ApacheSim modülü kullanılarak hesaplanmıştır. Güneş ışıınımı analizleri için IES-

VE SunCast modülünden yararlanılmış ve pencerelerin gölgelenme oranları, yaz ayları için %25 olarak belirlenmiştir.

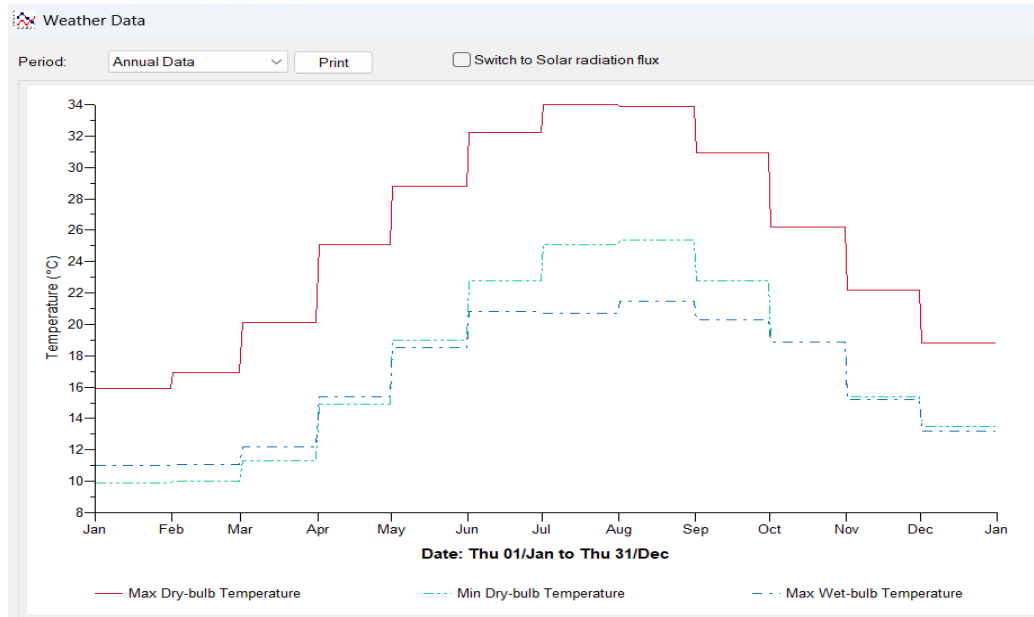
2.2. Projenin Hazırlanması Ve Modellenmesi

100 m² alana sahip bir studio daire tek kat olarak tasarlanmıştır. Yapının genel özellikleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Yapı Hakkında Genel Bilgiler

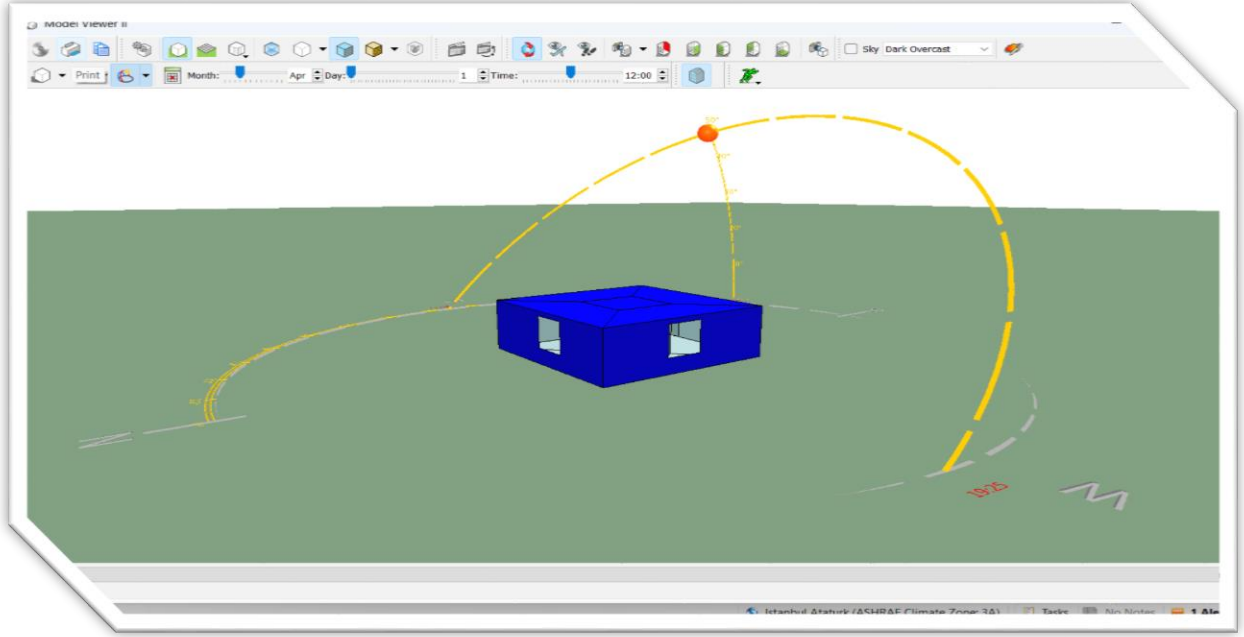
BİNA BİLGİLERİ	
Taşıyıcı Sistem	Betonarme
Toplam Kat	1
Kat Yüksekliği	3.30 m
Toplam İnşaat Alanı	100 m ²
Toplam Dış Duvar Yüzey Alanı	132 m ²
Toplam Pencere Alanı	12 m ²

İstanbul ili iklim verileri programda konum sekmesinden İstanbul ili seçilerek, programın kendi iklim verileri kullanılarak elde edilmiştir. Programdan elde edilen İstanbul ili için sıcaklık verileri Şekil 1’de sunulmuştur.

