

İZMİR'DE BİR BANLIYÖ KONUTU İÇİN YENİLEME VE İYİLEŞTİRME STRATEJİLERİ: URLA BAĞIMSIZ KONUTLARININ SİMÜLASYON TABANLI BİR VAKA ÇALIŞMASI

Kamal Eldin Mohamed^{1*}

¹ Mühendislik Fakültesi/Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye
kamalmohamed@iyte.edu.tr , 0000-0003-4657-749X

ÖZET

Avrupa Birliği, 2030 yılına kadar karbon emisyonlarını %55 oranında azaltmayı hedeflemekte ve bu nedenle kapsamlı bina yenilemelerini teşvik etmek amacıyla "Renovation Wave" girişimini başlatmaktadır. Binaların yenilenmesi ve iyileştirilmesi, CO₂ emisyonlarını ve enerji tüketimini azaltmakta kritik bir öneme sahiptir. Türkiye'de, bina sektörü toplam enerji tüketiminin %36'sını ve enerjiyle ilişkili CO₂ emisyonlarının %32'sini oluşturmaktadır. Bu tüketimin %75'i ise konutlardan kaynaklanmaktadır. Özellikle şehir merkezi dışındaki banliyö alanları, önemli enerji tasarrufu potansiyeline sahiptir ve ulusal enerji standartlarına uyum için acil yenilemeler ve iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Bu çalışma; doğal gaz hatlarına bağlı olmayan konutlarda, sera gazı emisyonlarını, enerji tüketimini ve işletme maliyetlerini azaltmaya yönelik stratejileri ele almaktadır. İnşa edilmiş bir banliyö konutunun mevcut durum simülasyon modeli oluşturulmuş ve Design Builder yazılımı kullanılarak doğrulanmıştır. Ardından, beş farklı yenileme ve iyileştirme stratejisi sırasıyla uygulanmıştır. Bunlar; bina zarfı malzemeleri, pencere camlama, merdiven boşluğuna dayalı doğal havalandırma, gölgelendirme elemanları ve camlı bir oda eklenmesidir. Her adımın ardından simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve CO₂ emisyonları ile yakıt tüketimi açısından analiz edilmiştir. Yenileme ve iyileştirme önlemleri sonucunda CO₂ emisyonlarında önemli bir azalma gözlemlenmiştir. CO₂ emisyonu toplamda 45.681 kg'dan 11.827 kg'a düşürülerek %74 oranında bir azalma sağlanmıştır. Ayrıca, yıllık yakıt tüketimi de 66.688 kWh'den 17.266 kWh'e düşerek %74 oranında azalmıştır. Elde edilen sonuçlar, uygulanan stratejilerin etkinliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Konut yenilemesi ve iyileştirilmesi, Enerji tasarrufu, Simülasyon değerlendirme, Sıfır karbon, Bina dış kabuğu.

RETROFITTING STRATEGIES FOR A SUBURBAN DWELLING IN İZMİR: A SIMULATION-BASED CASE STUDY OF URLA INDEPENDENT HOUSING

ABSTRACT

The European Union aims to reduce carbon emissions by 55% by 2030 and has therefore launched the 'Renovation Wave' initiative to promote comprehensive building renovations. Renovation and retrofitting of buildings are critical in reducing CO₂ emissions and energy consumption. In Turkey, the building sector accounts for 36% of total energy consumption and 32% of energy-related CO₂ emissions. 75% of this consumption comes from residential buildings. Suburban areas, especially outside the city centre, have significant energy saving potential and urgent renovations and retrofits are required to comply with national energy standards. This study addresses strategies to reduce GHG emissions, energy consumption and operating costs in residential buildings not connected to natural gas lines. A baseline simulation model of a built suburban dwelling is created and validated using Design Builder software. Then, five different renovations and retrofit strategies were implemented respectively. These are building envelope materials, window glazing, stairwell-based natural ventilation, shading elements and the addition of a glazed room. After each step, simulations were carried out and analysed in terms of CO₂ emissions and fuel consumption. As a result of the renovation and improvement measures, a significant reduction in CO₂ emissions was observed. CO₂ emissions were reduced from 45,681 kg to 11,827 kg in total,

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

Geliş/Received: 05.10.2024 Kabul/Accepted: 06.12.2024

*Başlıca Yazar / Lead Author: Kamal Eldin Mohamed

Mohammed, K. E. (2024), İzmir Banliyösünde Bir Konutun Yenileme Stratejileri: Urla Bağımsız Evi Simülasyon Örneği, Karesi Mimarlık Dergisi, 3(2), 199-219.

resulting in a 74% reduction. In addition, annual fuel consumption decreased from 66,688 kWh to 17,266 kWh, a 74% reduction. The results obtained clearly demonstrate the effectiveness of the implemented strategies.

Keywords: Housing retrofitting and improvement, Energy saving, Simulation assessment, Zero carbon, Building envelope.

1. GİRİŞ

Enerji verimliliği, ürün ve hizmet sunmak için gereken enerjiyi azaltmayı amaçlar. Bu hedef, girdi enerjisi ile çıktı hizmeti arasındaki oranı iyileştirerek, belirli bir hizmet için girdi enerjisini azaltarak veya aynı girdi enerjisiyle sağlanan hizmeti artırarak başarılabilir (Battles, 1995).

Binaların enerji verimli bir stratejiyle tasarlanması fikri antik dönemlere kadar uzanmaktadır. Antik Mısırlılar, binaların yönlendirilmesi, geometrisi, malzemeleri ve açıklık boyutları gibi unsurları enerji verimliliğini artıracak şekilde planlamışlardır. Binaları ısıyı en aza indirecek şekilde yönlendirmiş; kalın duvarlar ve kireçtaşı ile kerpiç gibi yalıtkan malzemeler kullanmışlardır. Ayrıca avlular, saçaklar ve yer altı yapıları gibi özellikler doğal soğutma ve gölgelendirme sağlayarak iklime duyarlı bir mimari geliştirmişlerdir. Benzer şekilde, antik Nubyalılar da enerji performansını artırmak için küçük açıklıklar, kubbeler ve tonozlar gibi tasarımlar ile kerpiç gibi yerel malzemeler kullanmışlardır. Eskimolar ise enerji verimliliği dikkate alınarak tasarlanan iglolarıyla öne çıkmıştır. Bu yapılar, ısı kaybını en aza indiren ve yapısal stabiliteyi maksimize eden kubbe formu ile dikkat çekmiştir. Sıkıştırılmış kardan yapılan iglolar, mükemmel bir yalıtkan olan bu malzeme sayesinde sıcaklığı korurken soğuk rüzgârları engellemiştir. Ayrıca, küçük giriş tüneli, ısı kaybını daha da azaltarak sert Arktik koşullarda sıcak ve enerji verimli bir barınak sağlamıştır (Fathy, 1986, 2010; Jankovic, 2012).

Kyoto Protokolü, 1992 yılında oluşturulmuş ve çoğu ülke tarafından 1997 yılında onaylanmıştır. Bu protokol, sera gazlarını azaltmaya yönelik hukuki olarak bağlayıcı hedefler belirlemiştir (United Nations, 1998, 2020). Bu girişimi desteklemek amacıyla, Avrupa Parlamentosu ve Konseyi, 2002/91/EC Sayılı Yönerge olarak bilinen Enerji Performansı Binalar Direktifi'ni yürürlüğe koymuştur. Bu yönerge, ulusal inşaat düzenlemelerinde değişikliklere yol açmış ve Avrupa hükümetlerinin karbon dioksit emisyonlarını azaltma konusunda uzun vadeli taahhütlerde bulunmalarını sağlamıştır (EU, 2003, 2010; EU Commission, 2011, 2014; EU Council, 2014).

Mimarlık sektörü, konut, ticari ve endüstriyel binaları kapsayarak ABD'deki toplam enerji tüketiminin %48'ini oluşturmaktadır (IEA, 2019). Birleşmiş Milletler Çevre Programı, inşaat sektörünün küresel enerji tüketiminin %30-40'ını oluşturduğunu bildirmiştir (Bishop & Kiribrahim-Sarikaya, 2024; Clark, 2007; D'Agostino, Congedo, Albanese, Rubino, & Baglivo, 2024). Avrupa ülkelerinde ise binalar, AB'nin nihai enerji tüketiminin %40'ından fazlasını oluşturmakta olup, bunun %63'ü konut kullanımına aittir.

Binalardaki enerji verimliliğini artırmak, AB'nin enerji ithalatına bağımlılığını azaltmak ve Kyoto Protokolü'nün karbon azaltma hedeflerine ulaşmak için kritik bir öneme sahiptir. Bu durum, 4 Ocak 2006'da yürürlüğe giren Binaların Enerji Performansı Direktifi (EPBD) ile uyumlu bir çerçeve oluşturmaktadır. Mevcut konutlar için Enerji Performansı Değerlendirmesi (EPA-ED) adlı, EPBD doğrultusunda konutlarda enerji verimliliğine odaklanan bir Avrupa projesi kapsamında, yazılım destekli yeni bir metodoloji geliştirilmiştir (Chen & Lai, 2024; Elsayed, Romagnoni, Pelsmakers, Castaño-Rosa, & Klammsteiner, 2023; Poel, van Cruchten, & Balaras, 2007).

Bu gelişmelere yanıt olarak Türkiye, 2005 yılında eski Türk Standardı 825 - Binalarda Isıl Yalıtım'a dayanan Enerji Performansı Yönetmeliği'ni açıklamıştır (TSI, 2008; Turkish Ministry of Energy, 2008). Nisan 2010 itibarıyla, Türk Bina Enerji Performansı Departmanı bu yönergeyi zorunlu hale getirmiştir. Tüm yeni tasarlanan binaların, Bina Enerji Performansı (BEP-TR) testinde en az 'C' seviyesinde bir değerlendirme alması gerekmektedir. BEP-TR sistemi, enerji performansını değerlendirmek için statik aylık hesaplama yöntemini kullanmakta ve mevcut binaların 2017 sonuna kadar enerji sertifikalarına sahip olmasını zorunlu kılmaktadır (DCC, 2018; EIIMD, 2018; Fayaz & Kari, 2009).

