www.turkishstudies.net/appliedsciences

Turkish Studies - Information Technologies and Applied Sciences

eISSN: 2667-5633

Research Article / Araştırma Makalesi

Sponsored by IBU

Binalarda Enerji Verimliliği için Gerekli Algılayıcıların Özgün Olarak Geliştirilmesi Projesi Tekno-Ekonomik Analizi

*Techno-Economic Analysis of the Indigenous Sensor Development for Energy Efficient
Buildings Research Project*

Hasan Ufuk Gökçe* - Kamil Umut Gökçe**

Abstract: Energy efficiency regarded as a major determinant of energy policy for the main reason that it is the cheapest energy source. International Energy Agency (IEA) use the term “first fuel” to describe energy efficiency, considering it to be a major energy resource. This contributes to security of supply, competitive energy prices and environmental protection. In this work, techno-economic analysis of a cost effective building energy optimization system consisting of 12 different wireless network embedded sensors, control units (actuators), wireless communication protocol, multi-dimensional data warehouse, graphical user interfaces and energy optimization software with artificial intelligence backed control algorithms is examined. The research and development activity is carried within the “Indigenous Sensor Development for Energy Efficient Buildings” research project which is supported by “The Scientific and Research Council of Turkey” (TÜBİTAK) - Teydeb 1501 Industry Research and Development Projects programme between the years 2014 and 2018. The developed system has been tested, and energy efficiency levels were measured at the Boğaziçi University North Campus Technology Center (TEKMER), EOS Sustainable Energy Solutions A.Ş. firm's laboratory between the years 2014-2018. It has been recorded that the system provides energy efficiency levels between the lowest 30,23% - the highest 41,27% under different seasonal and occupancy conditions. The techno economic analysis of the developed system has been examined based on indicators for the multiple benefits gained through intelligent optimisation of energy consumption in the residential and office buildings. Indicators used in this research are aligned with existing legislative frameworks, specifically the methods and performance indicators presented in ISO 52016 and the European Commission's Delegated Regulation No. 244/2012, proposed to assess the cost optimality of building efficiency when implementing the EU Directive for the Energy Performance of Buildings. The analysis is accomplished within the framework of three main indicators. These are economic indicators including calculations of lifetime cost and payback rate methods, resource use indicators including the calculation of reduced energy use as a result of the energy efficiency provided by the system, social indicator including additional disposable income calculations and environmental indicators including calculations depicting the benefits of reducing harmful emissions. Analysis results illustrate that building energy optimisation systems provide a cost effective

* Dr. Öğr. Üyesi, Ar&Ge Müdürü, EOS İstanbul Sürdürülebilir Enerji Çöz. A.Ş., İTÜ ARI Teknokent, İstanbul.

Asst. Prof. Dr., R&D Director, EOS Istanbul Sustainable Energy Sol. Inc., ITU ARI Teknokent, Istanbul.

ORCID 0000-0001-8010-0703

ufuk.gokce@eos-ses.de

** Dr. Öğr. Üyesi, Genel Müdür, EOS İstanbul Sürdürülebilir Enerji Çöz. A.Ş., İTÜ ARI Teknokent, İstanbul.

Asst. Prof. Dr.-Ing., Managing Director, EOS Istanbul Sustainable Energy Sol. Inc., ITU ARI Teknokent, Istanbul.

ORCID 0000-0003-2635-7991

umut.gokce@eos-ses.de

Cite as/ Atıf: Gökçe, H. U. & Gökçe, K. U. (2020). Binalarda enerji verimliliği için gerekli algılayıcıların özgün olarak geliştirilmesi projesi tekno-ekonomik analizi. *Turkish Studies - Applied Sciences*, 15(3), 325-344. <https://dx.doi.org/10.47844/TurkishStudies.44680>

Received/Geliş: 30 June/Haziran 2020

Accepted/Kabul: 20 September/Eylül 2020

Copyright © INTAC LTD, Turkey

Checked by plagiarism software

Published/Yayın: 25 September/Eylül 2020

CC BY-NC 4.0

method for promoting energy efficiency goals. Results of the indicators shows monetizable benefits for the building occupant in resource use, return on investment, and social impact, as well as quantifiable benefits for easing the harmful effects of climate change phenomenon.

Structured Abstract: The population of Turkey is almost doubled, increasing from 43 million to 82 million between the years 1980 and 2019 (World Bank a, 2020). The annual GDP (Gross Domestic Product) increased from 68 Billion USD to 771 Billion USD (World Bank b, 2020). Energy consumption is quadrupled with an increase from 27 thousand toe to 111 thousand toe (EİGM, 2020). CO₂ emissions per capita raised approximately 3 times with an increase from 1723 tons to 4448 tons (World Bank c, 2020).

Turkey imports 76% of its total energy (Gökçe & Erol 2020: 108) and 96% of its oil (EUROSTAT b, 2020). Turkey paid 350 Billion U.S. Dollars for energy imports between the years 2011 and 2017 (BOTAS, 2017: 17). It is estimated that Turkey will import approximately 1.4 Trillion U.S. Dollars worth of energy until the year 2030 (OME, 2014: 18).

Energy efficiency regarded as a main determinant of national and supranational energy policies for the simple reason that it is the cheapest energy source. This contributes to security of supply, competitive energy prices and environmental protection. International Energy Agency (IEA) use the term “first fuel” to describe energy efficiency, considering it to be a major energy resource (IEA, 2013). At the United Nations Climate Conference (COP 23 UN-Klimakonferenz in Bonn, 2017) held in Bonn, Germany, incentives for environmental technologies and sanctions for environmental protection has been significantly increased (UNFCCC, 2018: 13). The European Union (EU), which contributed to the legal committees established under the Kyoto Protocol, has set the goal of reducing energy consumption by 20% by 2020 (EC, 2011a: 3). These will increase the demand for energy production from renewable sources and cost-effective smart energy optimization technologies that enable efficient use of energy on a global scale.

Current residential and office buildings significantly contribute to total energy consumption and CO₂ emissions. Energy consumption for building-related services accounts for approximately 40% of total EU energy consumption (Itard vd., 2008:19). Buildings are responsible for 36% of the total CO₂ emissions (EC, 2019:6). It has been estimated that building operation (space lighting, heating and cooling) is responsible for about 50% of primary energy use and a slightly lower share of CO₂ and greenhouse gas emissions in the EU (Cohen et al. 2004). Reports by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the U.S. Department of Energy note that buildings account for 25-30% of the total energy-related CO₂ emissions worldwide (Price, 2006). It is clear that with efficiency initiatives in the building sector, significant energy savings and CO₂ emission reductions can be achieved, thus helping to attain objectives on climate change and security of energy supply.

According to European standard “EN 15232 Energy Performance of Buildings-Impact of Building Automation” building operation systems can, depending on building type and equipment standard, produce the following potential savings of energy: restaurants 31%, hotels 25%, offices 39%, shopping centers 49%, hospitals 18%, schools/universities 34% and residential 27% (DIN, 2007). This is a major contribution to the “Kyoto-Protocol-Process” in which the EU outlined the objective to reduce energy consumption by 20% by 2020 (EC, 2011:3). Moreover, the control of energy performance of buildings is often provided by an ad-hoc combination of off-the-shelf building management components, distributed data metering equipment, glued together by monitoring and targeting software tools. The absence of building management systems standardization coupled with competition for market share results in independent and non-compatible system development.

In this work, techno-economic analysis of an indigenously developed novel cost effective building energy optimization system consisting of 12 different wireless network embedded sensors, control units, wireless communication protocol, multi-dimensional data warehouse, graphical user interfaces and energy optimization software consisting of artificial intelligence backed control algorithms is examined. The developed system has been tested, and energy efficiency levels were measured at the Boğaziçi University North Campus Technology Center (TEKMER), EOS Sustainable Energy Solutions A.Ş. firm's office and laboratory areas between the years 2014-2018. It has been recorded that the system provides energy efficiency levels between the lowest 30,23% - the highest 41,27% under different seasonal and occupancy conditions.

The techno economic analysis of the developed system has been examined based on indicators for the multiple benefits gained through intelligent optimisation of energy consumption in the residential buildings. Indicators used as an evaluation pattern in this work are aligned with existing legislative frameworks, specifically the methods and performance indicators presented in ISO 52016 and the European Commission's Delegated Regulation No. 244/2012, proposed to assess the cost optimality of building efficiency when implementing the EU Directive for the Energy Performance of Buildings. The analysis is accomplished within the framework of three main indicators. These are economic indicators including calculations of lifetime cost and payback rate methods, resource use indicators including the calculation of reduced energy use as a result of the energy efficiency provided by the system, social indicator including additional disposable income calculations and environmental indicators including calculations depicting the benefits of reducing harmful emissions.