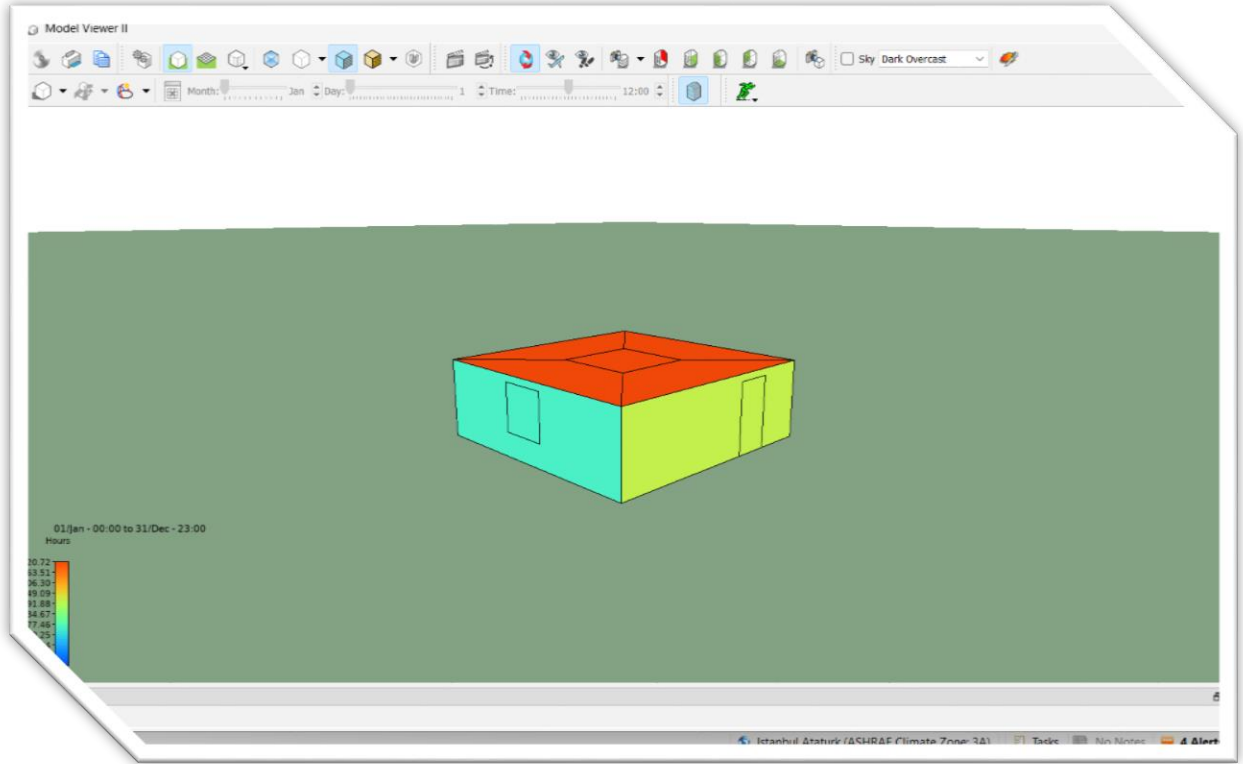


Şekil 1. İstanbul İli İçin Programdan Elde Edilen İklim Verileri

Yapının üç boyutlu modellemesi Şekil 2’de sunulmuştur. Yapının enerji modellemesi de Şekil 3’de sunulmuştur.



Şekil 2. Yapının IES-VE Simülasyonunda Üç Boyutlu Modellemesi



Şekil 3. Yapının IES-VE Simülasyonunda Enerji Modellemesi

2.3. Projede Kullanılan Malzeme Bilgileri

Çalışmada kullanılan malzemelerin kalınlık bilgileri Tablo 3’de gösterilmiştir. Çalışma için tasarlanan projede yapı malzemesi olarak yaygın kullanılan Bims, gaz beton ve tuğla kullanılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak ise taş yünü, XPS, cam yünü ve EPS kullanılmıştır.