TÜİK'e göre, Türkiye'deki bina sayısı 1984 yılında 4,3 milyondan 2000 yılında 7,8 milyona çıkarak %78 oranında artış göstermiştir. Konut sayısı ise %129 oranında artarak 16,2 milyona ulaşmıştır. 2000 ile 2008 yılları arasında verilen inşaat ruhsatları, konut, ticari ve kamu binalarını kapsayan alanın %56 oranında büyüdüğünü ve bina sayısında %7'lik bir artış olduğunu ortaya koymaktadır.

2009 yılında bina sektörü, 53,4 milyon ton CO₂ emisyonu üretmiş olup Türkiye'deki enerjinin üçte birinden fazlası ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Ancak, binaların %90'ının yeterli ısı yalıtımına sahip olmadığı ve her yıl yalnızca 200.000 yeni ve mevcut binaya yalıtım uygulandığı belirtilmektedir. Sektörde 1.000'den fazla firma bulunmasına rağmen, kayıt dışı üretim gibi sorunlar devam etmektedir (EIIMD, 2018).

Bu makale, banliyö konutlarının enerji verimli yenilenmesine yönelik kapsamlı bir analiz sunmayı amaçlamakta ve simülasyon modelleri kullanarak potansiyel iyileştirmeleri ve stratejileri değerlendirmektedir (Kim & Degelman, 1998; J. C. Lam, Wan, Tsang, & Yang, 2008; Mejri, Palomo Del Barrio, & Ghrab-Morcos, 2011).

Araştırma Problemleri

Binaların yenilenmesi, karbon emisyonlarını ve yakıt tüketimini azaltmak açısından büyük önem taşımaktadır. Türkiye'deki bina sektörü, ülkenin enerjisinin %36'sını tüketmekte ve toplam CO₂ emisyonlarının %32'sini üretmektedir. Bununla birlikte, %30-50 oranında enerji tasarrufu potansiyeli sunmaktadır (Gucyeter & Gunaydin, 2012; Gupta, Hopfe, & Rezgui, 2011; Sarıca, Harputlugil, İnaner, & Kollugil, 2023).

Konut stoğu, inşaat sektörünün çevresel etkisine önemli ölçüde katkıda bulunmakta ve sektörün yakıt tüketiminin ve CO₂ emisyonlarının yaklaşık %75'inden sorumlu olduğu belirtilmektedir. Şehir sınırları dışında yer alan konutların, Türk hükümeti tarafından belirlenen asgari enerji gereksinimlerini karşılamak amacıyla acilen yeniden donatılması gerekmektedir (Apeksha Gupta, 2011; Bolattürk, 2008; Taşçı, 2023).

Uluslararası düzeyde, enerji tüketen üç ana ekonomik sektör; ulaşım, sanayi ve binalardır. Binaların enerji tüketimi yüksek olduğundan, uygun tasarım yoluyla mekanik ısıtma ve soğutma sistemlerine olan bağımlılığı azaltarak daha verimli çalışmaları sağlanabilir (Aşıkoğlu, 2024; D'Agostino, Tzeiranaki, Zangheri, & Bertoldi, 2021).

Bina tasarımında temel hedef, kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayan bir ortam yaratmaktır. Bu süreçte enerji verimliliği de göz önünde bulundurulmalı ve özellikle bina dış yüzeyinin fiziksel özellikleri ile bina geometrisi üzerinde daha fazla araştırma yapılmalıdır (Granadeiro, Duarte, Correia, & Leal, 2013; Lapisa, Bozonnet, Abadie, & Salagnac, 2013).

Son iki yılda, hesaplamalı çerçeveler kullanılarak dijital tasarım alanındaki akademik araştırmalar önemli ölçüde ilerlemiştir. Bununla birlikte, parametrel dijital araçlar kullanılarak enerji verimli bina kabuklarının oluşturulmasına yönelik daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir (Dimoudi, 2009; K. P. Lam, 1994; López-Ochoa, Las-Heras-Casas, González-Caballín, & Carpio, 2023; Molin, Rohdin, & Moshfegh, 2011; Olasolo-Alonso, López-Ochoa, Las-Heras-Casas, & López-González, 2023; Shiel, 2009).

Araştırma Amaçları ve Hedefleri

Bu çalışma, gaz bağlantısı bulunmayan ekli bir konut için sera gazı (GHG) emisyonlarını, enerji tüketimini ve işletme maliyetlerini azaltmaya yönelik pratik stratejiler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Mevcut yapının simülasyon analizi gerçekleştirilmiş ve iyileştirme adımları yenileme (retrofit) yöntemiyle uygulanmıştır. Çalışmanın temel amacı, karbon emisyonlarını, enerji tüketimini ve maliyet geri dönüş süresini azaltmayı göstermektir. Ayrıca, bu araştırma, benzer koşullarda uygulanabilecek bir çerçeve sunarak uluslararası düzeyde mimarlar ve mühendisler için değerli bilgiler sağlamayı hedeflemektedir.

Araştırma Metodolojisi

Çalışmanın amaçlarına ulaşmak için deneysel araştırmalar yapılmış ve nicel bir yöntem kullanılmıştır. Araştırma, İzmir'in Urla ilçesindeki doğal gaz bağlantısı bulunmayan kırsal bir konuta odaklanmıştır. Simülasyonlar, DesignBuilder ve EnergyPlus yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Örnek çalışma evi

2.1.1. Örnek çalışma evinin mevcut durumunun referans modeli

Ölçeklenmiş mimari çizimlerden mevcut durumun bir modeli oluşturulmuştur. Mevcut malzemeler, yapı bileşenleri, camlar, kapılar ve hava geçirmezlik gibi unsurlar yazılım verilerine yüklenmiştir. Ardından bir simülasyon gerçekleştirilmiş ve veriler toplanmıştır. Bu referans modeli, iyileştirme sonrası evin simülasyon modelinden elde edilen analiz verilerini karşılaştırmak için kullanılmıştır.

2.1.2. Örnek çalışma evinin yenileme modeli

Yenileme modelinin geometrisi, ölçeklenmiş mimari çizimlerden oluşturulmuştur. Modeldeki yenileme değişiklikleri, toplam beş ayrı adımda kademeli bir yöntemle uygulanmıştır. Her adımın ardından simülasyon gerçekleştirilmiş ve veri analizi yapılmıştır. İnşaat verileri, belirlenen malzeme spesifikasyonlarına göre oluşturulmuştur. Kullanım profili verileri modele entegre edilmiştir. Isıtma sistemi, biyokütle ile çalışan mekanik havalandırma ve ısı geri kazanımı sistemi olarak ayarlanmıştır. Elektrikli soğutma sistemi de modelde dikkate alınmıştır. Güneş PV (fotovoltaik) ve termal sistemler uygun eğim açılarında yerleştirilmiştir. Ayrıca doğal havalandırma ve gün ışığı kullanımı da göz önünde bulundurulmuştur.

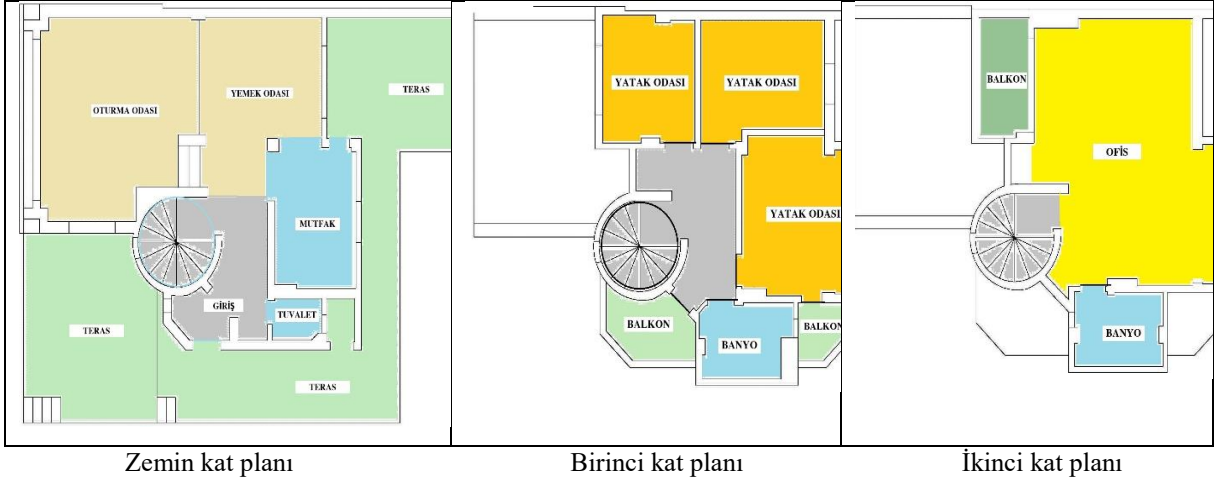
2.1.3. Simülasyonların veri analizi

Yenileme modelinin simülasyon sonuçlarına ait veriler, referans modelin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Analiz edilen verilerin sonuçları ve tartışmaları, nihai bir sonuca ulaşılmasına katkı sağlamıştır.

2.1.4. Örnek çalışma binası

Gaz bağlantısı olmayan bu kırsal konut, İzmir'in Urla ilçesinde, şehir merkezinin 30 km dışında, 38°19'K enlem ve 26°46'D boylamında, deniz seviyesinden 65 metre yükseklikte yer almaktadır. Bu ev, 880 tek yanlı sıralı konuttan biridir. Evler çeşitli yönlerde sahip olsa da, çalışma konusu olan konut, kuzey cephesine bitişik olup doğu, güney ve batıya bakan üç serbest cephesi bulunmaktadır. Ev, zemin, birinci ve ikinci katlardan oluşan üç katlı bir yapıdır ve toplam kapalı alan 210 m²'dir. Kat planları Şekil 1'de sunulmuştur.