Analysis results illustrate that building energy optimisation systems provide a cost effective method for promoting energy efficiency goals. Results of the indicators shows monetizable benefits for the building occupant in resource use, return on investment, and social impact, as well as quantifiable benefits for easing the harmful effects of climate change phenomenon.

The research presented in this work is carried within the "Indigenous Sensor Development for Energy Efficient Buildings" research project which is supported by The Scientific and Research Council of Turkey" (TÜBİTAK) - Teydeb 1501 Industry R&D Projects programme between the years 2014 and 2018.

Keywords: Information Systems, Energy Efficiency, Information Management, Decision Support Systems, Smart Buildings, System Development.

Öz: Enerji verimliliği, maliyeti en düşük enerji kaynağı olması nedeni ile başta Avrupa Birliği ülkeleri olmak üzere birçok ülkenin ve uluslararası kuruluşun enerji politikalarının ana dayanağı olarak kabul edilmektedir. Enerji verimliliği, arz güvenliğine, rekabetçi enerji fiyatlarına ve çevrenin korunmasına katkıda bulunmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) enerji verimliliğinin başlıca enerji kaynağı olduğunu tanımlamak için "ilk yakıt" terimini kullanmaktadır. Bu çalışmada, TÜBİTAK Teydeb 1501 Sanayi AR-GE Projeleri Destekleme Programı çerçevesinde 2014-2018 yılları arasında yürütülmüş 3140107 proje numaralı "Binalarda Enerji Verimliliği için Gerekli Algılayıcıların Özgün Olarak Geliştirilmesi Projesi" kapsamında binaların enerji verimliliğinin artırılması hedefi için gerekli olan ağıl gömülü teknolojileri içeren oniki farklı tipte özgün olarak geliştirilmiş sensör ve kontrol ünitesi, bunlara ait gömülü yazılımlar, kablosuz haberleşme protokolü, çok boyutlu veri ambarı, yapay zeka destekli akıllı kontrol algoritmalarından oluşan enerji optimizasyon yazılımı ve grafiksel kullanıcı ara yüzlerinden meydana gelen entegre Enerji Optimizasyon Sistemi (EOS) tekno-ekonomik analizi ele alınmıştır. Geliştirilen sistem Boğaziçi Üniversitesi Kuzey Yerleşkesi Teknoloji Merkezi (TEKMER) içinde yer alan EOS Sürdürülebilir Enerji Çözümleri A.Ş. firmasına ait ofis ve laboratuvar alanlarında uygulanarak test edilmiş ve sistemin farklı mevsimsel koşullar altında %30,23 ile %41,27 aralığında enerji verimlilik seviyeleri sağladığı ölçülmüştür. Geliştirilen sistemin farklı bina tipleri için ISO 52016 ve Avrupa Birliği Binaların Enerji Performansı Yönetmeliği (No. 244/2012) temel alınarak türetilen göstergeler temelinde, son kullanıcı ve dolayısı ile ülke ekonomisine katkısına yönelik tekno ekonomik analizi ortaya konmuştur. Analiz üç ana gösterge çerçevesinde yapılmıştır. Bunlar, kullanım ömrü maliyeti ve geri ödeme hızı yöntemleri hesaplamalarını içeren ekonomik göstergeler, sistemin sağladığı enerji verimliliği sonucunda azalan enerji kullanımı hesaplamasını içeren kaynak kullanım göstergeleri, hane halklarına sağlanan fayda hesaplamasını içeren sosyal göstergeler ve zararlı emisyonların azaltılması sonucu oluşan faydaları içeren çevresel göstergelerdir. Analiz sonuçları, bina enerji optimizasyon sistemlerinin ülkelerin ve kurumların enerji verimliliği hedeflerini desteklemek için uygun maliyetli bir yöntem sunduğunu göstermektedir. Göstergelerin sonuçları, geliştirilen sistemin bina sakinleri açısından, kaynak kullanımı, yatırımın getirisi ve sosyal etki gibi parasal faydaların yanı sıra iklim değişikliği olgusunun zararlı etkilerinin hafifletilmesi için ölçülebilir faydalar sağladığını da doğrulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bilgi Yönetimi, Enerji Verimliliği, Veri Yönetimi, Karar Destek Sistemleri, Akıllı Binalar, Sistem Geliştirme.

Giriş

Türkiye'nin nüfusu 1980-2019 yılları arasında 43 milyondan 82 milyona yükselerek yaklaşık 2 katına ulaşmıştır (Dünya Bankası a, 2020). GSYİH'si 68 milyar dolardan 771 milyar dolara yükselirken 12 katına (Dünya Bankası b, 2020), enerji tüketimi 27 bin TEP'ten 111 bin TEP'e yükselerek 4 katına (EİGM, 2020), kişi başına düşen yıllık CO₂ emisyonu salınımı 1723 ton seviyesinden 4448 ton seviyesine yükselerek yaklaşık 3 kat artmıştır (Dünya Bankası c, 2020).

Tüketilen toplam enerjinin üçte ikisini ithal eden Türkiye, sadece petrolde ise tüketiminin %96'sını yabancı kaynaklardan ithal etmektedir (EUROSTAT b, 2020). Türkiye enerjide ithalata bağımlılıkta 39 Avrupa ülkesi arasında beşinci sırada yer almaktadır (EUROSTAT a, 2020). 1990-2015 yılları arasında yaklaşık 1,2 trilyon Amerikan Doları tutarında enerji ithalatı gerçekleştiren Türkiye (IEA, 2020), T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre ise, 2011 ve 2017 yılları arasında yaklaşık 350 milyar Amerikan Dolar'ı tutarında enerji ithalatı yapmıştır (BOTAS, 2017: 17). 1990 yılında 30.633 bin TEP enerji ithal eden Türkiye'nin dışa bağımlılığı %51,03 iken 2017 yılında 124.425 bin TEP enerji ithal ile dışa bağımlılık oranı yaklaşık %76 seviyesine yükselmiştir. 1990-2000 döneminde enerji ithalatı 1.7 kat artarken, 2000-2017 döneminde enerji ithalatı 2.2 kat artmıştır. Son yirmi yılda ise Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığı yaklaşık %11 artmıştır (Gökçe ve Erol, 2020:109). Türkiye'nin 2030 yılına kadar yaklaşık 1,4 trilyon Amerikan Dolar'ı tutarında enerji kaynağı ithal etmesi öngörülmektedir (OME, 2014: 18).

Enerji verimliliği, maliyeti en düşük enerji kaynağı olması nedeni ile başta Avrupa Birliği ülkeleri olmak üzere birçok ülkenin ve uluslararası kuruluşun enerji politikalarının ana dayanağı olarak kabul edilmektedir. Enerji verimliliği, arz güvenliğine, rekabetçi enerji fiyatlarına ve çevrenin korunmasına katkıda bulunmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) enerji verimliliğinin başlıca enerji kaynağı olduğunu tanımlamak için "ilk yakıt" terimini kullanmaktadır. Almanya'nın Bonn şehrinde yapılan Birleşmiş Milletler Klima Konferansında (COP 23 UN-Klimakonferenz in Bonn, 2017) bütün katılımcı ülkelerin kabul ettiği üzere çevreci teknolojiler, çevreyi koruma ile ilgili yaptırımlar ve teşvikler önemli oranda arttırılmıştır (UNFCCC, 2018: 13). Bu da, yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik enerjisine ve enerjinin verimli kullanılmasını sağlayan maliyet etkin akıllı enerji optimizasyon teknolojilerine olan talebi küresel ölçekte arttıracaktır. Kyoto-Protokolü, çerçevesinde oluşturulan yasal kurullara katkıda bulunan Avrupa Birliği (AB), enerji tüketimini 2020 yılına kadar %20 azaltma hedefini belirlemiştir (EC, 2011a:3).

Avrupa Birliği ülkeleri şu anda kullanmış oldukları petrolün % 82'sini ve doğal gazın % 57'sini ithal etmektedir (EUROSTAT, 2020a). Avrupa Birliği ülkelerinin dış enerji piyasaları ve enerji arzı üzerinde çok az etkisi olabilir, ancak iç enerji talebini kontrol edebilir. Enerjide görece yüksek dış bağımlılık için olası bir çözüm, enerji verimliliğini artırarak enerji tüketimini azaltmaktır.

Avrupa'daki toplam enerji kullanımının %40'ı ve enerji kullanımı ile ilgili toplam karbon emisyonlarının % 30'u mevcut yapı stoğu ile ilgilidir (Itard, 2008: 19). Bu değerler binalarda enerji verimliliğine yönelik uygulamaların karbon emisyonlarının düşürülmesine önemli bir katkı sunacağını göstermektedir.