Tablo 3.Kullanılan Malzemelerin Kalınlık Bilgileri

Malzeme Bilgisi	[mm]
Yapı Malzemesi Kalınlığı	190
Yalıtım Malzemesi Kalınlığı	50
Sıva Kalınlığı	40
TOPLAM	280

Çalışmada kullanılan yapı malzemelerinin ve yalıtım malzemelerinin termo-fiziksel özellikleri(ısı iletkenliği, yoğunluk katsayıları) Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.Yapı ve Yalıtım Malzemelerinin Termofiziksel Özellikleri

Yapı Malzemelerinin Termofiziksel Özellikleri			
		Isı İletkenliği [W/(m·K)]	Yoğunluk [kg/m³]
Yapı Malzemeleri	Bims	0,18	703,00
	Gazbeton	0,20	703,00
	Tuğla	0,24	703,00
Yalıtım Malzemeleri	Taş yünü	0,033	40,00
	XPS	0,031	16,00
	Cam yünü	0,031	15,00
	EPS	0,032	32,00
Sıva	Plaster	0,021	700,00

2.4. Uygulama Detayları

Çalışmada dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar tipi kullanılmıştır. Kullanılan 3 farklı duvar yapı malzemeleri ve her bir malzeme arasına seçilen 4 farklı yalıtım malzemeleri ile 3*4*2 olacak şekilde 24 farklı alternatif senaryo oluşturulmuştur. Bu alternatiflerin uygulama şekli Tablo 5’de gösterilmiştir.

Tablo 5. Malzemelerin Uygulama Biçimleri

TİP	Yapı Detayları				
1	Sıva (20mm)	Taş yünü (50mm)		Bims (190 mm)	Sıva (20mm)
2	Sıva (20mm)	XPS (50mm)		Bims (190 mm)	Sıva (20mm)
3	Sıva (20mm)	Cam Yünü (50mm)		Bims (190 mm)	Sıva (20mm)
4	Sıva (20mm)	EPS (50mm)		Bims (190 mm)	Sıva (20mm)
5	Sıva (20mm)	Taş yünü (50mm)		Gazbeton (190 mm)	Sıva (20mm)
6	Sıva (20mm)	XPS (50mm)		Gazbeton (190 mm)	Sıva (20mm)
7	Sıva (20mm)	Cam Yünü (50mm)		Gazbeton (190 mm)	Sıva (20mm)
8	Sıva (20mm)	EPS (50mm)		Gazbeton (190 mm)	Sıva (20mm)
9	Sıva (20mm)	Taş yünü (50mm)		Tuğla (190 mm)	Sıva (20mm)
10	Sıva (20mm)	XPS (50mm)		Tuğla (190 mm)	Sıva (20mm)
11	Sıva (20mm)	Cam Yünü (50mm)		Tuğla (190 mm)	Sıva (20mm)
12	Sıva (20mm)	EPS (50mm)		Tuğla (190 mm)	Sıva (20mm)
13	Sıva (20mm)	Bims(95 mm)	Taş yünü (50mm)	Bims(95 mm)	Sıva (20mm)
14	Sıva (20mm)	Bims(95 mm)	XPS (50mm)	Bims(95 mm)	Sıva (20mm)
15	Sıva (20mm)	Bims(95 mm)	Cam Yünü (50mm)	Bims(95 mm)	Sıva (20mm)

16	Sıva (20mm)	Bims(95 mm)	EPS (50mm)	Bims(95 mm)	Sıva (20mm)
17	Sıva (20mm)	Gazbeton(95 mm)	Taş yünü (50mm)	Gazbeton(95 mm)	Sıva (20mm)
18	Sıva (20mm)	Gazbeton(95 mm)	XPS (50mm)	Gazbeton(95 mm)	Sıva (20mm)
19	Sıva (20mm)	Gazbeton(95 mm)	Cam Yünü (50mm)	Gazbeton(95 mm)	Sıva (20mm)
20	Sıva (20mm)	Gazbeton(95 mm)	EPS (50mm)	Gazbeton(95 mm)	Sıva (20mm)
21	Sıva (20mm)	Tuğla(95 mm)	Taş yünü (50mm)	Tuğla(95 mm)	Sıva (20mm)
22	Sıva (20mm)	Tuğla(95 mm)	XPS (50mm)	Tuğla(95 mm)	Sıva (20mm)
23	Sıva (20mm)	Tuğla(95 mm)	Cam Yünü (50mm)	Tuğla(95 mm)	Sıva (20mm)
24	Sıva (20mm)	Tuğla(95 mm)	EPS (50mm)	Tuğla(95 mm)	Sıva (20mm)