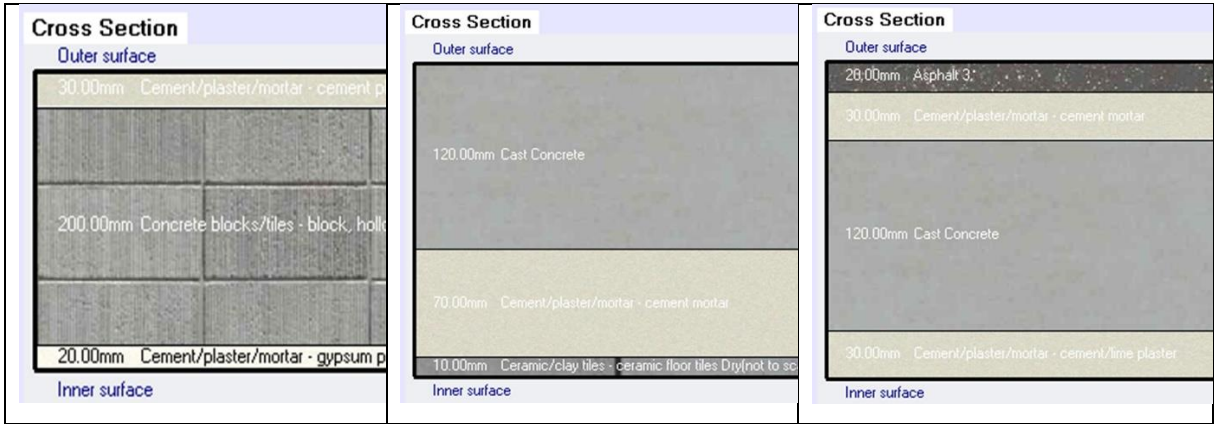
Tablo 1, evin termal olarak inşa edilmiş yapı malzemeleri elemanlarının U-değerlerini göstermektedir. Ek olarak, inşaat evinin malzemelerini ve bileşenlerini de göstermektedir. Ayrıca, Şekil 2'de DesignBuilder yazılımı tarafından evin inşa halindeki durumunda kullanılan inşaat malzemelerinin detaylarını gösteren bölüm yer almaktadır.



Şekil 1. Evin kat planlarını göstermektedir.

Tablo 1. Evin inşa edildiği haliyle inşaat malzemelerinin U değerleri

Eleman	W/(m ² K)	Eleman Bileşenleri
Dış duvarlar	1,744	2 cm harç, 20 cm tuğla, 3 cm harç
Zemin kat	2,348	15 cm betonarme., 3 cm tesviye harcı, 2 cm bitirme zemin fayansları
Çatı	2,924	2 cm harç, 15 cm R.C., 3 cm çatı kiremitleri
Tek cam	5,894	3 mm şeffaf cam, 4 cm metal çerçeve



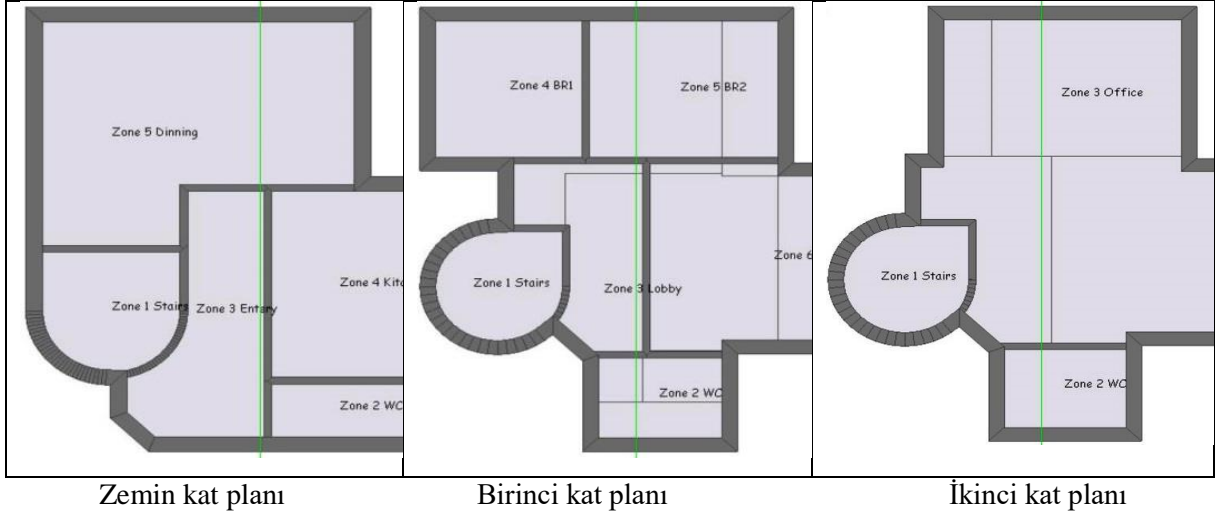
Şekil 2. Evin inşa edildiği dönemde kullanılan inşaat malzemelerinin detaylarını gösteren kesiti göstermektedir (DesignBuilder tarafından).

2.2. Simülasyon

Gerekli tüm modellemelerin oluşturulması ve simülasyonun çalıştırılması için Design Builder ve Energy Plus yazılımları kullanılmıştır.

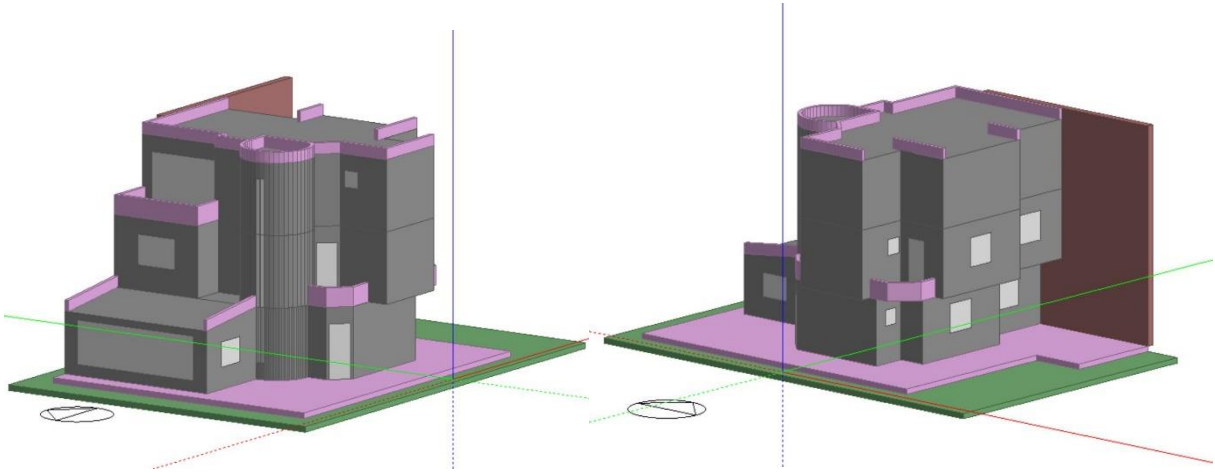
2.2.1. Referans modeli simülasyonu

Referans model için malzeme ve yapı verileri ayarlandı. Tüm ısıtma ve soğutma üniteleri, elektrik enerjisi kullanacak şekilde yapılandırıldı. Isıtma sıcaklığı 20°C, soğutma sıcaklığı ise 25°C olarak belirlendi. Kat planlarının bölge dağılımları Şekil 3'te gösterilmiştir

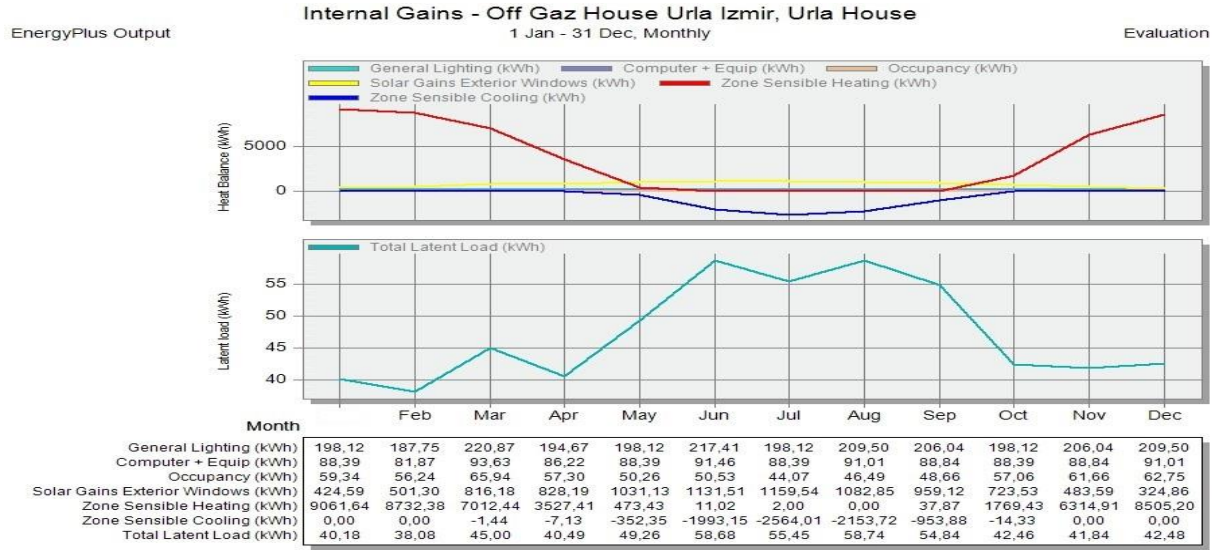


Şekil 3. Design Builder'in referans modeli.

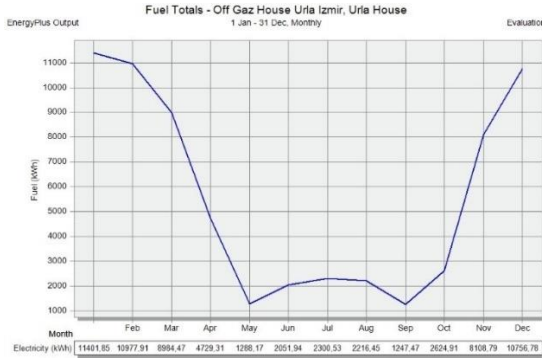
Şekil 4 ve 5, inşa edilmiş modelin ön ve arka görünümünü göstermektedir.



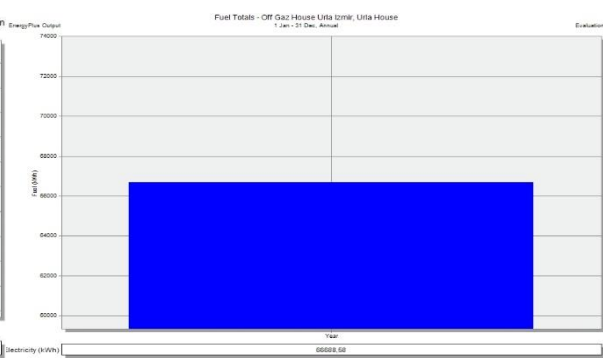
Şekil 6, aylık ısı kazanımını göstermektedir. Şekiller 7, 8, 9 ve 10 ise yakıt tüketimini ve yakıt tüketimi dökümünü sunmaktadır. Şekiller 11 ve 12, aylık ve yıllık CO₂ emisyonlarını göstermektedir.