Günümüzde Avrupa Birliği ülkelerinde kullanılan toplam enerjinin %40'ı sadece binalar (konut ve ofis) tarafından tüketilmektedir (Itard, 2008: 19). Avrupa genelinde binalar toplam karbon emisyonlarının %36'sını üretmektedir (EC, 2011: 48). Yapılan orta ve uzun vadeli projeksiyonlarda öngörüldüğü üzere, 2030 yılı itibarı ile binalar başlıca enerji kullanıcısı olarak dünyadaki toplam enerjinin %35'ini kullanacak ve zararlı sera gazı emisyonları salınımında kritik rol oynamaya devam edeceklerdir (Price, 2006: 14). Avrupa'da binaların %85'i 20 yıldan ve %60'ı 40 yıldan eski olmakla beraber, %30'u ikinci dünya savaşı öncesi inşa edilmiş binalardır, bu görece eski ve enerji verimliliği düşük bina stoğunun yarısı önümüzdeki 10 sene içerisinde mevcut Avrupa

Birliği Enerji Verimliliği Müktesabatına uygun hale getirilmek üzere yenilenecektir (Bogdan vd., 2011: 9).

Binalar tarafından kullanılan enerji miktarının %30 oranında optimize edilmesi ile Avrupa'da kullanılacak toplam enerji miktarı %11 oranında azalacaktır (Bogdan vd., 2011: 43). Bu yaklaşım, enerji kullanımında geri kalan %60'lık dilimin içinde yer alan endüstri ve ulaşım kaynaklı enerji kullanımında hiçbir iyileştirme yapılmasa dahi, Avrupa Birliği hedefi olan 2020 yılında kullanılacak toplam enerji miktarı verimliliğinin %20 oranında arttırılmasını (EC, 2011: 3) mümkün kılacak ve hedeflenen verimlilik değerlerinin yarıdan fazlasını sadece binalarda iyileştirme yapılması ile karşılayacaktır. Mevcut binaların enerji verimliliğinin arttırılmasına yönelik çözümler yüksek bir ticari potansiyel taşımaktadırlar.

Bina yalıtım önlemlerinin yanı sıra, binaların enerji verimliliğinde belirgin iyileşmeler elde etmenin başlıca maliyet etkin yolu, enerji verimliliğini önceleyen bina otomasyon teknolojilerini kullanmaktır (VDMA, 2008).

“EN 15232 Binaların Enerji Performansı - Bina Otomasyonunun Etkisi” - AB bina otomasyon sistemleri ve ekipman standardına göre; restoranlarda % 31, otellerde % 25, ofislerde % 39, alışveriş merkezlerinde % 49, hastanelerde % 18, okullar ve üniversitelerde % 34 ve konutlarda % 27'ye varan enerji tasarrufu sağlanabilir (DIN, 2007). Ayrıca, bina otomasyon sistemleri kurulumu bina cephe yalıtımı uygulamalarından daha hızlı ve daha az maliyetlidir (Gökçe ve Gökçe, 2011).

Bu nedenle binalarda enerji verimliliğine yönelik kullanımı kolay izleme ve kontrol teknolojileri kullanımı yaygınlaşmaktadır. Hali hazırda büyük alışveriş merkezlerinde, hastanelerde ve okullar gibi büyük özel ve kamu binalarında gelişmiş bina otomasyon sistemleri görülebilir. Fakat bu sistemler farklı bina otomasyon sistemlerinin bir bileşeni olarak gerekli enerji performans değerlerini sağlayamamalarının yanında, farklı ve birbirleri ile entegre bir yapıda çalışamamaları dolayısı ile bir çok teknik soruna da sebep olmaktadır (Hatley vd., 2005). Bu sistemlerin enerji verimliliğini sağlayabilmesi için gerekli olan düzenlemeler, bu sistemlere yeni bir tasarım ve yönetim katmanında ilave edilmesini gerektirir. Bu yeni katman tüm sistemi analiz etmeyi, yeni arayüzler geliştirmeyi, mevcut cihazları değiştirmeyi, oluşturulmuş parametreleri optimize etmeyi gerektirir (Gökçe ve Gökçe, 2013).

Bu kapsamda binalarda enerji verimliliği, birbirinden farklı ürünlerin ve sistemlerin gelişigüzel bir yapı altında bir araya getirilmesi ile sağlanmaktadır. Bu problemin üstesinden gelinmesi entegre ve modüler bir platformun oluşturulması ile gerçekleştirilebilir.

Bu sorunlar, “Binalarda Enerji Verimliliği için Gerekli Algılayıcıların Özgün Olarak Geliştirilmesi Projesi” ile ele alınmış, ve bu proje kapsamında geliştirilen sistem EOS İstanbul Sürdürülebilir Enerji Çözümleri A.Ş. için tahsis edilmiş Boğaziçi Üniversitesi Teknoloji Merkezi Laboratuvarlarında ve Bahçeşehir İstanbul'da yer alan ve konut olarak kullanılan iki farklı test binasında, 2015-2018 yılları arasında test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda geliştirilen sistemin farklı mevsimsel koşullar altında en düşük %30,23 ile en yüksek %41,27 aralığında enerji verimliliği sağladığı kayıt altına alınmıştır.

Bu çalışmada, geliştirilmiş olan EOS-Enerji Optimizasyon Sisteminin, 2 odalı - 100 m², 3 odalı - 150 m² ve 4 odalı - 250 m² net kullanım alanlarına sahip farklı konut tipleri için son kullanıcıya yönelik ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri analiz edilmiştir. Analiz üç ana gösterge çerçevesinde yapılmıştır. Bunlar, kullanım ömrü maliyeti ve geri ödeme hızı yöntemleri hesaplamalarını içeren ekonomik göstergeler, sistemin sağladığı enerji verimliliği sonucunda azalan enerji kullanımı hesaplamasını içeren kaynak kullanım göstergeleri, hane halklarına sağlanan fayda hesaplamasını içeren sosyal göstergeler ve zararlı emisyonların azaltılması sonucu oluşan faydaları içeren çevresel göstergelerdir.

Sistemin proje sürecinde ölçülen en düşük test sonuçları baz alınarak ortalama %25 enerji tasarrufu sağlayabileceği temel alınmıştır. Geliştirilen sistemin ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri farklı göstergeler temel alınarak yapılan analiz sonuçları ile birlikte son kullanıcı ve dolayısı ile ülke ekonomisine katkısına yönelik tekno ekonomik analizi ortaya konmuştur.

Proje Amacı

TÜBİTAK Teydeb 1501 Sanayi AR-GE Projeleri Destekleme Programı çerçevesinde yürütülmüş 3140107 proje numaralı "Binalarda Enerji Verimliliği için Gerekli Algılayıcıların Özgün Olarak Geliştirilmesi Projesi" kapsamında, enerji tüketimini azaltmaya yönelik bina operasyonlarının izlenmesi ve akıllı kontrolü için gerekli olan bina performans verilerini işleyen ve analiz eden bütünlük bir sistemin ortaya konması için yeni bir metodoloji geliştirilmiştir.

Bu amaca ulaşmak için, yürürlükte olan bina enerji düzenlemeleri, kablosuz gömülü cihazlar, akıllı kontrol algoritmaları, bina enerji performansı izleme araçları, bu araçların bilgi yönetimi, bu araçlardan elde edilen bilgilerin veri ambarı entegrasyonunu kapsayan ve sistem işlevselliğini artıran yeni yöntemler araştırılmıştır.

Bu çalışmaya konu olan "EOS Enerji Optimizasyon Sistemi" açık ve genişletilebilir bilgi alışverişi ile birlikte yeni bir entegre veri toplama ve bina yönetim sistemi olarak ortaya konmuş, veri ambarı, veri madenciliği, akıllı kontrol ve web hizmeti teknolojilerini kullanarak enerji izleme ve kontrolünün gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Geliştirilen sistem kablosuz donanımlar ve yapay zekâ algoritmalarından oluşan yazılım yardımı ile ısıtma/soğutma sistemleri, ışıklandırma, ev gereçleri gibi enerji harcayan bina sistemlerini optimize ederek binaların toplam enerji sarfiyatını %31 ile %41 arasında oranlarda düşürmektedir. EOS eski, yeni ve farklı kullanım amaçlarına sahip binalarda uygulanabilmektedir.

EOS Enerji Optimizasyon Sistemi

Geliştirilen sistem 12 farklı bileşeni yöneten yapay zeka algoritmaları temelinde çalışan EOS yazılımı yardımı ile binalarda bulunan kalorifer, ışıklandırma, klima gibi enerji harcayan bina sistemlerini optimize ederek binaların toplam enerji sarfiyatını düşürmektedir (Şekil 1). Sistem eski, yeni veya farklı bina tipi ayırt etmeksizin her tipte binaya uygulanabilmektedir. Geliştirilen sistemin bütün yazılım ve donanım bileşenleri proje kapsamında özgün olarak geliştirilmiştir.