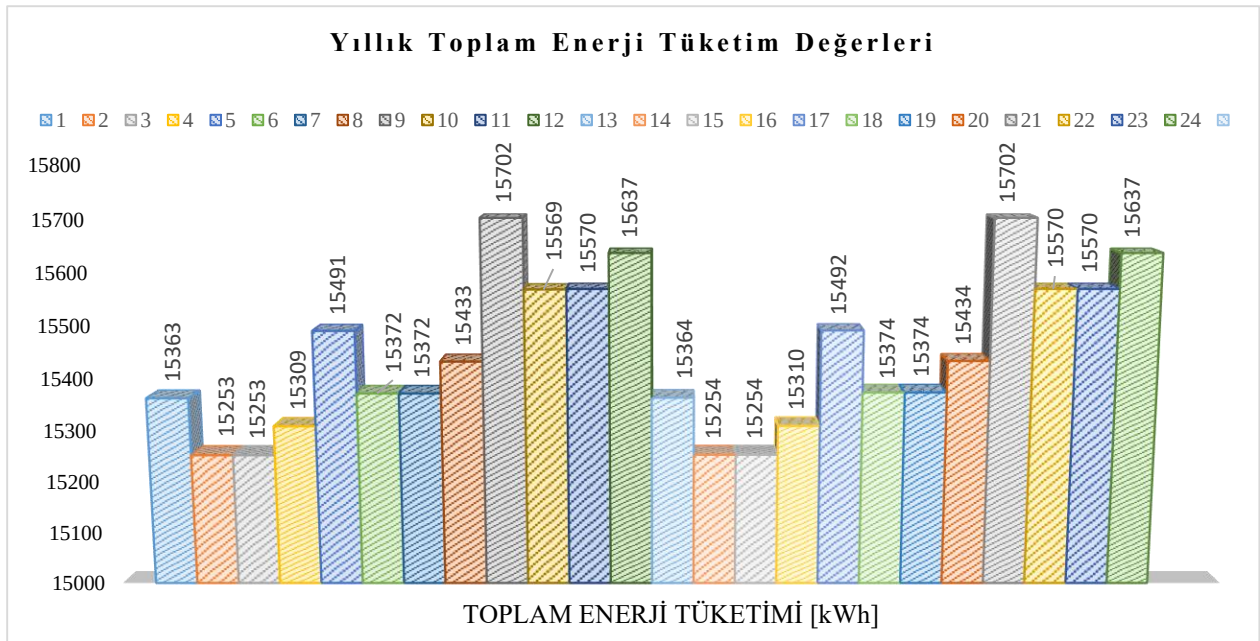
NOT: Alternatifler dışarıdan içerive doğru sıralanmıştır.

3. Bulgular

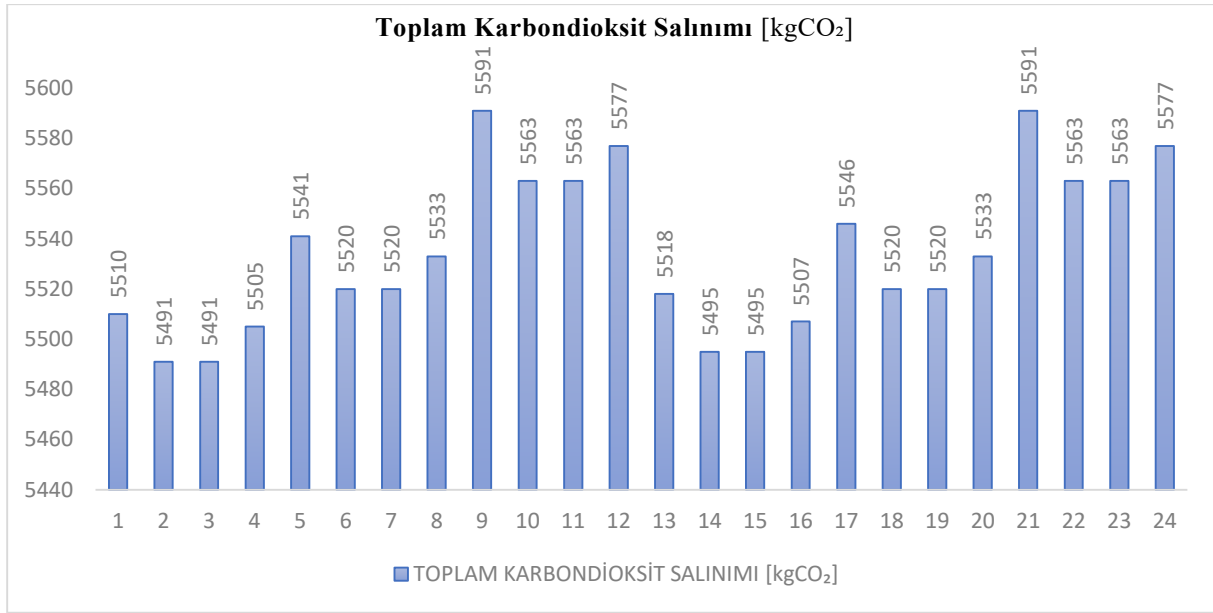
Çalışma için İstanbul ilinin iklimsel koşullarında, IES-VE enerji simülasyon yazılımı kullanılarak tasarlanan 100 m² alanda yer alan bir studio dairenin, seçilen bölgeye uygun yapı malzemeleri ve uygun yalıtım malzemeleri ile oluşturulan alternatifler ile inşa edilmesi durumu araştırılmıştır. Çalışmada seçilen 100 m²'lik 1+1 stüdyo daire modeli, İstanbul'daki yaygın konut tipolojilerinden biri olup, özellikle kentsel dönüşüm projeleri ve yeni rezidanslarda sıkça karşılaşılan bir ölçektir. Bu tercih, hem enerji performansı değerlendirmeleri için basit ve tekrarlanabilir bir referans oluşturması hem de İstanbul'un yoğun yapılaşmış kentsel dokusundaki gerçekçi bir senaryoyu temsil etmesi amacıyla yapılmıştır. Ayrıca, stüdyo dairelerin ısıtma/soğutma yüklerinin daha kontrollü analizine olanak sağlaması da model seçiminde etkili olmuştur.

