MODUL-AR.JOURNAL

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

Akıllı Ev Sistemlerinin Enerji Tasarrufu Potansiyeli ve Geri Ödeme Süreleri Üzerine Bir Vaka Analizi

A Case Study on the Energy Saving Potential and Payback Periods of Smart Home Systems

Ezgi YILMAZ[1], Dinçer AYDIN[2*]

Gönderilme Tarihi: 18.03.2025 - Kabul Tarihi: 27.10.2025

Özet

Teknolojinin hızlı gelişimi, yaşam biçimlerini ve günlük rutinleri köklü bir şekilde değiştirerek enerji ihtiyacını artırmıştır. Bu durum, sürdürülebilir enerji ve yapı kavramlarını ön plana çıkarmıştır. İnşaat sektörünün enerji tüketimindeki yüksek payı, enerji verimliliği sağlamak amacıyla pasif ve aktif sistemlerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılabilmesi, yapının ancak işletim sürecinde planlanan şekilde kullanılmasıyla mümkündür. Bu süreçte, kullanıcıların bilgi ve becerileriyle üstlendikleri rol oldukça önemlidir. Sürdürülebilir sistemlerin artan karmaşıklığı, yönetimi zorlaştırsa da akıllı ev sistemleri bu zorluğu azaltmak için etkili bir çözüm sunmaktadır. IoT teknolojisiyle entegre edilen akıllı sistemler, sürdürülebilir uygulamaların kontrolünü kolaylaştırırken kullanıcı konforunu ön planda tutmaktadır. Bu çalışmada, enerji verimliliği ve maliyet ilişkisi IoT destekli akıllı ev sistemleri üzerinden ele alınmış. Türkiye'deki bir vaka örneği üzerinden pasif ve aktif enerji sistemlerine dair senaryolar değerlendirilmiştir. Kullanıcı müdahalesini minimuma indirerek maksimum konfor sağlamayı amaçlayan çözümlerle, 2.005,2 ile 13.657,0 kWh arasında verimlilik artışı elde edilebileceği tespit edilmiştir. Bu çözümlerin geri ödeme süreleri, getirinin zaman değeri dikkate alınmadığında 1,2–3,7 yıl arasında; iskonto edilmiş geri ödeme yöntemi kullanıldığında ise 1,4–4,3 yıl arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı ev, Sürdürülebilir yapı üretimi, IoT, Enerji verimliliği, Konfor.

Abstract

The rapid development of technology has radically changed lifestyles and daily routines and increased the demand for energy. This situation has brought the concepts of sustainable energy and sustainable construction to the fore. The high share of the building sector in energy consumption has necessitated the development of passive and active systems to ensure energy efficiency. Achieving sustainability targets is possible if the building is used as intended during its operation. The role that users play with their knowledge and skills is very important. Although the increasing complexity of sustainable systems makes management difficult, smart home systems offer an effective solution to reduce this difficulty. Smart systems integrated with IoT technology facilitate the control of sustainable applications while prioritizing the comfort of users. In this study, the relationship between energy efficiency and costs through IoT-enabled smart home systems was discussed and scenarios regarding passive and active energy systems were evaluated through a case study in Türkiye. It was found that with solutions designed to minimize user intervention and provide maximum comfort, efficiencies between 2.005,2 and 13.657,0 kWh can be achieved, and their payback periods vary between 1,2 and 3,7 years without considering time value of money and 1,4 and 4,3 with discounted payback period.

Keywords: Smart home, Sustainable building production, IoT, Energy efficiency, Comfort.

Atıf: Yılmaz, E. ve Aydın, D. (2025). Akıllı ev sistemlerinin enerji tasarrufu potansiyeli ve geri ödeme süreleri üzerine bir vaka analizi. *Modular Journal*, *8*(2), 470-491.

[1] Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Programı, Edirne, Türkiye. ezgiyilmaz62@trakya.edu.tr
[2] Trakya Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Edirne, Türkiye. dinceraydin@trakya.edu.tr
[*] Sorumlu Yazar

MODUL-AR.JOURNAL

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

Extended Abstract

Introduction: Energy efficient buildings are both part of an environmentally friendly policy and an important strategy to reduce costs by reducing energy consumption (IEA, 2023). Buildings are part of a process known as the building life cycle. This process continues from planning through construction to operation and even demolition. Operation is the longest phase of this cycle. The energy efficiency of the building depends on the materials and technologies used during construction, as well as the planning in the operational process. In this phase, the right materials, equipment and tools must be effectively managed to maintain the planned energy efficiency of the buildings. This is because the energy efficiency of buildings depends on the proper control and utilization of the systems that make them up (Zhao and Magoulès, 2012). This control and monitoring mechanism to ensure the energy efficiency of buildings can sometimes be very complicated for users. Solutions are needed that allow users to control the systems. Smart home systems are at the forefront of these applications. Smart home systems offer solutions that use innovative technologies to increase energy efficiency. The systems can automatically adapt to user habits and environmental conditions and control energy consumption. These systems monitor and control energy-intensive processes such as heating, cooling and lighting via smart sensors and devices.