Şekil 1: EOS-Enerji Optimizasyon Sistemi.

Yazılımı ve yazılıma özel olarak tasarlanarak üretilmiş sistem bileşenleri ile bütünsel bir sistem mimarisi ele alınarak geliştirilen başka bir sistem hali hazırda bulunmamaktadır.

Araştırma ve Geliştirme süreci sonucu ortaya çıkartılan EOS Sistem bileşenleri aşağıda verilmiştir.

1. **EOS Algılayıcı:** Isı, Işık, Nem seviyelerinin gerçek zamanlı olarak ölçülmesi ve hareket algılaması için kullanılır.
2. **EOS Soğutma Sistemi Kontrolörü:** Binada bulunan tüm klimaların gerçek zamanlı kontrolünü sağlar, optimize eder.
3. **EOS Isıtma Sistemi Kontrolörü:** Isı seviyesinin gerçek zamanlı olarak optimize edilmesi için kullanılır.
4. **EOS İnsan Algılayıcı:** İnsan sayısının gerçek zamanlı olarak tespit edilmesi için kullanılır.
5. **EOS Floresan Dimer:** Floresan sistemli ışık seviyesinin gerçek zamanlı olarak optimize edilmesi için kullanılır.
6. **EOS Dimer:** Işık seviyesinin gerçek zamanlı olarak optimize edilmesi için kullanılır.
7. **EOS Aç-Kapa Kontrolörü:** Binada bulunan tüm elektrikli aletlerin açma – kapama fonksiyonlarını optimize eder.
8. **EOS Sayaç:** Elektrik sarfiyatının gerçek zamanlı ölçülmesi için kullanılır.
9. **EOS Kelepçeli Sayaç:** İstenilen alanın ve cihazın gerçek zamanlı elektrik sarfiyatının gerçek zamanlı ölçülmesi için kullanılır.
10. **EOS Sinyal Ağı Yönlendiricisi:** Bütün komponentlerin birbiri ile kablosuz haberleşmesini sağlar.
11. **EOS Tablet PC:** Kullanıcı arayüzü gösterimi ve akıllı kontrol algoritmalarının hesaplanması için kullanılır.
12. **EOS Enerji Optimizasyon Yazılımı:** Yapay zeka ve akıllı kontrol yazılımlarından oluşur sistemin beynidir.

Kuzey Amerika, Avrupa ve Uzak Doğu menşeli farklı komponentleri biraraya getirerek geliştirilen sistemler yazılım ve donanım uyumsuzluğundan kaynaklanan uzun süreli veri gönderme aralıklarının sonucu olan geç tepki verme problemleri nedeni ile etkin çalışmamaktadır. Bu nedenle hedeflenen enerji verimlik değerleri sağlanamamaktadır. Ayrıca, bu sistemler, maliyet olarak EOS Sisteminin 2 ila 8 katı kadar daha pahalıya mal olmaktadır. Aşağıda Mayıs 2020 güncel fiyatları ile bir karşılaştırma tablosu (Tablo 1) verilmiştir. Yabancı komponentlere ait fiyatlar üreticilere ait internet sitelerinden alınmıştır.

Tablo 1: EOS Enerji Optimizasyon Sistemi Fiyat Karşılaştırma Tablosu.

Yabancı Komponentler	Fiyat (TL)	EOS Komponentler	Fiyat (TL)
Fibaro Center 2 Gateway	6.520	EOS Sinyal Ağı Yönlendiricisi	750
EZ Motion Sensor	492	EOS İnsan Algılayıcı	300
Danfoss Akıllı Termostat	660	EOS Isıtma Sistemi Kontrolörü	325
Duwi 2000 Dimmer	480	EOS Floresan Dimer	250

Sistem Testleri ve Sonuçları

Boğaziçi Üniversitesi Kuzey Yerleşkesi Teknoloji Merkezi (TEKMER) içinde yer alan EOS Sürdürülebilir Enerji Çözümleri A.Ş. firmasına ait ofis ve laboratuvar alanlarında konuşlandırılan “EOS Enerji Optimizasyon Sistemi” 2014-2018 yılları arasında test edilmiştir.

Aşağıda farklı yıllara ve mevsim koşullarına ait üç test sonucu verilmiştir. Test prosedürleri çerçevesinde elde edilen sonuçlar Grafik 1’de verilmiştir.

- 27.06.2015 Ortalama Ölçülen Enerji Tasarrufu: % 41,27
- 10.07.2016 Ortalama Ölçülen Enerji Tasarrufu: % 40,03
- 14.02.2017 Ortalama Ölçülen Enerji Tasarrufu: % 30,23

Test Edilen Parametreler

- **EOS Soğutma Sistemi Kontrolörü** tarafından kontrol edilen Bina Isıtma / Soğutma Sistemleri:
 - 1 adet klima (Airfel AP09-3102 / R2 Soğutma: 9000 BTU / h Isıtma: 9000 BTU / h) soğutma ve ısıtma işlevselliğine sahip.
- **EOS Dimer** tarafından kontrol edilen Bina Aydınlatma Sistemleri:
 - Enerji tasarruflu ampullere sahip 8 bağımsız lamba (Philips Tornado 20W Dimmable).
- **EOS Floresan Dimer tarafından kontrol edilen Bina Aydınlatma Sistemleri (floresan)**
 - 1 floresan tipi aydınlatma sistemi (Philips TL-D 36W).
- **EOS Aç-Kapa Kontrolörü tarafından kontrol edilen elektrige bağlı ofis aletleri:**
 - Panasonic LED Flat 42 İnç Akıllı TV.
 - HP Office Jet 7500 A Yazıcı.
 - Elektrikli Su Isıtıcısı.

Test Prosedürleri

- i. Isıtma / Soğutma Sistemleri, Aydınlatma Sistemleri ve Ofis Cihazları EOS Enerji Optimizasyon Sistemine bağlıdır.
- ii. Isıtma / Soğutma Sistemleri, Aydınlatma Sistemleri ve Ofis Cihazları ayrı bir elektrik ölçere bağlıdır.
- iii. Ölçülen “Dış Sıcaklık, İç Nem Seviyesi ve İç Sıcaklık” tabloya kaydedilmiştir.
- iv. EOS Enerji Optimizasyon Sistemi çalışmıyorken bağlı bina sistemlerinin toplam gerçek elektrik tüketimi ölçülür (Test Adı: Varsayılan Test). Ölçülen elektrik tüketimi tabloya kaydedilir.
- v. EOS Enerji Optimizasyon Sistemi çalışırken bina sistemlerinin toplam gerçek elektrik tüketimi ölçülür (Test Adı: Test 1). Ölçülen elektrik tüketimi tabloya kaydedilir.
- vi. Test değerleri, en son “Varsayılan Test” değerleri ile karşılaştırılır.
- vii. Saat başı ölçülen enerji tasarrufu hesaplanmış ve tabloya kaydedilmiştir.
- viii. Günlük ortalama enerji tasarrufu hesaplanmış ve tabloya kaydedilmiştir.

Grafik 1: EOS – Enerji Optimizasyon Sistemi Test Sonuçları.

Tekno-Ekonomik Analiz

Tekno-ekonomik analiz prensipte farklı yöntemler kullanılarak yapılan fayda maliyet karşılaştırmasıdır. Bu analizler; belirli bir teknolojinin ekonomik fizibilitesinin değerlendirilmesi, kullanım ömrü boyunca nakit akışlarının incelenmesi, farklı teknolojilerin, uygulamaların ve ölçeklerin değerlendirilmesi, aynı hizmeti veren farklı teknoloji uygulamalarının ekonomik kalitesini karşılaştırılması amacıyla kullanılır (Lauer, 2020: 3).

Bu kapsamda, proje sonucunda geliştirilen sistemin, farklı konut tipleri için son kullanıcı açısından çoklu faydaları analiz edilmiştir. Analiz dört ana gösterge çerçevesinde yapılmıştır. Bunlar, kullanım ömrü maliyeti ve geri ödeme hızı yöntemleri hesaplamalarını içeren ekonomik göstergeler, kaynak kullanım göstergeleri, sosyal göstergeler ve çevresel göstergelerdir. Göstergeler belirlenirken, ISO 52016 (ISO, 2019a,b) ve Avrupa Birliği Binaların Enerji Performansı Yönetmeliği (No. 244/2012) (EC, 2012) temel alınmıştır.