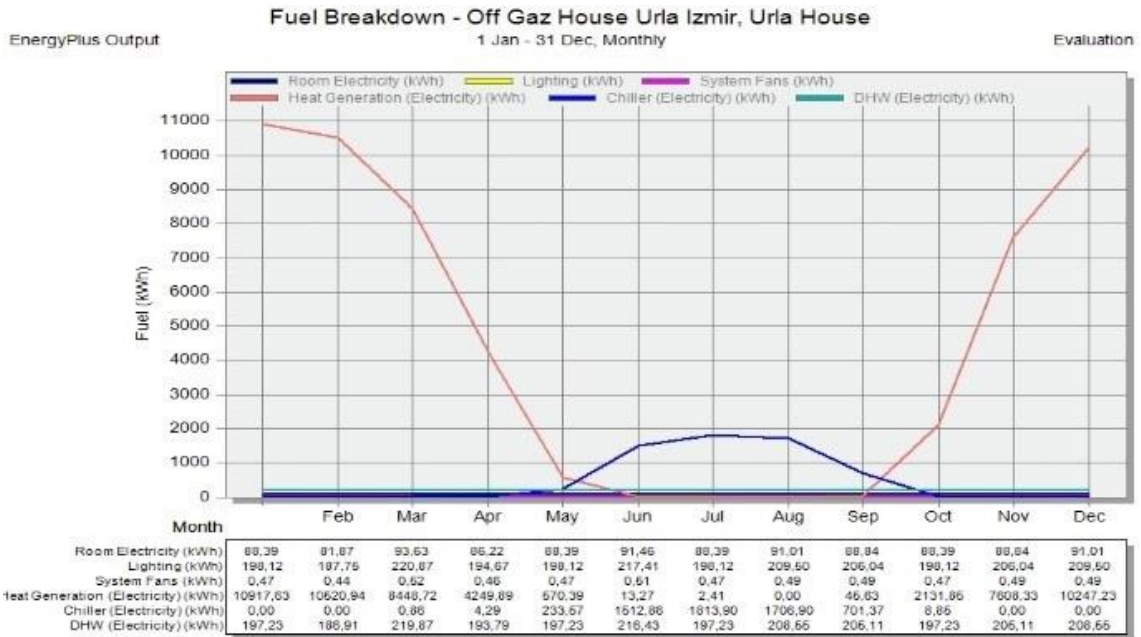
Şekil 6. Mevcut Yapı Modelinin İç Isı Kazanımı