Purpose: Sustainable buildings can only achieve the desired sustainability performance if they are used in accordance with these objectives during the operational phase, the longest period of their life cycle. However, this situation is often complicated by the fact that the people responsible for and managing this process are the end users of the buildings. The main research problem is, therefore, how to achieve the efficiency that is achieved in sustainable buildings without the users taking an active role. It is critical to address the lack of understanding regarding the sustainability potential of smart home systems is not fully understood and the barriers to the uptake of these systems are removed. In this context, the aim of the study is to develop scenarios for the integration and dissemination of IoT technology used in smart home systems within the framework of a sustainable understanding of architecture together with the evolving technology in sustainable mechanisms and to evaluate the associated opportunities. In addition, the study aims to present the information and data required for the dissemination of these systems by examining the benefits of smart home systems in terms of sustainability both theoretically and practically (case analysis).

Method: The method of the study is to comprehensively present the sustainability benefits of smart home systems by combining both qualitative (literature review) and quantitative (case analysis by calculating energy efficiency and payback time of applications) methods. Accordingly, the study consists of two parts: a literature review on IoT and smart home application solutions and a case study of a building manufactured in Türkiye evaluating its applicability. Sustainable solutions that can be integrated into smart home systems were investigated through the literature review and the results obtained were presented in tables. In accordance with the applications in the literature; to demonstrate the energy efficiency offered by smart home systems concretely with numerical data, the additional costs incurred when a residential building is built with smart home systems, the gains achieved by these systems and their payback period were calculated. In this way, incentives for smart home systems are to be created in line with the results.

Findings: There are various applications that ensure energy efficiency and energy gains in buildings. By making these applications smart with the IoT, it is possible to solve energy efficiency in buildings in a user-friendly way. In this context, the applications discussed in the study and their integration into smart home systems were categorized into three groups as a result of the literature review: Roof systems, façade systems and installation systems. Accordingly, the roof systems are solar panels, roof ponds and anidolic ceilings, the façade systems are all façade joints and the building envelope, and the installation systems are water and electricity installations. It was found that an efficiency of between 2,005.2 and 13,657.0 kWh can be achieved with solutions that offer maximum comfort with minimum user intervention. When comparing the minimum and maximum costs with the minimum and maximum efficiency costs that can be achieved, it is calculated that a sustainable smart home costs between 19,350 and 37,600 USD when installed with entry-level tools, while these costs can be amortized between 1.2 and 3.7 years without considering time value of efficiency and 1.4 and 4.3 with discounted payback period.

Conclusion: The results of the study show that IoT technology is an effective tool for increasing energy efficiency and improving user comfort. Smart home systems offer significant long-term energy savings by instantly monitoring and optimizing energy consumption while minimizing user intervention. According to the assessments, when designing smart home systems in an integrated way with sustainable tools and achieving maximum efficiency, all aspects of the conditions in which the building is located must be considered. While these applications are less constrained in newly constructed buildings, it should be noted that smart home applications may be limited when remodeling existing buildings. For example, while passive heating and cooling strategies are highly compatible in new buildings, there may be integration issues in existing buildings. Solar panels and wind energy systems can operate at different efficiencies in Türkiye's different climate zones with the right design and placement. However, it should be noted that while there is an initial cost to integrating these systems, these costs can be offset by long-term energy savings. It was found that the payback period of the smart home system solution is longer in countries with low energy supply prices, while it is shorter in Türkiye. As the range of applications and the associated benefits become more widespread, the number of these applications will increase, and the investment costs will be lower.

Keywords: Smart home, Sustainable building production, IoT, Energy efficiency, Comfort.