Proje test sonuçları göz önünde bulundurularak kötümser senaryoda ortalama %25 enerji tasarrufu sağlayabileceği temel alınmıştır.

Bu noktada teknolojik ekonomik analizler; 2 Odalı 100 m² net kullanım alanına sahip, 3 Odalı 150 m² net kullanım alanına sahip, 4 Odalı 250 m² net kullanım alanına sahip, farklı konut tipleri için yapılmıştır. Geliştirilen sistemin çoklu faydaları farklı göstergeler temel alınarak yapılan analiz sonuçları ile birlikte son kullanıcı ve dolayısı ile ülke ekonomisine katkısına yönelik teknolojik ekonomik analizi ortaya konmuştur.

Ekonomik Göstergeler

Geliştirilen sistemin son kullanıcı için ekonomik faydalarının analiz edilmesi için geri ödeme hızı yöntemi ve yatırımın getirisi yöntemleri kullanılmıştır.

Geri Ödeme Hızı Yöntemi

Bu yöntem yatırılan anaparanın geri kazanılması için geçen sürenin hesaplandığı yöntemdir. Geri ödeme süresinin yıl cinsinden hesaplandığı matematiksel ifade denklem 1’de verilmiştir.

$$\text{Geri ödeme periyodu} = \text{Anapara maliyeti} / \text{Ortalama yıllık getiri} \text{ (denklem 1)}$$

Geri ödeme metodunda sistemin ömrü ve ileride oluşabilecek diğer maliyetler hesaba katılmamaktadır. Kullanışlı ve basit bir ekonomik analiz yöntemi olmasına rağmen karmaşık para akışlarının olduğu durumlar için yeterli değildir (Doğan, 2006) .

Kullanım Ömrü Maliyeti Hesabı Yöntemi

Sistemin kullanım ömrü boyunca oluşacak tüm maliyetlerinin hesabının yapıldığı bu yöntemde paranın zaman değeri temel alınır.

Bir enerji verimlilik sisteminin maliyeti hesaplanırken tüm kullanım ömrü boyunca karşılaşılabilecek maliyetler ve bunun ile ilgili ödemeler hesaplanır. Bu maliyetler; anapara maliyeti, işletim ve bakım maliyetleri, tamir ve değiştirme maliyetleri ile hurda değerini kapsamaktadır. Özellikle, uzun zamana yayılmış ekonomik yatırımlarda maliyetler bulunurken faiz oranlarının da hesaba katılması gereklidir.

Sistem maliyeti hesaplanırken, sistemin kurulum aşamasındaki ve çalışma ömrü boyunca yapılması gereken tüm masraflar referans bir tarihe getirilerek yıllık sermaye masrafı bulunur, daha sonra kullanım süresine bölünür. Sistemin kullanım ömründeki tüm maliyetleri hesaplamaya yarayan eşitlik denklem 2’de verilmiştir (Doğan, 2006)

$$TKÖM = APM + İBM + TMD - THD \text{ (denklem 2)}$$

Burada: TKÖM - toplam kullanım ömrü maliyeti, APM - anapara maliyeti, İBM - işletim ve bakım masrafları, TMD - tamir ve değiştirme maliyetleri, THD- toplam hurda değeridir.

Güncel değeri GD olan bir yatırımın N yıl sayısı ve i faiz oranı olmak üzere bugünkü değeri denklem 3’de verilmiştir.

$$APM = GD \frac{1 - (1+i)^{-N}}{i} \text{ (denklem 3)}$$

Sistemin tüm ömrü boyunca oluşacak işletim ve bakım masraflarının bugünkü değerini hesaplamaya yarayan formül denklem 4’de verilmiştir. İBMY değeri yıllık işletim ve bakım masrafını ifade eder ve toplam anapara maliyetinin %1’i olarak alınabilir.

$$İBM = İBMY \frac{1 - (1+i)^{-N}}{i} \text{ (denklem 4)}$$

Tamir ve değiştirme maliyetleri için kullanım ömrü sistem ömründen kısa olan her bir bileşen için her değiştirme tarihine göre ayrı ayrı yapılmaktadır. Denklem 5’de örnek olarak EOS Sistem Yazılımının (ESYB) güncellenmesi bedeli bugünkü değerine indirgenmiştir. Diğer sistem bileşenlerinin ömrü 10 yıldır.

$$TMD = ESYB \left(\frac{1}{1+i} \right)^N \text{ (denklem 5)}$$

Toplam hurda bedelinin bugünkü değeri hesaplanırken denklem 6’dan yararlanılmaktadır. Burada HD değeri hurda değeri olup anapara maliyetinin onda biri olarak alınmıştır.

$$THD = HD \left(\frac{1}{1+i} \right)^N \text{ (Denklem 6)}$$

Toplam kullanım ömrü maliyeti hesaplandıktan sonra Yıllık Kullanım Maliyeti (YKM) denklem 7 ile bulunmaktadır.

$$YKM = \frac{(TKÖM).i}{1-(1+i)^{-N}} \text{ (Denklem 7)}$$

TSEN değeri, yıllık kullanım maliyetinin, yıllık toplam tasarruf edilen enerji miktarı tutarına bölünmesi ile bulunur, bu da bize sistemin kenidisini kaç yılda amorti edeceğini gösterir.

$$TSEN = \frac{YKM}{E} \text{ (Denklem 8)}$$

Sosyal Gösterge

Enerji verimliliğinin artırılıp zararlı sera gazı emisyonlarının azaltılması ile sosyal alanda iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Bunlar hava kalitesinin artırılması, konfor iyileştirmeleri, sağlık, harcanabilir ek gelirin artırılması ve fakirliğin azaltılması gibi bir dizi sosyal gösterge altında sınıflandırılarak değerlendirilebilir (Rogers ve Junga, 2017; Thema vd., 2018; Washan vd., 2014; Copenhagen Economics, 2012). Ancak bunların çoğu iç mekan hava kalitesi veya daha yüksek konfor seviyeleri gibi bağlama özgüdür. Ev otomasyonu daha yaygın hale geldikçe ve iç mekan sensörlerinden gelen veri setleri ortaya çıktıkça, makul göstergeler olarak hizmet veren istatistikler gelişebilir. Bu nedenle, analiz için, tek bir sosyal göstergeye odaklanılmıştır; enerji fakir haneler için harcanabilir ek gelir (HEG) (denklem 9). Gösterge, ön yatırımın sosyal yardımlar veya devlet sübvansiyonları ile sağlanacağı ilkesine dayanmaktadır.

$$HEG = \sum_{t=1}^T \left(\frac{\Delta OM_t}{(1+r)^t} \right) \text{ (Denklem 9)}$$

Çevresel Gösterge

Geliştirilen sistemin binalarda uygulanması sonucu enerji verimliliğinin artırılması ile zararlı emisyonların azaltılması neticesinde sağlanacak çevresel fayda, Alman Çevre Koruma Ajansının 2020 yılında hazırladığı yıllık enerji kullanımı çevresel etki çevrim etkenleri tablosu referans alınarak hesaplanmıştır (UBA, 2020).

Tablo 2: Enerji Kullanımı Kaynaklı Emisyon Etkenleri Tablosu.

Emisyon Cinsi	Birim	Emisyon Katsayısı (2019)
Sülfürdioksit	g/kWh	0,224
Nitrojendioksit	g/kWh	0,408
Partikül Madde	g/kWh	0,011
PM ₁₀	g/kWh	0,010
Karbonmonoksit	g/kWh	0,184
CO ₂	Kg/kWh	0,468
NO	g/kWh	0,013
CH ₄	g/kWh	0,167
Uçucu organik bileşikler	g/kWh	0,015
Civa	mg/kWh	0,008

Hesaplama için kullanılan denklem aşağıda (denklem 10) verilmiştir.

$$\text{Çevresel Etki} = ek[\sum_{t=1}^T (E_{ref} - E_i)] \text{ (Denklem 10)}$$

Denklem 10'da yer alan ek , Tablo 2'den alınan emisyon katsayısını belirtirken E_{ref} sistemin kullanılmadığı durumdaki emisyon değerlerini, E_i sistemin kullanılması durumunda oluşacak emisyon değerlerini göstermektedir.

Ekonomik Analiz Sonuçları

Türkiye'de bulunan konutların enerji fiyatları ve enerji tüketimi (tipik uygulama) aşağıdaki gibidir.