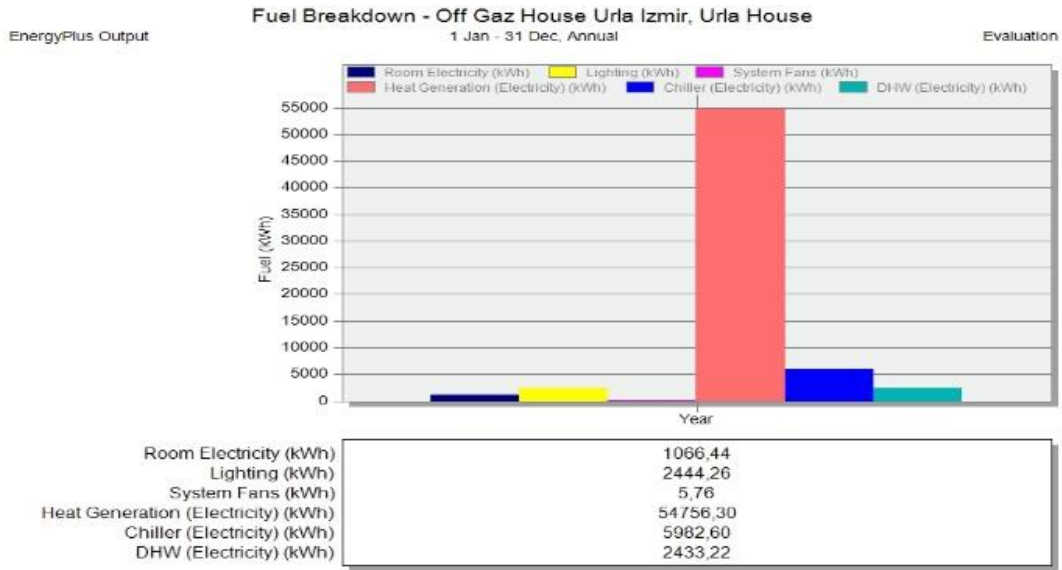
Şekil 7. Aylık toplam yakıt tüketimi



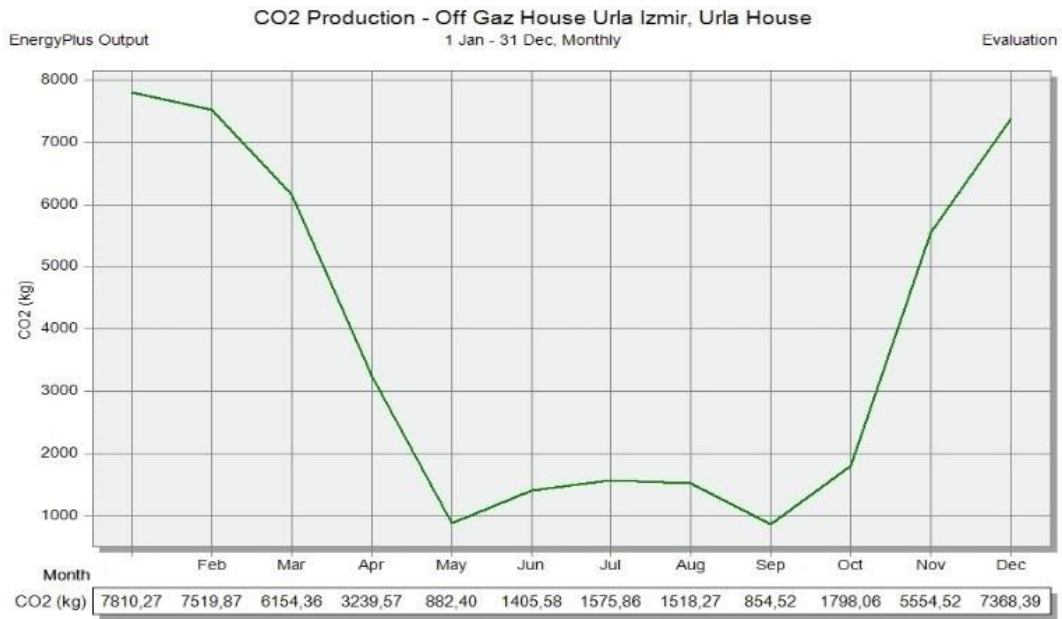
Şekil 8. Yıllık toplam yakıt tüketimi



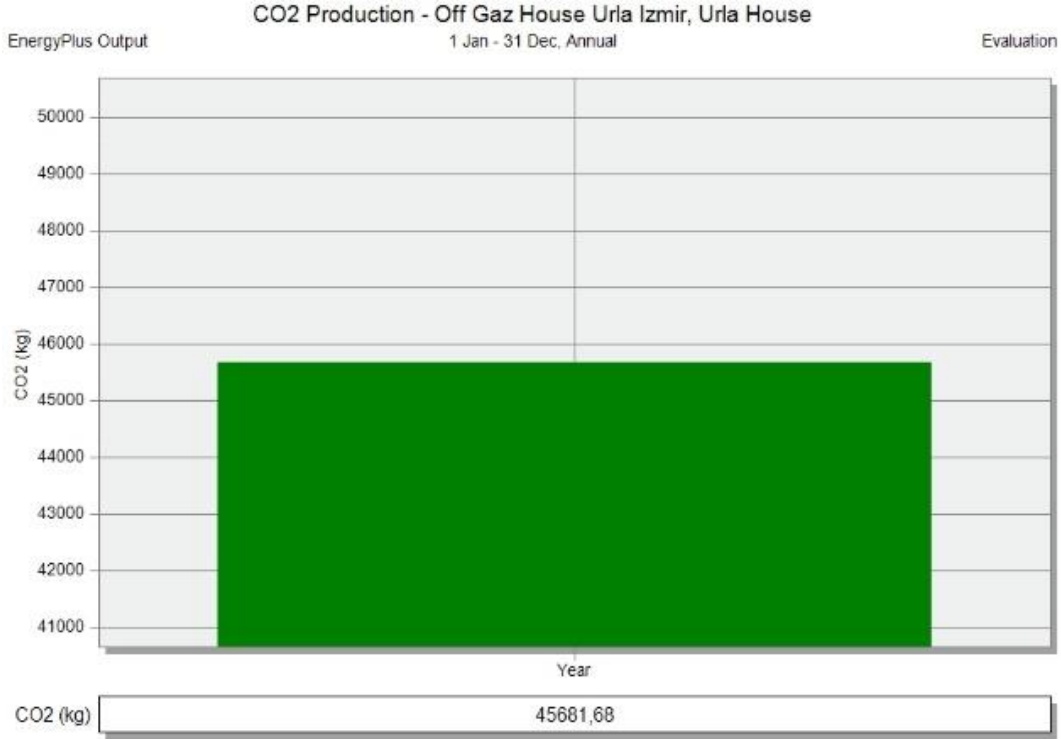
Şekil 9. Aylık yakıt tüketimi dökümü



Şekil 10. Yıllık yakıt tüketimi dökümü



Şekil 11. Aylık CO₂ dağılımı



Şekil 12. Yıllık CO₂ üretimi

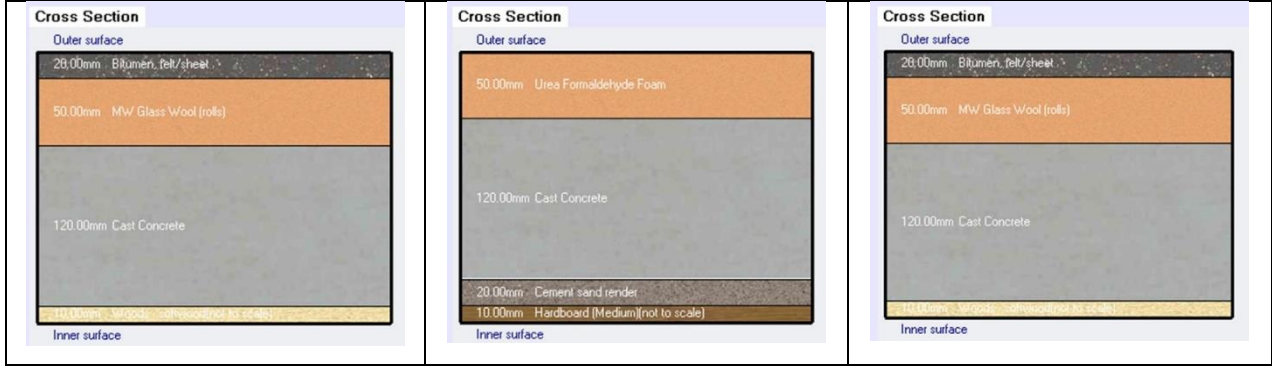
2.2.2. Yenileme modeli simülasyonu

Referans model için malzeme ve inşaat verileri ayarlandı. Tüm ısıtma sistemi biyokütle ünitelerine, soğutma sistemi ise elektrik üniteleri kullanımına göre yapılandırıldı. Isı değiştiricili mekanik havalandırma seçildi. Isıtma sıcaklığı 20°C, soğutma sıcaklığı ise 25°C olarak ayarlandı. Gün ışığı ve doğal havalandırma özellikleri kontrol edildi. Kat planlarının bölgeleri, Şekil 2'de gösterilenlere benzerdir. Simülasyonlar, aşağıda belirtilen beş adımda gerçekleştirildi.

Dış Cephe Yalıtımı: İlk adım simülasyonu, dış duvarlara, zemin katına ve çatıya 5 cm yalıtım uygulanarak gerçekleştirildi. U-değeri sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 13'te DesignBuilder yazılımının evde kullandığı inşaat iyileştirme malzemelerinin detaylarını içeren bir bölüm yer almaktadır.

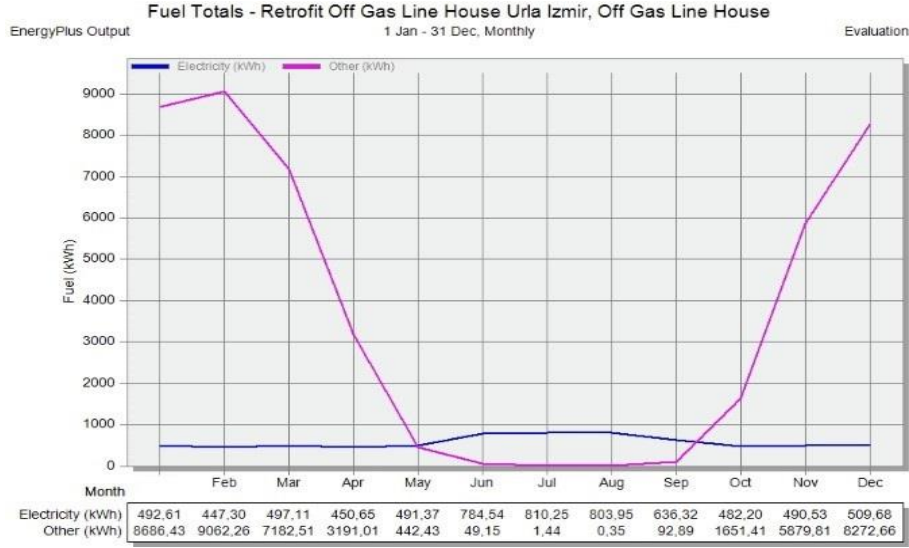
Tablo 2. U-deęerinin sonucu.

Eleman	W/(m ² K)
Dış duvarlar	0,462
Zemin kat	0,584
Çatı	0,6

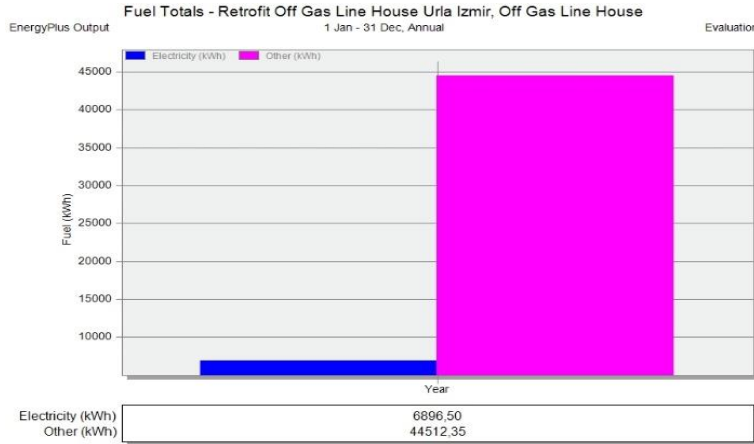


Şekil 13. Evde kullanılan inşaat iyileştirme malzemelerinin ayrıntılarını gösteren bölümü göstermektedir (DesignBuilder tarafından).

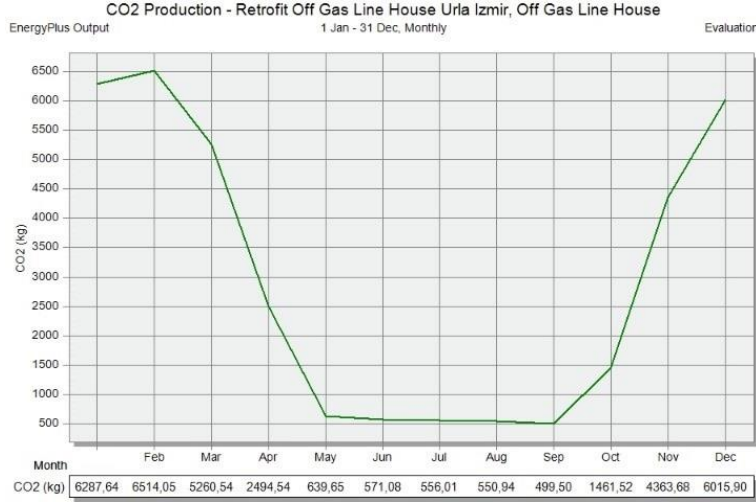
Yapılan iyileştirmeler sonucunda yakıt tüketimi, 66.688 kWh'den 51.408 kWh'ye düşmüştür (Şekil 14 ve 15). Ayrıca, CO₂ emisyonlarının da 45.681 kg'den 35.215 kg'ye düştüğü gözlemlenmiştir (Şekil 16 ve 17).



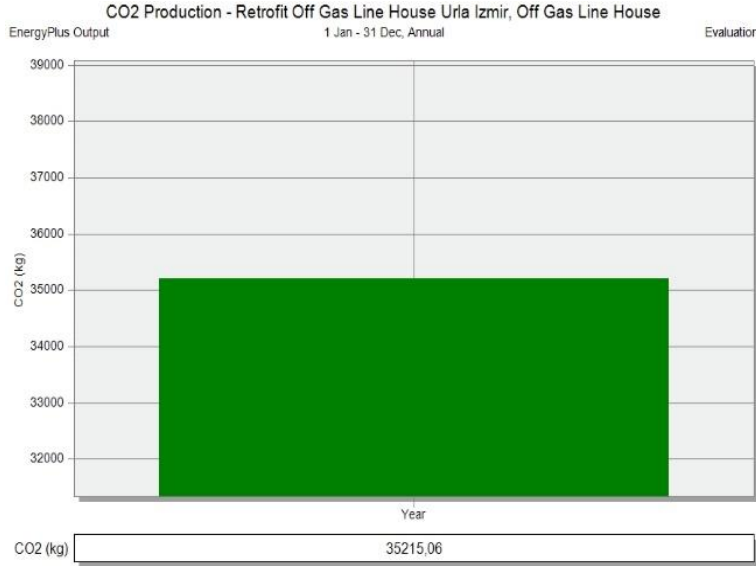
Şekil 14. Yalıtımdan sonra aylık toplam yakıt tüketimi.



Şekil 15. Yalıtımdan sonra yıllık toplam yakıt tüketimi.

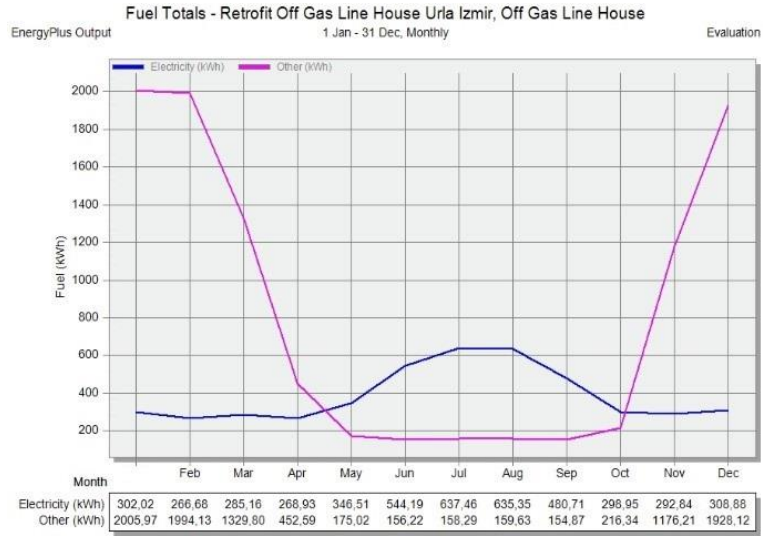


Şekil 16. Yalıtımdan sonra aylık CO₂ dağılımı.