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler insan yaşam kalitesini artırmayı amaçlarken enerji kaynaklarının bilinçsizce tüketilmesi, bu yaşam standardının uzun vadede sürdürülebilir olmadığını göstermektedir. Yaşam konforunu yükselten araç, sistem ve uygulamaların artan enerji gereksinimi, yenilenemeyen enerji kaynaklarıyla bu sürecin devam ettirilmesini güçleştirmektedir. Bu durum, konfor koşullarını korumak isteyen bireyleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Sürdürülebilir mimarlık; çevre, iklim ve enerji sorunlarına bütüncül bir yaklaşımla çözüm arayarak enerji tüketimini azaltmayı ve yaşam kalitesini en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedir. Günümüzde teknolojinin sunduğu imkânlarla enerji verimliliğini artırmak ve tüketimi kontrol altına almak amacıyla çeşitli sistemler ve cihazlar geliştirilmiştir. Bu kontrolü sağlayan cihazlara ise akıllı cihazlar denilmektedir. 'Akıllı' kavramı genel anlamda; enformasyon teknolojileriyle denetleme sistemlerinin birbiriyle ilişkilendirilmesi ve maliyet azaltıcı, verimlilik artışı sağlayan sistemler için kullanılmaktadır (Bseiso vd., 2015). Bu sistemlerin başında nesnelerin interneti (Internet of Things – IoT) teknolojisi gelmektedir. 'IoT' terimi ilk olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından kullanılmış ve daha sonra bu terim, 2005 yılında Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecommunication Union) tarafından resmi olarak kabul edilmiştir (Kim vd., 2007). Bu uygulamalarda internet farklı ilişkiler kurarak nesnelerle ilişkilendirilirken ayrıca nesneler Radyo Frekansı Tanımlama (Radio Frequency Identification – RFID), Kablosuz Sensör Ağları (Wireless Sensor Network – WSN), Bluetooth, Yakın Alan İletişimi (Near Field Communication – NFC), Uzun Süreli Evrim (Long Term Evolution – LTE) ve daha çeşitli akıllı iletişim araçları üzerinden internete erişim sağlamaktadır (Erdal ve Ergüzen, 2020).

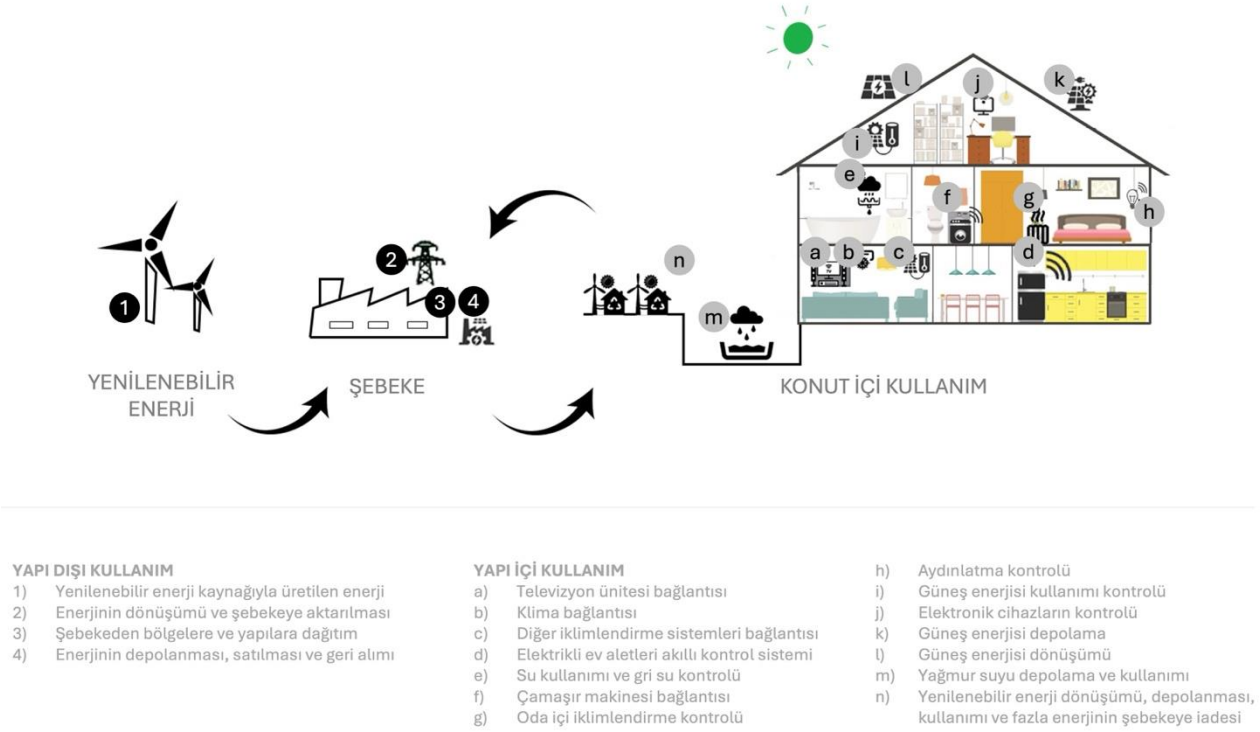
Enerji verimli binalar, hem çevreye duyarlı politikaların bir parçası hem de enerji tüketimini azaltarak maliyetlerin düşürülmesi için önemli bir strateji olarak karşımıza çıkmaktadır (IEA, 2023). Binalar, tasarım aşamasından başlayarak inşa, işletme ve yıkım süreçlerini kapsayan yapı yaşam döngüsünün en temel ögesidir. İşletim süreci ise bu sürecin en uzun dönemidir. Binalarda öngörülen enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için bu süreçte doğru malzeme ve teknolojilerin etkin şekilde kullanımının yanında işletimi kritik öneme sahiptir. Bu aşamada, yapıların planlanan enerji verimliliği seviyelerinin korunabilmesi için doğru materyal ve araçların etkin yönetilmesi gerekmektedir. Çünkü yapıların enerji verimliliği, onu oluşturan sistemlerin doğru kontrolü ve kullanımına bağlıdır (Zhao ve Magoulès, 2012). Yapıların enerji verimliliğini sağlamaya yönelik kontrol ve denetim mekanizmaları, kimi zaman kullanıcılar açısından oldukça karmaşık bir yapıya bürünebilmektedir. Kullanıcıların bu sistemler üzerindeki kontrolünü kolaylaştıracak, etkileşimi artıracak çözümlerin geliştirilmesi bu nedenle önem kazanmaktadır. Enerji yönetimini sadeleştiren ve kullanıcı deneyimini iyileştiren yaklaşımlar arasında akıllı ev sistemleri öne çıkmaktadır.