Türkiye'de konut elektrik fiyatı: 0,71 Türk Lirası / kilowattsaat – (CK Enerji Boğaziçi Elektrik, 2020)

Türkiye'de evsel doğal gaz fiyatı: 0,17 Türk Lirası / kilowattsaat (İGDAŞ, 2020)

4 kişilik aile ortalama yıllık elektrik tüketimi (hane başı): 3.036 kilowattsaat (EMO, 2019)

4 kişilik aile ortalama yıllık doğalgaz tüketimi (hane başı): 1.032 m³ (Türkiye Doğalgaz Dağıtıcıları Birliği Sektör Raporu, 2018)

Yıllık doğalgaz tüketimi kilowattsaat değeri:

$$(1.032 * 1,02264 * 39,2) / 3,6 = 11.491,75 \text{ kilowattsaat / yıl}$$

Konutlar için 2 odalı 100 m² lik kullanım alanına sahip konut başına yıllık ortalama enerji tüketim maliyetlerinin hesaplanması:

$$\text{Elektrik maliyeti: } 0,71 \text{ TL} * 3.036 = 2.155,56 \text{ TL / yıl}$$

$$\text{Fosil yakıt maliyeti: } 0,17 \text{ TL} * 11.491,75 = 1.953,59 \text{ TL / yıl}$$

Farklı tipte dairelere göre yıllık toplam enerji tüketim maliyetleri:

$$100 \text{ m}^2 \text{ konut için: } 4.109,15 \text{ TL}$$

$$150 \text{ m}^2 \text{ konut için: } 6.163,72 \text{ TL}$$

$$250 \text{ m}^2 \text{ konut için: } 10.272,87 \text{ TL}$$

%25'lik enerji tasarrufunun sağlanması durumunda yıllık parasal tasarruf değerleri:

$$100 \text{ m}^2 \text{ konut için: } 4.109,15 \text{ TL} * \%25 = 1.027,28 \text{ TL}$$

$$150 \text{ m}^2 \text{ konut için: } 6.163,72 \text{ TL} * \%25 = 1.540,93 \text{ TL}$$

$$250 \text{ m}^2 \text{ konut için: } 10.272,87 \text{ TL} * \%25 = 2.568,21 \text{ TL}$$

Geri Ödeme Hızı Hesaplaması

Geri ödeme hızı yöntemine göre denklem 1 için 3 farklı konut tipi için ayrı ayrı ele alınmış ve 2 No'lu tabloda gösterilmiştir.

Geri ödeme hızı yöntemine göre yapılan tekno-ekonomik analizde aşağıdaki varsayımlar hesaba katılmıştır.

Faiz Oranı: % 8 (yıllık) (Ziraat Bankası, 2020)

Sistem Yaşam Döngüsü: 10 yıl.

Tablo 3: Geri Ödeme Hızı Yöntemi Analizi.

Daire Tipi	Ana Para Maliyeti (TL)	Ortalama Yıllık Getiri (TL)	Geri Ödeme Periyodu (Yıl)
2 Odalı 100 m ²	3.000	1.027,28	2,92
3 Odalı 150 m ²	4.000	1.540,93	2,60
4 Odalı 250 m ²	5.500	2.568,21	2,14

Tablo 3’de görüldüğü üzere, 2 odalı – 100 m² net kullanım alanına sahip bir konut için son kullanıcının ödemesi gereken miktar 3.000 TL’dir (sistem satış fiyatı, sistemin son kullanıcıya maliyeti), yapılan yatırımın geri dönüş periyoduna bakıldığında sistemin kendi maliyetini 2,92 yıl ile, 3 yıldan daha kısa bir sürede geri ödediği görülmektedir.

Kullanım Ömrü Maliyeti Hesaplaması

Kullanım Ömrü Maliyeti Hesabı yöntemi 3 farklı konut tipi için ayrı ayrı ele alınmış ve 4 numaralı tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4: Kullanım Ömrü Maliyet Analizi.

Daire Tipi	Güncel Değer (TL)	$APM = GD \frac{1 - (1+i)^{-N}}{i}$	$iBM = iBMY \frac{1 - (1+i)^{-N}}{i}$	$TMD = ESYB \left(\frac{1}{1+i}\right)^N$
2 Odalı - 100 m ² Daire	3.000	20.250	202,50	230
3 Odalı - 150 m ² Daire	4.000	27.000	270	230
4 Odalı - 250 m ² Daire	5.500	37.125	371	230
Daire Tipi	Güncel Değer (TL)	$THD = HD \left(\frac{1}{1+i}\right)^N$	$YKM = \frac{(TK\ddot{O}M).i}{1 - (1+i)^{-N}}$	$TSEN = \frac{YKM}{E}$
2 Odalı - 100 m ² Daire	3.000	138	3.043,62	2,96
3 Odalı - 150 m ² Daire	4.000	184	4.046,81	2,62
4 Odalı - 250 m ² Daire	5.500	253	5.551,55	2,16

Tablo 4’te görüldüğü üzere, 2 odalı – 100 m² olan bir konut için son kullanıcının ödemesi gereken miktar 3.000 TL’dir (sistem satış fiyatı), yapılan yatırımın geri dönüş periyoduna bakıldığında sistemin kendisini 2,96 yılla, 3 yıldan daha kısa bir sürede geri ödediği görülmektedir.

Yöntem Farklılıkları

Hesaplamalar sonucunda, her iki yaklaşımda görülen yıllık farklar, sistemin kullanım ömrü boyunca bu yatırım için ödenen yıllık % 8’lik faiz ödemesi, tamir ve bakım masrafları ve EOS sistem yazılımının güncellenmesi nedeni ile oluşan maliyetlerden kaynaklanmaktadır. İki yöntem arasında yıllık oluşan farklar Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5: İki yöntem arasındaki yıllık bazda oluşan farklar.

Konut Tipi	Güncel Değer (TL)	Geri Ödeme Hızı Yöntemine Göre Geri Dönüş Periyodu (Yıl)	Kullanım Ömrü Maliyeti Hesabı Yöntemine Göre Geri Dönüş Periyodu (Yıl)	İki Yöntem Arasındaki Geri Dönüş Periyot Farkı (Yıl)
2 Odalı 100 m ²	3.000	2,92	2,96	0,04
3 Odalı 150 m ²	4.000	2,60	2,62	0,02
4 Odalı 250 m ²	5.500	2,14	2,16	0,02

Yatırım Getirisi Analiz Sonucu

EOS – Enerji Optimizasyon Sisteminin farklı bina tiplerinde uygulanması sonucu elde edilen ortalama enerji tasarruf miktarları ve bunlara yönelik parasal geri dönüşler gerek Geri Ödeme Hızı Yönteminde, gerekse Kullanım Ömrü Maliyeti Hesabı Yönteminde 2 ila 3 yıllık periyotları göstermektedir. Sistem kullanım ömrü 10 yıl olduğuna göre son kullanıcının buradaki net kazancı 7-8 yıllık, %25 ortalama enerji tasarruf miktarına tekabül eden parasal değerdir. Her üç konut tipi için son kullanıcı karı Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6: Son Kullanıcı Parasal Faydası.

Konut Tipi	Güncel Değer (TL)	Kullanım Ömrü Maliyeti Hesabı Yöntemine Göre Geri Dönüş Periyodu (Yıl)	Kullanım Ömrü Maliyeti Hesabı Geri Dönüş Periyodu Sonrası Toplam Kullanım Periyodu (Yıl)	%25 Ortalama Enerji Tasarruf Miktarları Yıllık (TL)	Son Kullanıcı Parasal Faydası (TL)
2 Odalı 100 m ²	3.000	2,96	7,04	1.027,28	7.232,05
3 Odalı 150 m ²	4.000	2,62	7,38	1.540,93	11.372,06
4 Odalı 250 m ²	5.500	2,16	7,84	2.568,21	20.134,77

Nüfus artışı ve hızlı şehirleşme özellikle büyük şehirlerde konut ihtiyacını arttırmaktadır. TÜİK’in 2000 yılı bina sayımına göre, bina sayısı 1984 yılında 4,3 milyon adet iken, %78 artışla 2000 yılında 7,8 milyon adete, konut sayısı ise aynı yılın verilerine göre %129 artışla 16,2 milyon adete ulaşmıştır. 2000 yılı bina sayımına göre, konut, ticari ve kamu binalarının alanı 913 milyon m²’ye karşılık gelmekte olup, bunun yaklaşık 400 milyon m² alanının ısıtıldığı tahmin edilmektedir. 2000 ile 2008 yılları arasında 550.000 bina inşaat izni ve 470.000 bina oturma izni alınmış, böylece kayıtdışı veya yasadışı binalar hariç olmak üzere Türkiye bina stoğu 8,6 milyona ulaşmıştır. 2003-2019 yılları arasında yıllık ortalama adet konut üretilmiştir. Konut alanı olarak yıllık ortalama 102.635.195 m² olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2019). 2020 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı’na göre, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi’nde kayıtlı toplam konut sayısı 2019 Eylül itibarıyla 38,4 milyon adettir.