Bu çalışmada, bina enerji performansı analizleri için IES-VE (Integrated Environmental Solutions Virtual Environment) yazılımı seçilmiştir. Bu tercih, yazılımın dinamik termal simülasyon (DTS) yeteneği, ASHRAE 140 standartlarıyla uyumlu doğrulama süreçleri ve İstanbul'un iklim verilerini desteklemesi gibi avantajlara dayanmaktadır. Ayrıca, akademik çalışmalarda yaygın kullanımı, BIM entegrasyonu ve kapsamlı raporlama özellikleri de karar sürecinde etkili olmuştur.

Belirlenen malzeme kombinasyonlarına İstanbul ili iklim şartları dikkate alınarak farklı kombinasyonlarla tasarlanan yapı alternatiflerinin yıllık toplam enerji tüketimi değerleri Şekil 4'de verilmiştir. İstanbul ili için planlanan studio dairenin IES-VE enerji simülasyon programı ile yapılan analizleri ile elde edilen toplam karbondioksit salınımı değerleri Şekil 5'de sunulmuştur.



Şekil 4. Yıllık Toplam Enerji Tüketim Değerleri



Şekil 5. Yıllık Toplam Karbondioksit Salınımı Değerleri

Yapılan simülasyon sonuçları, 24 farklı dış duvar konfigürasyonunun İstanbul iklim koşullarında yıllık toplam enerji tüketimi (kWh) ve karbondioksit salınımı (kgCO₂) açısından önemli farklılıklar ortaya koyduğunu göstermektedir. Alternatifler; kullanılan yapı malzemesi (Bims, Gazbeton, Tuğla), yalıtım türü (XPS, EPS, Cam Yünü, Taş Yünü), ve yalıtım uygulama biçimi (dıştan yalıtım veya sandviç panel) açısından çeşitlendirilmiştir.

En düşük enerji tüketimi değerleri, 2. ve 3. alternatiflerde sırasıyla 15.253 kWh ve 15.253 kWh olarak kaydedilmiştir. Aynı alternatiflerde karbondioksit salımı ise 5.491 kgCO₂ olarak ölçülmüştür. Bu konfigürasyonlarda dıştan yalıtım uygulanmış olup, yapı malzemesi olarak Bims, yalıtım malzemesi olarak sırasıyla XPS ve Cam Yünü kullanılmıştır. Bu sonuçlar, düşük ısı iletkenlik katsayısına (λ) sahip Bims'in enerji performansına olan katkısını ortaya koymaktadır. XPS'in $\lambda \approx 0.030$ W/mK, Cam Yünü'nün ise $\lambda \approx 0.040$ W/mK gibi düşük ısı iletkenlik değerleri, yapı kabuğunun ısı kayıplarını minimize etmektedir.

Sandviç duvar konfigürasyonlarında ise 14. ve 15. alternatifler öne çıkmaktadır. Bu alternatiflerde enerji tüketimi 15.254 kWh, karbondioksit salınımı ise 5.495 kgCO₂ olarak hesaplanmıştır. Her iki yapıda da çift katmanlı Bims blokları arasında XPS veya Cam Yünü yerleştirilmiştir. Bu yapı tipi, özellikle yapı kabuğunun ısıl kütlesini artırarak, gündüz-gece sıcaklık farklarının iç mekânlara etkisini azaltmaktadır.

Öte yandan, en düşük performans gösteren konfigürasyonlar 9. ve 21. alternatifler olup, her ikisinde de yıllık enerji tüketimi 15.702 kWh, CO₂ salımı ise 5.591 kgCO₂ olarak gerçekleşmiştir. Bu alternatiflerde yapı malzemesi olarak Tuğla, yalıtım olarak ise Taş Yünü tercih edilmiştir. Taş yününün yangın dayanımı yüksek olmasına rağmen, $\lambda \approx 0.045$ W/mK gibi daha yüksek bir ısı iletkenlik değerine sahip olması, enerji verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ayrıca tuğlanın ısıl kütlesi Bims veya Gazbeton'a kıyasla daha düşüktür, bu da enerji performansını sınırlandıran bir başka etkidir.

Tablo 6. Alternatiflerin Sıralanması

Tip	Yapı Malzemesi	Yalıtım Malzemesi	Duvar Tipi	EnerjiTüketimi (kWh)	CO ₂ Salınımı (kgCO ₂)
2	Bims (190mm)	XPS	Dıştan yalıtım	15.253	5.491
3	Bims (190mm)	Cam Yünü	Dıştan yalıtım	15.253	5.491
14	Bims (95mm + 95mm)	XPS	Sandviç panel	15.254	5.495
15	Bims (95mm + 95mm)	Cam Yünü	Sandviç panel	15.254	5.495
-	-	-	-	-	-
9	Tuğla (190 mm)	Taş Yünü	Dıştan yalıtım	15.702	5.591
21	Tuğla (95mm + 95mm)	Taş Yünü	Sandviç panel	15.702	5.591

Tablo 5'te sunulan 24 farklı malzeme kombinasyonu analizinde, taş yünü yalıtımlı sistemlerin (Tip 1,5,9,13,17,21) literatürde belirtilen üstün termal performans özellikleriyle uyumlu şekilde en düşük enerji tüketimini sağladığı gözlemlenmiştir (Le Duong Hung Anh ve Zolt'an P'asztory, 2021). Özellikle Tip 1 konfigürasyonu (taş yünü+bims), 15.253 kWh/yıl değeriyle TS 825 standardının öngördüğü sınır değerlerin altında performans sergilemiştir (Türk Standartları Enstitüsü. 2021).