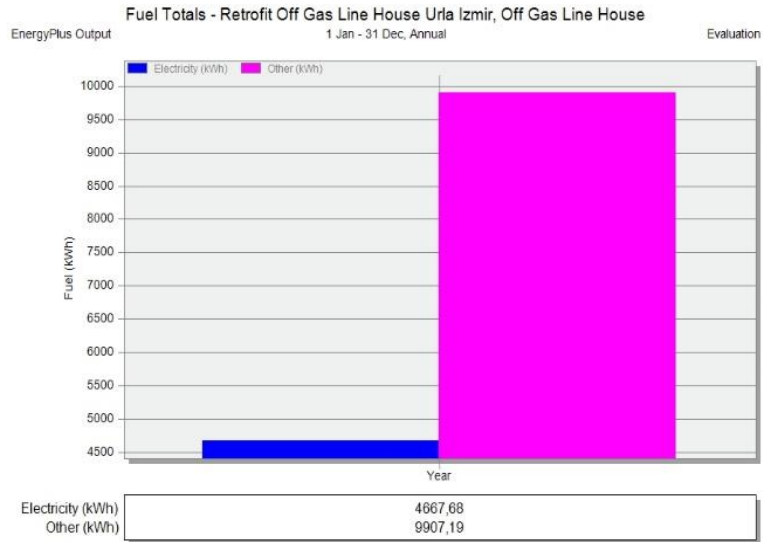


Şekil 17. Yalıtımdan sonra yıllık CO₂ emisyonu.

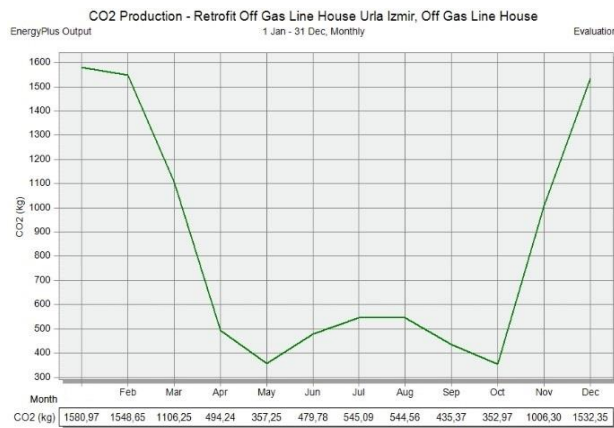
Cam değişimi: İkinci adım simülasyonu, tüm pencerelerin PVC çerçeveli çift camlı pencerelerle değiştirilmesinden sonra gerçekleştirildi. Camlar, aralarında 13 mm hava boşluğu bulunan 6 mm kalınlığında idi. Yeni camların U-değeri 1.945 W/m²K olarak belirlendi. Hava geçirmezlik 0,4 ac/h olarak ayarlandı. Camlardan gelen güneş ısı kazanımı azaltıldı ve bunun sonucunda yakıt tüketimi 51.408 kWh'den 14.574 kWh'ye, CO₂ emisyonu ise 35.215 kg'den 9.983 kg'ye düşürüldü. Sonuçlar, Şekil 18, 19, 20 ve 21'de gösterilmiştir.



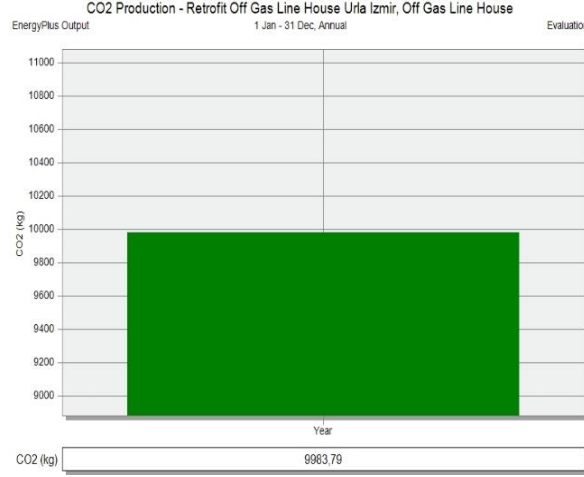
Şekil 18. Cam değişiminden sonra aylık toplam yakıt tüketimi.



Şekil 19. Cam değişiminden sonra yıllık toplam yakıt tüketimi.

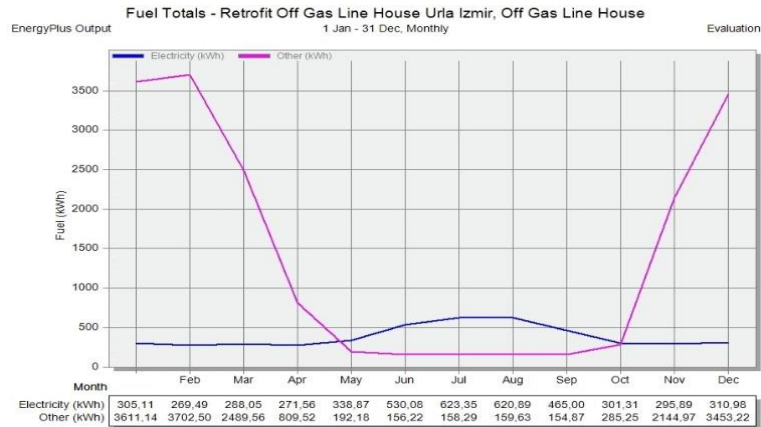


Şekil 20. Cam değişiminden sonra aylık CO₂ dağılımı.

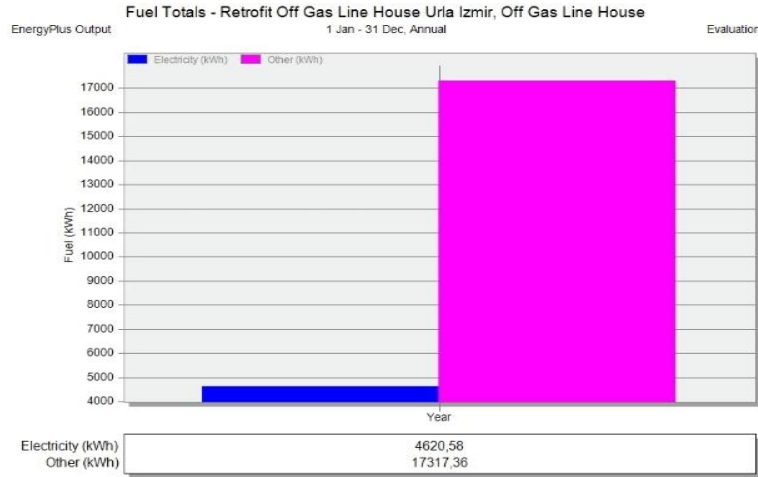


Şekil 21. Cam değişiminden sonra yıllık CO₂ emisyonu.

Merdiven uygulaması: Merdivenin tepesine, çift cam ve PVC çerçeve kullanılarak üçüncü bir basamaklı çatı penceresi eklendi. Camlar, güneş ışığını yansıtan özellikteydi. Merdivenin yan kısmına uzun bir çift cam panel yerleştirildi ve bu panel üç parçaya bölündü. Alt kısım, soğuk havanın eve girmesine izin vermek için açık bırakıldı. Orta kısım, kaliteli gün ışığı sağlamak amacıyla şeffaf camla sabitlendi. Üst cam ise, hava sirkülasyonu için üst hava sıcaklığını artırmak amacıyla güneş ışığını absorbe edecek şekilde tasarlandı. Tüm camlar, aralarında 13 mm hava boşluğu bulunan 6 mm kalınlığında idi. Yeni camların U-değeri 1,77 W/m²K olarak belirlendi. Simülasyon çıktı verileri, yakıt tüketiminde 14.574 kWh'den 21.937 kWh'ye ve CO₂ emisyonunda 9.983 kg'den 15.027 kg'ye bir artış olduğunu gösterdi. Çıktı verileri Şekil 22, 23, 24 ve 25'te sunulmuştur.



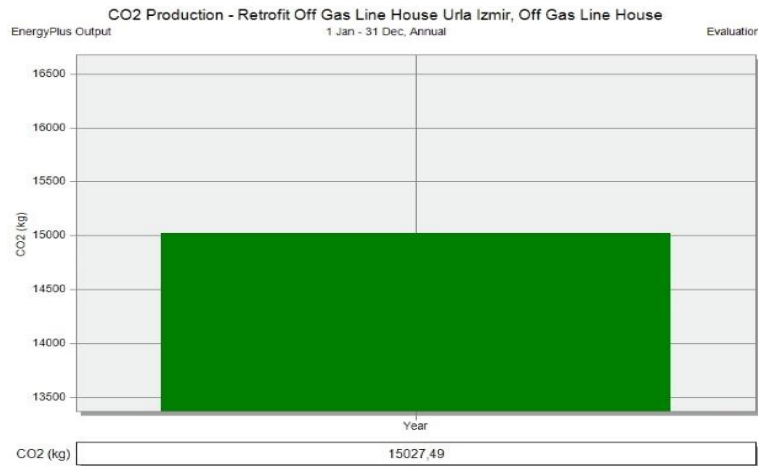
Şekil 22. Merdiven çalışmasından sonra aylık toplam yakıt tüketimi.



Şekil 23. Merdiven çalışmasından sonra yıllık toplam yakıt tüketimi.



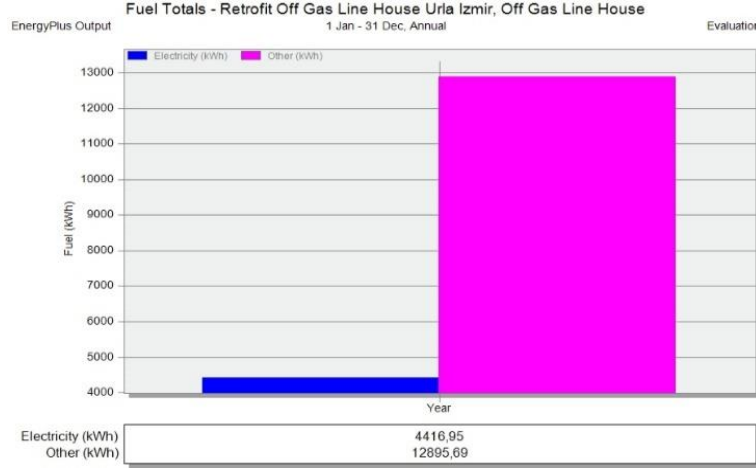
Şekil 24. Merdiven çalışmasından sonra aylık CO₂ dağılımı.