2003-2019 yılları arasında üretilen yıllık ortalama 665.928 konut adeti göz önünde bulundurularak enerji optimizasyon sisteminin yeni yapılacak bu binalara uygulanması ile yaklaşık olarak;

- $665.928 * 1.027,28 \text{ TL} = 684.094.516 \text{ TL}$ tutarında bir tasarruf elde edilebilir.

2020 yılı mevcut konut stoğu yaklaşık 38,4 Milyon adete ulaşmıştır. Bu noktada 38,4 Milyon adet enerji optimizasyon sisteminin mevcut binalara uygulanması ile yıllık olarak yaklaşık:

- $38.400.000 * 1.027,28 \text{ TL} = 39.447.552.000 \text{ TL}$ tutarında bir tasarruf elde edilebilir.

Sosyal Fayda Analizi

Sistemin kullanılması ile oluşacak sosyal fayda, sağlık, konfor ve hava kalitesi gibi farklı sosyal göstergeler içinden daha nesnel değerlendirme imkanı sağlayacağı düşünüldükten harcanabilir ek gelir yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu analiz ile sistemin yaşam döngüsü olarak referans alınan 10 yıllık süre içinde son kullanıcıya sağlayacağı harcanabilir ek gelir hesaplanarak fakirliğin azaltılması yönünden karşılaştırma yapılması amaçlanmaktadır. Hesaplamalarda sistemin ortalama %25 enerji tasarrufu sağlayacağı ve yıllık ortalama enflasyon oranının %10 olacağı varsayılmıştır. Grafik 2’de görülebileceği üzere yıl 0, sistemin ilk yatırım maliyetini gösterirken, diğer yıllar sistemin sağlayacağı harcanabilir ek gelir miktarlarını göstermektedir.

Grafik 2: Harcanabilir Ek Gelir.

Geliştirilen sistem 10 yıllık yaşam döngüsü sonucunda son kullanıcıya 2 odalı 100 m² konut için 16.372 Türk Lirası, 3 odalı 150 m² konut için 24.558 Türk Lirası ve 250 m² konut için 40.930 Türk Lirası tutarında harcanabilir ek gelir sağlamaktadır. Hesaplamalarda kullanılan kötümser senaryo oranı olan %25 yerine test ortalaması olan %35 oranı kullanılırsa elde edilecek harcanabilir ek gelir daha fazla olacaktır. Sistem ile sağlanan verimlilik artışı ve enerji kullanımının düşürülmesi sonucu oluşan harcanabilir ek gelirin gıda, eğitim ve sağlık harcamaları için kullanılması ile fakirliğin görece azaltılmasına katkı sağlanabilir.

Çevresel Fayda Analizi

Geliştirilen sistemin sağlayacağı çevresel faydanın belirlenmesi için çevresel göstergeler bölümünde belirtilen hesaplama yöntemi kullanılacaktır. Bu hesaplama sistemin enerji kullanımını ortalama %25 oranında düşüreceği kabul edilerek yapılmıştır.

Sistemin kaynak kullanımı açısında sağlayacağı fayda konut başında Tablo 8’de gösterilmiştir. Buna göre sistemin konut başına yıllık ortalama 6100 kW/s enerji tasarrufu sağlayacağı hesaplanmıştır.

Tablo 8: Kaynak Kullanım Tablosu.

Konut Büyüklüğü	Enerji Tüketimi (kW/s)	Sistem ile Gerçekleşen Enerji Tüketimi (kW/s)	Fark (kW/s)
100 m ²	14.528	10.896	3.632
150 m ²	21.792	16.344	5.448
250 m ²	36.320	27.240	9.080

Grafik 3, geliştirilen sistemin binalarda kullanılması ile yıllık emisyon değerlerindeki değişimi göstermektedir. 1, 3 ve 5 numaralı sütunlar sırasıyla 100m², 150m² ve 250 m² konut türleri için sistemin kullanılmadığı durumlarda gerçekleşecek emisyon değerlerini gösterirken 2, 4 ve 6 numaralı sütunlar sistemin bu konutlarda kullanılması durumunda oluşacak emisyon değerlerini göstermektedir.

Sadece CO₂ salınımı dikkate alındığında geliştirilen sistem konut başına yıllık 100 m² konutta 2500 kg, 150 m² konutta 3000 kg ve 250 m² konutta 4700 kg karbondioksitin atmosfere salınmasını engellemektedir. Azalan karbon seviyelerinin küresel ısınmaya olumlu etkisine ek olarak uçucu partiküllerin ve diğer zararlı emisyonların azaltılması ile iyileşecek hava kalitesi insan sağlığına ve yaşam kalitesine de olumlu katkıda bulunacaktır.

Grafik 3: Emisyon Değerleri.

Sonuç

Bu makalede, Tübitak Teydeb 1501 Sanayi AR-GE Projeleri Destekleme Programı çerçevesinde 2014-2017 yılları arasında yürütülmüş 3140107 proje numaralı "Binalarda Enerji Verimliliği için Gerekli Algılayıcıların Özgün Olarak Geliştirilmesi Projesi" kapsamında binaların enerji verimliliğinin sağlanması amacı için gerekli olan kablosuz ağı gömülü teknolojileri içeren 12 farklı tipte özgün olarak geliştirilmiş algılayıcı, kontrol ünitesi, donanımlara ait gömülü yazılımlar, kablosuz haberleşme protokolü, çok boyutlu veri ambarı, yapay zeka tabanlı akıllı kontrol algoritmalarından oluşan ve enerji optimizasyon yazılımı ve grafiksel kullanıcı ara yüzlerinden meydana gelen entegre EOS - Enerji Optimizasyon Sisteminin son kullanıcı açısından çoklu faydaları analiz edilmiştir. Analiz dört ana gösterge çerçevesinde yapılmıştır. Bunlar, Kullanım Ömrü Maliyeti" ve "Geri Ödeme Hızı Yöntemleri" hesaplamalarını içeren ekonomik göstergeler, kaynak kullanım göstergeleri, sosyal göstergeler ve çevresel göstergelerdir. Göstergeler belirlenirken, ISO 52016 (ISO, 2019a,b) ve Avrupa Birliği Binaların Enerji Performansı Yönetmeliği(No. 244/2012) (EC 2012) temel alınmıştır.

Sistemin yıllık bazda ortalama %25 enerji tasarrufu sağlayabileceği kabulü ile kurulan sistemin kendini ne kadarlık bir zaman diliminde amorti edebileceğini belirlemek amacıyla "Kullanım Ömrü Maliyeti" ve "Geri Ödeme Hızı Yöntemleri" ele alınmış ve bu yöntem sonuçları ile birlikte sistemin son kullanıcı ve dolayısı ile ülke ekonomisine katkısına yönelik tekno ekonomik analizi ortaya konmuştur.

Bu çalışma ile son kullanıcı tarafından, 2 odalı - 100 m², 3 odalı - 150 m² ve 4 odalı - 250 m² net kullanım alanlarına sahip farklı konut tipleri için yapılacak sistem yatırımının, yapılan bu yatırım maliyetini 3 yıldan kısa bir zaman diliminde kendi maliyetini geri ödeyebileceği ortaya konmuştur.

Ayrıca sistemin ülke sathına yayılması ve yeni yapılan binalara tatbik edilmesi ile birlikte yıllık yaklaşık 684 Milyon Türk Lirası ve mevcut binalarda uygulanması sonucu yaklaşık 39,5 Milyar Türk Lirası tutarında bir tasarrufun elde edilebileceği öngörülmüştür.

Sistemin kullanılması ile birlikte, 10 yıllık yaşam döngüsü sonucunda son kullanıcıya 2 odalı 100 m² konut için 16.372 Türk Lirası, 3 odalı 150 m² konut için 24.558 Türk Lirası ve 250 m² konut için 40.930 Türk Lirası tutarında harcanabilir ek gelir sağlamaktadır. Bu gelirin gıda eğitim ve sağlık için harcanması durumunda fakirliğin azaltılması için fayda sağlayabileceği görülmüştür.

Sistemin konut başına yıllık ortalama 6100 kW/saat daha az enerji tüketimine neden olacağı hesaplanmıştır. Sadece CO₂ salınımı dikkate alındığında geliştirilen sistem konut başına yıllık 100 m² konutta 2500 kg, 150 m² konutta 3000 kg ve 250 m² konutta 4700 kg karbondioksitin atmosfere salınmasını engellemektedir.