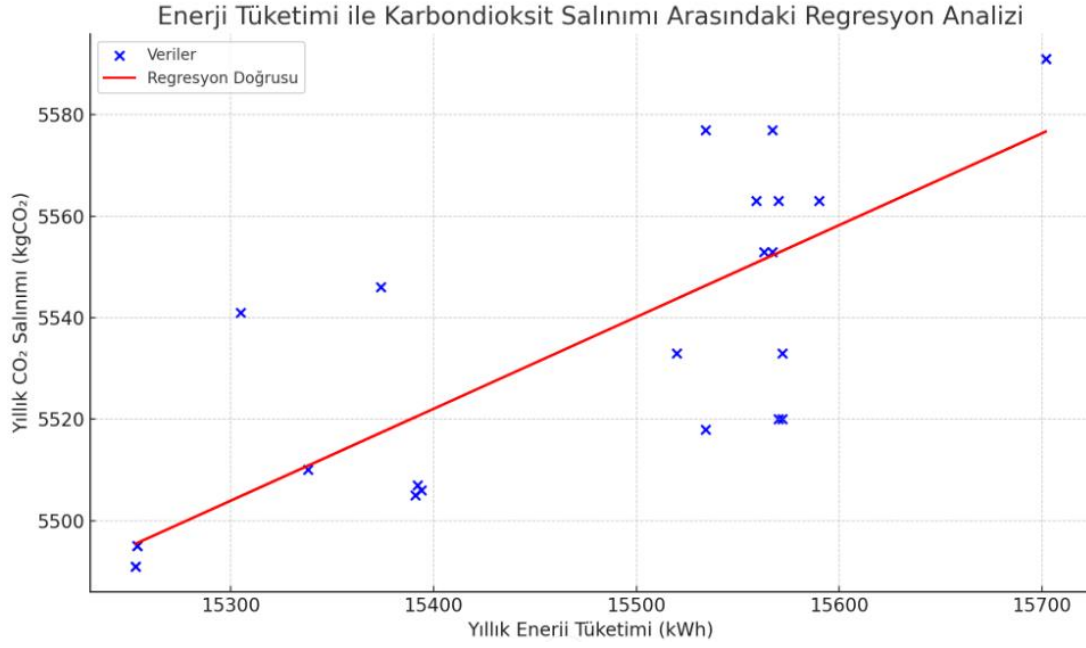
XPS ve EPS yalıtımlı sistemler arasındaki performans farkları (%2-3), malzemelerin farklı ısı iletkenlik katsayısı değerleri (XPS: 0.034 W/mK, EPS: 0.038 W/mK) ile açıklanabilir (Koru, 2016). Gazbeton ve tuğla kombinasyonlarında gözlenen enerji tüketim farklılıkları ise malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarındaki varyasyonlarla (gazbeton: 0.15 W/mK, tuğla: 0.45 W/mK) ilişkilendirilebilir (Kim ve Lee, 2012).

Bu sonuçlar, bina kabuklarında çok katmanlı yalıtım sistemlerinin önemini vurgulayan uluslararası çalışmalarla paralellik göstermektedir (Berardi ve Naldi, 2017, Khoukhi, 2018, Shahedan ve ark, 2017, Besant ve Miller, 1982, Aldrich ve Bond, 1985, Zach., 2012, Budaiwi, ve Abdou, 2013, Zhu ve ark., 2015).

Tablo 6, tüm alternatiflerin enerji tüketimi ve CO₂ salımı açısından sıralı değerlendirmesini sunmaktadır. En verimli ve en düşük performanslı yapı kabuğu alternatiflerinin ortak özellikleri Tablo 7'da özetlenmiştir.

Tablo 7. En Verimli Ve En Düşük Performanslı Yapı Kabuğu Alternatiflerinin Ortak Özellikleri

Performans Grubu	Yapı Malzemesi	Yalıtım Malzemesi	Duvar Tipi
En Verimli Alternatifler	Bims	XPS / Cam Yünü	Dıştan Yalıtımlı / Sandviç
En Düşük Performanslılar	Tuğla	Taş Yünü	Dıştan Yalıtımlı / Sandviç



Şekil 6. Regresyon Analizi

Modelin doğruluğu, IES-VE'nin ASHRAE Guideline 14 ve ISO 13790 gibi standartlara uygun entegre validasyon araçlarıyla kontrol edilmiştir. Çalışmada ölçüm bazlı validasyon verileri sunulmamakla birlikte, regresyon analizi ile yazılımın doğruluğu model güvenilirliğini desteklemektedir.

Şekil 6'da yer alan regresyon analizi grafiği, her bir alternatifin yıllık enerji tüketimi (kWh) ile yıllık karbondioksit salınımı (kgCO₂) arasındaki doğrusal ilişkiyi ortaya koymaktadır. Doğrusal regresyon, ısıtma/soğutma enerji talebinin başlıca dış sıcaklıkla (heating/cooling degree-day) lineer korelasyon göstermesi ve karbon yoğunluğunun sabit kabul edilmesi nedeniyle tercih edilmiştir.