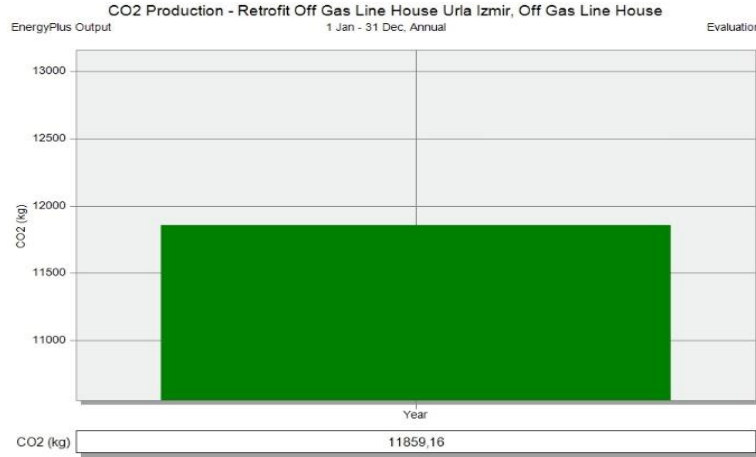
Şekil 25. Merdiven çalışmasından sonraki yıllık CO₂ emisyonu.

Gölgeleme koruması: Dördüncü adım, evin cephesinde güneş ısı kazanımını azaltmak için gölgeleme koruması oluşturmaktır. Birinci kattaki iki balkona pergolalar eklendi. İkinci kattaki balkona da bir pergola yerleştirildi. Zemin kattaki terasın doğu ve güney taraflarına ve batı tarafının bir kısmına tam yuvarlak bir pergola eklendi. Pergolalar, güneş ışığını yansıtmak için açık renkli ahşaptan yapıldı. Şekil

26 ve 27’de, yakıt tüketiminin 21.937 kWh’den 17.311 kWh’ye, CO₂ emisyonunun ise 15.027 kg’dan 11.859 kg’ye düştüğü gösterilmektedir.



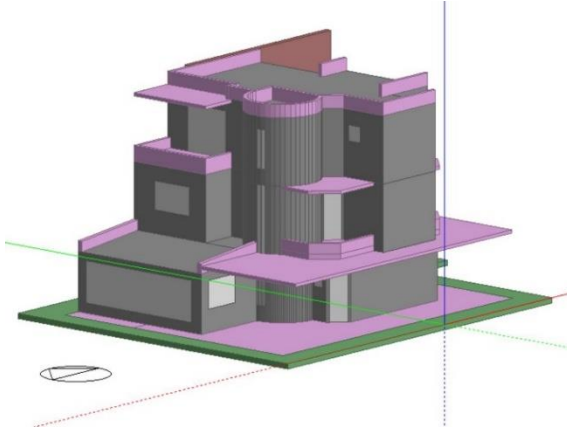
Şekil 26. Pergolalar eklendikten sonra aylık CO₂ dağılımı.



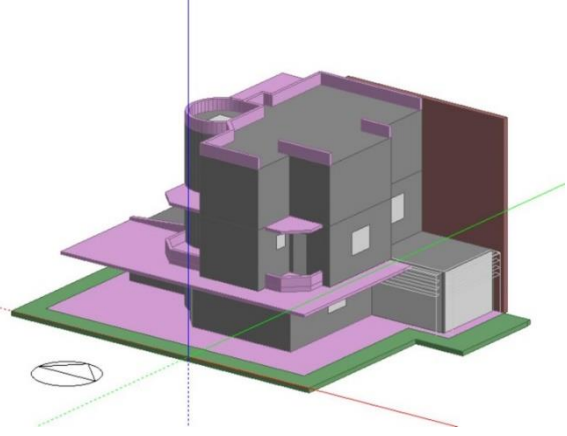
Şekil 27. Pergolalar eklendikten sonra yıllık CO₂ emisyonu.

Camla kaplı oda: Evin doğu tarafına camlı bir oda eklenmesi beşinci adımdı. Camla kaplı odanın doğu ve güney taraflarında havalandırma için açılabilir pencereler yer almaktaydı. Dışarıdan güneş ışığına karşı gölgeleme sağlanmıştır. Çatı, 5 cm'lik yalıtım katmanları ve çatı kiremitlerinden oluşan bir üst kaplama ile ahşaptan yapılmıştır. Tüm camlar, PVC çerçevesi olup aralarında 13 mm hava boşluğu bulunan 6 mm kalınlığında camlardan oluşuyordu. Hava geçirmezlik 0,4 ac/h olarak ayarlandı. Yeni camların U-değeri 1,65 W/m²K olarak belirlendi. Şekil 28 ve 29’da, yakıt tüketimindeki olumlu etkinin 17.311 kWh’den 17.266 kWh’ye, CO₂ emisyon değerlerindeki olumlu etkinin ise 11.859 kg’dan 11.827 kg’ye kadar düştüğü gösterilmektedir.

Son simülasyon modelinin ön ve arka görünümleri Şekil 30 ve 31’de gösterilmiştir.



Şekil 30. Yenileme sonrası simülasyon modelinin arka görünümü



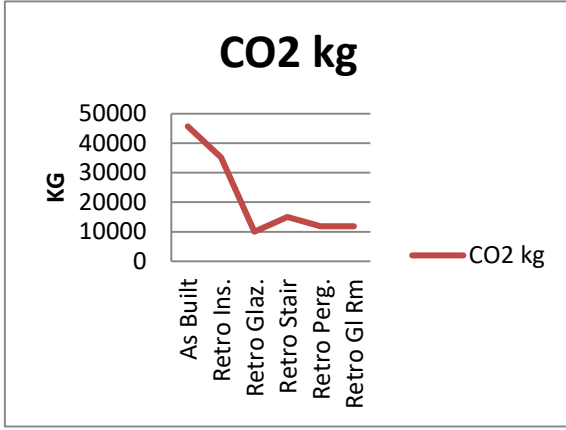
Şekil 31. Yenileme sonrası simülasyon modelinin ön görünümü

3. BULGULAR

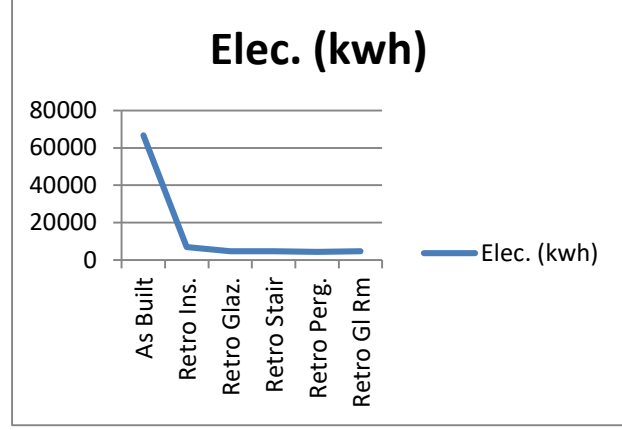
CO₂ emisyonlarında, çoğu yenileme adımında önemli bir azalma gözlemlenmiş ve toplamda 45.681 kg'dan 11.827 kg'a düşerek %74 oranında bir azalma sağlanmıştır. Benzer şekilde, yakıt tüketimi de 66.688 kWh'den 17.266 kWh'e düşerek %74 oranında bir azalma göstermiştir. Ancak, merdiven boşluğunun doğal havalandırmasının iyileştirilmesine yönelik adımda bir istisna gözlemlenmiş; bu adımda CO₂ emisyonları 9.983 kg'den 15.027 kg'a, yakıt tüketimi ise 14.574 kWh'den 21.937 kWh'e yükselmiştir (ayrıntılar Tablo 3'te verilmiştir). Şekil 32 ve 33, ikinci yenileme adımında CO₂ emisyonları ve yakıt tüketiminde belirgin bir azalma olduğunu göstermektedir. Tek camlı pencerelerin çift camlı olanlarla değiştirilmesi, CO₂ emisyonlarının ve yakıt tüketiminin azaltılmasında özel yenileme adımlarının önemli bir etkisi olmuştur.

Tablo 3. Tüm simülasyon adımlarındaki CO₂ emisyonunu gösterir.

Adımlar	CO ₂ (kg)	Elec. (kWh)	Other (kWh)
Yapıldığı gibi	45681	66688	0
Retro Duvarlar	35215	6896	44512
Retro Camlama	9983	4667	9907
Retro Merdiven	15027	4620	17317
Retro Pergola	11859	4416	12895
Retro Camla kaplı oda	11827	4697	12569



Şekil 32. Tüm simülasyon adımlarında CO₂ emisyonunu gösterir.



Şekil 33. Tüm simülasyon adımlarında elektrik kullanımını gösterir.

Tablo 3, mevcut durum ve her bir iyileştirme adımı için yakıt tüketimini göstermektedir. Dış duvar yalıtımının uygulanmasının ardından elektrik tüketiminde önemli bir azalma gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, çift camlı pencerelerin kullanılması sonrasında biyokütle yakıt tüketiminde de belirgin bir düşüş meydana gelmiştir.

4. TARTIŞMA

Farklı yenileme önlemlerinin hem yakıt tüketimini hem de CO₂ emisyonlarını azaltmada farklı derecelerde etkili olduğu görülmektedir. Tüm yenileme adımları eşit düzeyde katkı sağlamamış; bazıları olumlu etkiler sağlarken, diğerleri minimal ya da olumsuz etkiler göstermiştir.

Örneğin, dış duvar yalıtımı CO₂ emisyonlarını başarılı bir şekilde azaltırken, tek camların çift camlarla değiştirilmesi CO₂ seviyelerini daha da düşük seviyelere indirmiştir. Öte yandan, merdiven boşluğuna yapılan skylight (çatı penceresi) montajı, CO₂ emisyonlarında bir artışa yol açmıştır. Bu artış, kontrolsüz doğal havalandırma veya yanlış cam türü seçimi gibi faktörlerle ilişkilendirilebilir.

Benzer şekilde, pergola ve camla kaplı odaların kurulumu, CO₂ emisyonlarında bir azalmaya yol açmış olsa da etkinlikleri sınırlı kalmış ve yüksek maliyetleri bu etkilerin önüne geçmiştir. Dolayısıyla, bu önlemler emisyon azaltımına katkıda bulunmuş olsalar da, diğer stratejiler kadar etkili olmamıştır.

Yakıt tüketimi iki kategoriye ayrılmıştır: elektrik enerjisi ve biyokütle yakıtı. İlk yenileme adımı, elektrik enerjisi tüketiminde önemli bir azalma sağlamıştır. Duvar izolasyonu, yaz aylarında güneşten gelen ısıyı en aza indirmekte ve ısı kayıplarını azaltmakta kritik bir rol oynamış; bu da elektrik enerjisi kullanımında belirgin bir azalma ile sonuçlanmıştır. Sonraki dört yenileme adımı da elektrik enerjisi tüketiminin azaltılmasına olumlu katkılarda bulunmuştur. Bu, Şekil 33'te gösterilmektedir.