Teşekkür Bölümü

Bu makalede irdelenen EOS-Enerji Optimizasyon Sistemi, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Teknoloji ve Yenilik Destek Programları Başkanlığı (Teydeb) 1501 Sanayi AR-GE Projeleri Destekleme Programı kapsamında, 2014-2018 yılları arasında EOS İstanbul Sürdürülebilir Enerji Çözümleri A.Ş. firması tarafından yürütülmüş 3140107 proje numaralı "Binalarda Enerji Verimliliği için Gerekli Algılayıcıların Özgün Olarak Geliştirilmesi Projesi" çıktılarıdır.

Bu projede Proje Yöneticisi ve AR-GE Yöneticisi olarak görev alan makalenin yazarları, başta TÜBİTAK olmak üzere projede görev alan tüm paydaşlara teşekkürlerini sunar.

Kaynakça

- Bogdan A., Chantal D., Marina E., Joana M., Ingeborg N., Oliver R. (2011). Europe's buildings under the microscope, A country-by-country review of the energy performance of buildings. *Buildings Performance Institute Europe (BPIE)*.
- BOTAS (2017). BOTAS Sektör Raporu. Erişim Adresi: https://www.botas.gov.tr/uploads/galeri/5c6ded9d4cd5f20.02.2019sektorap_2016.pdf
- CK Elektrik (2020). CK Elektrik Fatura Bedeli. Erişim Adresi: <https://www.ckbogazici.com.tr/>
- Cohen, R. & Bordass, W. & Field, J. (2004). Energy performance of non domestic buildings: closing the credibility gap. *In Building Performance Congress*.
- Copenhagen Economics (2012). Multiple Benefits of Investing in Energy Efficient Renovation of Buildings; CE: Copenhagen, Denmark.
- DIN-Deutsches Institut für Normung e.V. (2007). DIN EN 15232: Energieeffizienz von Gebäuden Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement, Deutsche Fassung EN 15232:2007. Berlin, Germany. Erişim Adresi: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Verband/Fachverbaende/Elektroinstallationssysteme/Studie_Energieeffizienz_durch_Gebaeudeautomation/Kurzfassung-ZVEI-Studie-Energieeffizienz-durch-Gebaeudeautomation.pdf
- Doğan İ., G. (2020). Güneş Enerjisi Uygulamaları, Bilişim yayınları, 26-27, 88, 119.
- Dünya Bankası (2020a). World Bank. Erişim Adresi: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=TR>, Erişim Tarihi: 10.06.2020.
- Dünya Bankası (2020b). World Bank. Erişim Adresi: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=TR>, Erişim Tarihi: 10.06.2020.
- Dünya Bankası (2020c). World Bank. Erişim Adresi: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC?end=2014&locations=TR&start=1980>, Erişim Tarihi: 10.06.2020.
- EC (2011). European Commission – Energy. Erişim Adresi: www.ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/buildings_en.htm
- EC (2011a). A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, SEC (2011) 289 final. Erişim Adresi: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/2050/docs/roadmap_fact_sheet_en.pdf
- EC (2012). Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 Supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings by Establishing a Comparative Methodology Framework for Calculating Cost-Optimal Levels of Minimum Energy Performance Requirements for Buildings and Building Elements. EUR-Lex—32012R0244—EN—EUR-Lex. Available online: https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2012.081.01.0018.01.ENG (accessed on 13 January 2019).
- EC (2019). European Commission-Clean Energy for All Europeans. ISBN: 978-92-79-99835-5. DOI: 10.2833/9937. Erişim Adresi: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b4e46873-7528-11e9-9f05-01aa75ed71a1/language-en?WT.mc_id=Searchresult&WT.ria_c=null&WT.ria_f=3608&WT.ria_ev=search

- EMO (2019). TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası. Erişim Adresi: http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=128261&tipi=5&sube=0
- EİGM (2020). Enerji İşleri Genel Müdürlüğü Denge tabloları, Erişim Adresi: <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları>, Erişim Tarihi: 10.06.2020.
- EUROSTAT (2020a). Oil and Petroleum Products-a statistical overview. Erişim Adresi: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Oil_and_petroleum_products_-_a_statistical_overview#Oil_imports_dependency
- EUROSTAT (2020b). Oil and Petroleum Products-a statistical overview. https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Oil_and_petroleum_products_-_a_statistical_overview#Oil_imports_dependency
- Gazbir (2018) Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği 2018 Yılı Doğalgaz Dağıtım Sektörü Raporu. Erişim Adresi: <https://www.gazbir.org.tr/uploads/page/2018-Dogal-Gaz-Sektor-Raporu.pdf>.
- Gökçe H. U., Gökçe K. U. (2013) Integrated system platform for energy efficient building operations. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000288 (5 Jan 2013) SCI A.
- Gökçe, C. ve Erol, M. (2020) Türkiye’de Tasarruf Açığı ve Enerji Açığının Ekonomik Büyüme ile İlişkisi: Nedensellik Analizi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 64, 102-122;2020. E-ISSN: 2587 005X <http://dergipark.gov.tr/dpusbe>
- Gökçe, H. U ve Gökçe K. U. (2011). Multi Dimensional Information Management Platform for Wireless Embedded Monitoring of Building Performance Data. *Proceedings of the 11th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, Weimar, Germany. ISBN: 978-3-86068-458-0.
- IEA (2013). International Energy Agency. Energy Efficiency Market Report. Erişim Adresi: <https://www.iea.org/news/from-hidden-fuel-to-worlds-first-fuel>. Erişim Tarihi: 19.08.2020.
- IEA (2020). International Energy Agency. Erişim Adresi: <https://www.iea.org/countries/turkey>. Erişim Tarihi: 10.06.2020.
- İGDAŞ (2020). Perakende Satış. Erişim Adresi: <https://igdas.istanbul/perakende-satis/>
- ISO (2019a). International Standardisation Organisation. ISO 13790. Available online: <https://www.iso.org/standard/41974.html> (accessed on 13 January 2019).
- ISO (2019b). International Standardisation Organisation. ISO 52016-1:2017. <https://www.iso.org/standard/65696.html> (accessed on 13 January 2019).
- Itard, L., Meijer, F., Vrins, E., & Hoiting, H. (2008). Building renovation and modernisation in Europe: State of the art review. ERABUILD. Netherlands: TU Delft, 2008. Erişim Adresi: <http://iibw.at/documents/2008%20OTB%20TU%20Delft.%20Erabuild%20Building.%20Renovation%20Europe.pdf>
- Lauer (2020). Thermalnet Methodology Guideline On Techno Economic Assessment. Erişim Adresi: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/thermalnet_methodology_guideline_on_techno_economic_assessment.pdf
- OME (Observatoire Méditerranéen de l’Energie). (2014). Mediterranean Energy Perspectives – TURKEY.

- <http://www.tenva.org/wp-content/uploads/2014/09/MEP-Turkey-Executive-Summary-English.pdf>
- UBA (2020). Umweltbundesamt. Spezifische Emissionsfaktoren für den deutschen Strommix. Erişim Adresi: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/spezifische-emissionsfaktoren-fuer-den-deutschen>. Erişim Tarihi: 19.08.2020.
- Price, L. (2006). Sectoral Trends in Global Energy Use and Greenhouse Gas Emissions. Lawrence Berkeley National Laboratory. USA. Erişim Adresi: <https://www.osti.gov/servlets/purl/888753>
- Rogers, E.A.; Junga, E. (2017). Using Intelligent Efficiency to Collect and Analyze Nonenergy Benefits Information; Report IE1702 of the American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE); ACEEE: Washington, DC, USA.
- SBB (2018). Strateji ve Bütçe Başkanlığı 10'uncu Kalkınma Planı. Erişim Adresi: <http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/Onuncu-Kalk%C4%B1nma-Plan%C4%B1-2014-2018.pdf>.
- TÜİK (2019). Türkiye İstatistik Kurumu. Erişim Adresi: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1055. Erişim Adresi: 19.08.2020.
- Thema, J.; Rasch, J.; Suerkemper, F.; Thomas, S. (2018). Multiple Impacts of Energy Efficiency in Policy-Making and Evaluation. Combi-Project D8.2 Policy Report on COMBI Results. Available online: https://combiproject.eu/wp-content/uploads/D8.2_COMBI_policy_report.pdf (accessed on 31 December 2018).
- UNFCCC (2018). United Nations Climate Change Annual Report 2017. ISBN: 978-92-9219-175-7. <https://unfccc.int/resource/annualreport/media/UN-Climate-AR17.pdf>
- VDMA-German Engineering Federation (2008). Energy-efficiency of Buildings. Germany. *Beuth Verlag GmbH* 2007, pp. 79.
- Washan, P.; Stenning, J.; Goodman, M. (2014). Building the Future: Economic and Fiscal Impacts of Making Homes Energy Efficient; Verco and Cambridge Econometrics: Cambridge, UK.