Veri dağılımındaki sapmalar, kısmi yük koşullarında sistem verimliliğinin değişmesi, elektrik şebekesinin mevsimsel karbon yoğunluğu farklılıkları, ısıl kütle etkilerinin zamanla değişen davranışı gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Ancak enerji-CO₂ ilişkisinin temel termodinamik prensiplerle uyumu ve hesaplama basitliği ve mühendislik uygulamalarındaki yaygın kullanım nedeniyle doğrusal modelin kullanılması tercih edilmiştir.

Yapılan regresyon analizlerinde katsayılar,

R^2 (Determinasyon Katsayısı): 0.727

Eğim (slope): 1.008

Y-eksenini kesişim (intercept): 3951.87

yıllık enerji tüketimindeki her 1 kWh artışın, yaklaşık 1.008 kgCO₂ ilave salınımına neden olduğunu göstermektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada IES-VE enerji analiz programı ile yapılan analizlerin değerlendirilmesi ile elde edilen en olumlu alternatif ile en olumsuz alternatif değerleri kıyaslandığında; en iyi alternatifin kullanılması durumunda yıllık enerji tüketiminde % 2.86 ve yıllık karbondioksit salınımı miktarının da % 1.78 daha az kullanılmasına olanak tanınabileceği belirlenmiştir. En enerji etkin malzeme seçimi İstanbul ilinde daha az enerji kullanılmasını ve karbondioksit salınımında, dolayısıyla çevresel kirlilikte azalma sağlayacaktır.

Analiz sonucunda tüm alternatifler incelendiğinde duvar tipi olarak dıştan yalıtımlı duvar kullanmanın sandviç duvar kullanmaya göre daha enerji verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Yapı malzemelerinden en enerji etkin malzemenin Bims olduğu, yalıtım malzemelerinden XPS ve cam yününün, EPS ve taş yününe göre daha enerji etkin malzemeler olduğu görülmüştür.

İnsan faaliyetlerinin doğa üzerindeki en büyük etkilerinin binalarda ve kentlerde gerçekleştiği ortadadır. Aynı zamanda, bu etkilere en fazla katkıda bulunan unsurların binalar ve kentler olduğunun farkına varılmaya başlanmıştır. Bu bilinçlenme, enerji verimliliği konularının önem kazanmasıyla birlikte artacaktır (Berberoğlu, 2009).

Bu çalışma kapsamında, binalarda enerji verimliliğini artırmak ve karbon salınımını azaltmak amacıyla IES-VE simülasyon yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda, yapı performans değerlendirmelerinde dijital simülasyonların önemli bir katkı sunduğu ortaya konmuştur. Simülasyonlar sayesinde yıllık enerji tüketimi ve karbon salınım değerleri gerçekçi ve sistematik bir yaklaşımla hesaplanabilmiş; bu da tasarım süreçlerinde çevresel etkilerin bilimsel temelde öngörülebilmesini mümkün kılmıştır.

IES-VE'nin sunduğu detaylı modelleme araçları, termal konfor ve sürdürülebilirlik kriterlerini aynı çatı altında değerlendirme olanağı sağlamış; yazılımın akademik ve pratik uygulamalarda geçerliliği doğrulanmıştır. Elde edilen bulgular, bina enerji performansının yalnızca tasarım kararlarına değil, aynı zamanda simülasyon aracının doğruluğuna da bağlı olduğunu göstermiştir.

Bu doğrultuda, enerji verimliliği odaklı bina projelerinde simülasyon tabanlı yaklaşımların kullanımı, sürdürülebilir yapıların yaygınlaştırılmasına ve iklim değişikliğiyle mücadelede katkı sağlama potansiyeline sahiptir. Gelecek çalışmalarda farklı iklim bölgeleri, yapı tipolojileri ve enerji stratejileri üzerinde benzer simülasyon analizleri gerçekleştirilerek yazılımın çok yönlü kullanım kapasitesi daha ayrıntılı biçimde değerlendirilebilir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Yazarların Katkı Oranı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan etmişlerdir.

Etik Beyan

Bu çalışmada sunulan veri, bilgi ve belgeler akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde edilmiştir.

Finansal Destek

Bu araştırma herhangi bir fon sağlayan kurumdan / sektörden hibe almadı.

Teşekkür

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi MF.24.92 no'lu proje tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

Akcaç, M., Turan, A., & Yıldız, S. (2020). Building performance simulation tools: Comparative analysis and application. *Journal of Building Simulation*, 13(4), 655–667. <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0634-1>.

Aldrich, D., & Bond, R. (1985). Thermal performance of rigid cellular foam insulation at subfreezing temperatures. In “*Thermal performance of the exterior envelopes of buildings III*” (pp. 500–509). ASHRAE/DOE/BTECC Conference.

Bayram, N. S., & Orhon, A. V. (2020). Enerji simülasyon araçları ile binalarda faz değiştiren malzeme uygulamaları. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 4(2), 55-63. <https://doi.org/10.46460/ijiea.807083>.