Biyokütle yakıtı tüketimi, özellikle yenileme süreciyle doğrudan ilişkilidir. Çift camlı pencerelerin montajından sonra, biyokütle yakıtı kullanımında önemli bir azalma gözlemlenmiştir. Bu azalma, kış

aylarında ısı kayıplarının azalmasına bağlanmakta ve çift camların enerji verimliliğini artırmadaki etkinliğini vurgulamaktadır.

5. SONUÇLAR

Modelin simülasyon verilerinin ve veri analizinin sonuçlarının incelenmesi, bina yenileme girişimlerinin umut verici bir görünüm sunduğunu göstermektedir. Analiz, bina yenilemelerinin hem yakıt tüketimini hem de CO₂ emisyonlarını azaltmada etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışmada, CO₂ emisyonlarında ve yakıt tüketiminde %74 oranında azalma sağlanabileceği gösterilmiştir. Bir binayı yenilemek için birçok yöntem ve aşama bulunmaktadır ve bazı stratejiler diğerlerine kıyasla daha etkili sonuçlar vermektedir. Bu yöntemler arasında, dış duvarların, zemin katların ve çatının yalıtımı en etkili önlemlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle çift cam uygulaması, kış aylarında ısı kaybını azaltmada önemli bir rol oynar ve üç camlı pencere kullanımı bu etkinin daha da artmasını sağlayabilir.

Ayrıca, biyokütle yakıtının kullanımı, CO₂ emisyonlarını azaltmaya katkıda bulunurken elektrik enerjisine olan bağımlılığı da düşürmektedir. Bu yenileme önlemlerinin Türkiye genelindeki konutlarda uygulanması, CO₂ emisyonlarını ve yakıt tüketimini ulusal ölçekte önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir.

Uluslararası düzeyde, bu çalışmada özetlenen metodolojiler ve yaklaşımlar, benzer çevresel koşullarda enerji tüketimini ve CO₂ emisyonlarını azaltmak amacıyla mimarlar ve mühendisler tarafından uyarlanabilir ve uygulanabilir. Bu çalışma, bina performansını optimize etmek ve küresel sürdürülebilirlik çabalarını desteklemek için değerli bir çerçeve sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Apeksha Gupta, C. J. H., Yacine Rezgui (2011). A Low-Energy Retrofit Study Of An Off-Gas Welsh Village Using Renewable Energy Simulation Combined with the UK Standard Assessment Procedure. *Proceedings of Building Simulation*, 14-16.
- Aşıkoğlu, A. (2024). The potential of the effect of insulation and photovoltaic panel use in buildings on energy performance for Turkey and LCC analysis. *Indoor and Built Environment*, 1420326X241231203.
- Battles, S. (1995). Defining Energy Efficiency and Its Measurement. Retrieved from URL: http://www.eia.gov/emeu/efficiency/ee_report_html.htm
- Bishop, K. C., & Kiribrahim-Sarikaya, O. (2024). Energy-efficient investments in housing. *Regional Science and Urban Economics*, 103994.
- Bolattürk, A. (2008). Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. *Building and Environment*, 43(6), 1055-1064.
- Chen, W., & Lai, J. (2024). Performance assessment of residential building renovation: a scientometric analysis and qualitative review of literature. *Smart and Sustainable Built Environment*.

- Clark, G. (2007). Evolution of the global sustainable consumption and production policy and the United Nations Environment Programme's (UNEP) supporting activities. *Journal of Cleaner Production*, 15(6), 492-498.
- D'Agostino, D., Congedo, P. M., Albanese, P. M., Rubino, A., & Baglivo, C. (2024). Impact of climate change on the energy performance of building envelopes and implications on energy regulations across Europe. *Energy*, 288, 129886.
- D'Agostino, D., Tzeiranaki, S. T., Zangheri, P., & Bertoldi, P. (2021). Assessing nearly zero energy buildings (NZEBs) development in Europe. *Energy Strategy Reviews*, 36, 100680.
- DCC. (2018). The Seventh National Communication of Turkey Under The UNFCCC. Retrieved from https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/NationalReports/Documents/496715_Turkey-NC7-1-7th%20National%20Communication%20of%20Turkey.pdf
- Dimoudi, A. (2009). Solar Chimneys in Buildings - The State of the Art. *Advances in Building Energy Research (ABER)*, 3(1), 21-44.
- EIIMD. (2018). Environmental Indicators 2016. Retrieved from <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/env-romental-ind-cators-2016-20180618144837.pdf>
- Elsayed, M., Romagnoni, P., Pelsmakers, S., Castaño-Rosa, R., & Klammsteiner, U. (2023). The actual performance of retrofitted residential apartments: post-occupancy evaluation study in Italy. *Building Research & Information*, 51(4), 411-429.
- EU. (2003). Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. *Official Journal of the European Communities*, 32002L0091(L 1), 65-71.
- EU. (2010). DIRECTIVE 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. *Official Journal of the European Communities*, 32010L0031(L 153), 13-35.
- EU Commission. (2011). A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050. [COM(2011) 112 final]. *EU Printing Office*, COM(2011)(112 final), 1-15.
- EU Commission. (2014). Nearly Zero-Energy Buildings.
- EU Council. (2014). European Council (23 and 24 October 2014) "Conclusions on 2030 Climate and Energy Policy Framework". *EU Printing Office*, SN 79(14), 1-10.
- Fathy, H. (1986). Natural energy and vernacular architecture.
- Fathy, H. (2010). *Architecture for the poor: an experiment in rural Egypt*: University of Chicago press.
- Fayaz, R., & Kari, B. M. (2009). Comparison of energy conservation building codes of Iran, Turkey, Germany, China, ISO 9164 and EN 832. *Applied Energy*, 86(10), 1949-1955. doi:10.1016/j.apenergy.2008.12.024
- Granadeiro, V., Duarte, J. P., Correia, J. R., & Leal, V. M. S. (2013). Building envelope shape design in early stages of the design process: Integrating architectural design systems and energy simulation. *Automation in Construction*, 32, 196-209. doi:10.1016/j.autcon.2012.12.003
- Gucyeter, B., & Gunaydin, H. M. (2012). Optimization of an envelope retrofit strategy for an existing office building. *Energy and Buildings*, 55, 647-659.
- Gupta, A., Hopfe, C. J., & Rezgui, Y. (2011). *A low-energy retrofit study of an off-gas welsh village using renewable energy simulation combined with the UK standard assessment procedure*. Paper presented at the 12th Conference of International Building Performance Simulation Association.
- IEA. (2019). 2019 Global Status Report for Buildings and Construction "Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector". Retrieved from <https://webstore.iea.org/2019-global-status-report-for-buildings-and-construction>
- Jankovic, L. (2012). *Designing zero carbon buildings using dynamic simulation methods*. London and New York: Routledge.

- Kim, B. S., & Degelman, L. O. (1998). An interface system for computerized energy analyses for building designers. *Energy & Buildings*, 27, 97-107. doi:10.1016/S0378-7788(97)00057-1
- Lam, J. C., Wan, K. K. W., Tsang, C. L., & Yang, L. (2008). Building energy efficiency in different climates. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2354-2366. doi:10.1016/j.enconman.2008.01.013
- Lam, K. P. (1994). *A computational design support system for interactive hygro-thermal analysis of building enclosures*. (9500625 Ph.D.), Carnegie Mellon University, Ann Arbor. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/304087675?accountid=15253> ProQuest Dissertations & Theses A&I: Science & Technology; ProQuest Dissertations & Theses A&I: The Arts database.
- Lapisa, R., Bozonnet, E., Abadie, M. O., & Salagnac, P. (2013). Cool roof and ventilation efficiency as passive cooling strategies for commercial low-rise buildings - ground thermal inertia impact. *Advances in Building Energy Research (ABER)*, 7(2), 192-208.
- López-Ochoa, L. M., Las-Heras-Casas, J., González-Caballín, J. M., & Carpio, M. (2023). Towards nearly zero-energy residential buildings in Mediterranean countries: The implementation of the Energy Performance of Buildings Directive 2018 in Spain. *Energy*, 276, 127539.
- Mejri, O., Palomo Del Barrio, E., & Ghrab-Morcós, N. (2011). Energy performance assessment of occupied buildings using model identification techniques. *Energy and Buildings*, 43(2-3), 285-299. doi:10.1016/j.enbuild.2010.09.010
- Molin, A., Rohdin, P., & Moshfegh, B. (2011). Investigation of energy performance of newly built low-energy buildings in Sweden. *Energy and Buildings*, 43(10), 2822-2831. doi:10.1016/j.enbuild.2011.06.041
- Olasolo-Alonso, P., López-Ochoa, L. M., Las-Heras-Casas, J., & López-González, L. M. (2023). Energy performance of buildings directive implementation in southern European countries: a review. *Energy and Buildings*, 281, 112751.
- Poel, B., van Cruchten, G., & Balaras, C. A. (2007). Energy performance assessment of existing dwellings. *Energy and Buildings*, 39(4), 393-403.
- Sarıca, K., Harputlugil, G. U., İnaner, G., & Kollugil, E. T. (2023). Building sector emission reduction assessment from a developing European economy: A bottom-up modelling approach. *Energy Policy*, 174, 113429.
- Shiel, J. (2009). Practical greenhouse gas reduction strategies for the existing building stock. *Architectural Science Review*, 52(4), 270-278.
- Taşçı, G. G. (2023). *Defining Nearly Zero-Energy Buildings (NZEB) for Turkey in terms of Boundary Conditions*. Paper presented at the Proceedings of the International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism-ICCAUA.
- TSI. (2008). *Thermal insulation requirements for buildings*. Ankara: Turkish Standards Institute TSI Retrieved from https://sayfam.btu.edu.tr/upload/dosyalar/1458664642TS-825_Standard.pdf.
- Turkish Ministry of Energy. (2008). *BEP-EN 13790 and EN Net Energy Calculation Method - EN 13790 ve BEP-TR Net Enerji Hesaplama Yöntemi - "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği"*. Ankara.
- United Nations. (1998). *Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change* (pp. 21). NY, USA: UNITED NATIONS.
- United Nations. (2020). Working Group III Mitigation of Climate Change "Technological and Economic Potential of Greenhouse Gas Emissions Reduction". Retrieved from <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg3/index.php?idp=93>