Belloso, J. (2025). Comparative simulation study of heating and cooling systems in buildings located in Sweden and Spain.: simulation by IDA-ICE. (Yüksek Lisans Tezi).

Berardi, U., & Naldi, M. (2017). The impact of the temperature dependent thermal conductivity of insulating materials on the effective building envelope performance. *Energy and Buildings*, 144, 262–275. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.052>.

Berberoğlu, U. (2009). *Sürdürülebilir mimarlık anlayışı çerçevesinde enerji verimliliği kavramının güncel konumu ve yeni yaklaşımlar* (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Besant, R., & Miller, E. (1982). Thermal resistance of loose-fill fiberglass insulation spaces heated from below. In *“Thermal performance of the exterior envelope of building II”* (pp. 720–733). ASHRAE/DOE Conference.

Budaiwi, I., & Abdou, A. (2013). The impact of thermal conductivity change of moist fibrous insulation on energy performance of buildings under hot–humid conditions. *Energy and Buildings*, 60, 388–399. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013>.

Can, R. (2023). *Konutlarda kapalı otoparkların enerji verimliliği açısından tasarım standartlarının değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi).

Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., & Griffith, B. T. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, 43(4), 661–673. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.027>

Çelebi, B. (2022). *Bim tabanlı bina enerji simülasyon yazılımlarının analiz sonuçları üzerine bir inceleme* (Master's thesis, Mimar Sinan Fine Arts University (Turkey)).

Dena, A.J.G, Pascual, M.Á., Bandera, C.F.(2021) Building energy model for Mexican energy standard verification using physics-based open studio SGSAVE software simulation, *Sustainability*, 13(3):1521. <https://doi.org/10.3390/su13031521>.

EN. (2007). EN 15251:2007 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings.

Ergün, B., Karataş, Ö., & Bıçakçı, A. (2023). Energy simulation software in architectural practice: User perception and comparative usability study. *Sustainability*, 15(3), 2103. <https://doi.org/10.3390/su15032103>.

Hafner, R. J., Elmes, D., & Read, D. (2019). Promoting behavioural change to reduce thermal energy demand in households: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 205-214.

Hung Anh, L. D., & Pásztor, Z. (2021). An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials. *Journal of Building Engineering*, 44, 102604. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102604>.

Integrated Environmental Solutions (IES). (n.d.). Software overview. <https://www.iesve.com/software>

ISO. (2008). *ISO 13790:2008 Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling*. International Organization for Standardization.

Khoukhi, M. (2018). The combined effect of heat and moisture transfer dependent thermal conductivity of polystyrene insulation material: Impact on building energy performance. *Energy and Buildings*, 169, 228–235. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.055>.

Kim, H. K., Jeon, J. H., & Lee, H. K. (2012). Workability, and mechanical, acoustic and thermal properties of lightweight aggregate concrete with a high volume of entrained air. *Construction and Building Materials*, 29, 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.067>.

Koru, M. (2016). Determination of thermal conductivity of closed-cell insulation materials that depend on temperature and density. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(11), 4337–4346. <https://doi.org/10.1007/s13369-016-2122-6H>.

Mardaljevic, J., et al. (2009). "Daylighting and solar analyses in IES-VE: a case study of the nottingham university campus." *Journal of Building Performance Simulation*, 2(3), 195-211. DOI: 10.1080/19401490903034279.

Motawa, I., Elsheikh, A., Diab, E. (2021). Energy performance analysis of building envelopes, *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 11(3), 196.

ORAL, M.(2023). Binaların enerji etkinlik performansının simülasyon programı ile ölçülmesi. *European Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.31590/EJOSAT.799365>.

Ozkaymak, S., & Sahin, M. (2021). The role of building simulation tools in sustainable design: A comparative study on LEED-compatible platforms. *Journal of Green Building*, 16(4), 179–194. <https://doi.org/10.3992/jgb.16.4.179>.

Shahedan, N. F., Abdullah, M. M. A. B., Mahmed, N., Kusbiantoro, A., Binhussain, M., & Zailan, S. N. (2017). Review on thermal insulation performance in various type of concrete. *AIP Conference Proceedings*, 1835(1), 020046. <https://doi.org/10.1063/1.4981653>.

Türk Standartları Enstitüsü. (2021). TS 825 Binalarda ısı yalıtım kuralları [TS 825 Thermal insulation requirements for buildings]. Ankara, Türkiye: TSE.

Vuarnoz, D., & Jusselme, T. (2018). Temporal variations in the primary energy use and greenhouse gas emissions of electricity provided by the swiss grid. *Energy*, 161, 573-582.

Yildiz, M. E., Beyhan, F., & Uçar, M. K. (2021). Enerji verimli bina tasarımı için yapay sinir ağları ile ısıtma soğutma yükünün belirlenmesi. *Academic Perspective Procedia*, 4(1), 91-100.

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. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.014>.

Zhu, W., Cai, S., & Cremaschi, L. (2015). Thermal performance and moisture accumulation of fibrous mechanical pipe insulation systems operating at below-ambient temperature in wet conditions with moisture ingress. *Science and Technology for the Built Environment*, 21(6), 862–875. <https://doi.org/10.1080/23744731.2015.1056658>.