Akıllı ev uygulamaları ilk kez 1980'li yıllar itibarıyla ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu tür uygulamalar günümüzde ise evlerimizdeki en küçük aletlerden akıllı kentlere uzanır duruma gelmiştir (Şekil 1). Akıllı ev sistemlerinde etkili ve yaratıcı bir IoT projesi oluşturulabilmesi amacıyla bu teknolojiye ayak uydurabilen bazı mikrodenetleyiciler kullanılmaktadır (Başçiftçi ve Gündüz, 2019; Özdemir ve Arabacıoğlu, 2022). Sistemin çalışma prensibi öncelikle IoT kullanımı dâhilinde bir senaryo oluşturulmasına bağlıdır. Belirlenen senaryoya göre tasarlanan bir sistemin, ayrıca bir operatöre ihtiyacı olmadan istenilen çalışmaları gerçekleştirmesi de otomasyon olarak tanımlanmaktadır (Jain vd., 2014). Böylece konforlu ve enerji verimli bir yaşam alanı oluşturulurken kullanıcının sistemdeki aktif rolü ortadan kaldırılmış olur. Akıllı ev içerisindeki otomasyon sistemlerinin tek seferlik kontrol dâhilinde olabildiği gibi her gün kumanda etme gerekliliği olan farklı çeşitleri de bulunmaktadır. Kullanıcının sisteme müdahale edebilme ve onu yönetebilme kabiliyetine göre bu durumun planlanması ve uygulanması gerekmektedir.

Akıllı ev sistemleri, enerji verimliliğini artırmak amacıyla yenilikçi teknolojilerin kullanıldığı çözümler sunmaktadır. Sistemler, kullanıcı alışkanlıkları ve çevresel koşullara göre otomatik olarak güncelleme yaparak enerji tüketimini denetleyebilmektedir. Bu sistemler; ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi enerji

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

tüketimi yoğun olan süreçleri akıllı sensörler ve cihazlar aracılığıyla izlemekte ve yönetmektedir (Malche ve Maheshwary, 2017; Das vd., 2023).



Şekil 1. Akıllı Bağlantıların Sürdürülebilir Yapı Çözümleri Olarak Kullanılması (yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

Sadece bireysel kullanıcılar yoluyla akıllı ev sistemlerinin enerji verimliliğine katkısı inşaat sektörü için yeterli olmayacaktır. Bu etkinin sektörün tamamına yansıması için bütüncül bir planlama ve uygulamanın olması gerekir. Yapılara sağlanan enerji arzından yapı içerisindeki enerji kullanan en son mekanizma ya da araca kadar bütüncül bir sistemin parçası olunması hâlinde, kullanıcılara konforlu yaşam alanları sunarken etkili bir enerji verimliliği çözümü de sağlanmış olur. Bunun için yapılar gibi enerji şebekeleri de akıllı bir şekilde düzenlenmelidir.

Akıllı güç şebekesi, sürdürülebilir enerji geleceğine yönelik stratejilerin temel bir bileşenidir. Akıllı şebeke; enerji üretimi, iletimi ve tüketimi süreçlerini dijital teknolojilerle entegre eden gelişmiş bir güç altyapısıdır. Bu sistem; üreticiler, tüketiciler ve aynı zamanda enerji üreten-tüketen gibi tüm aktörlerin etkileşimini koordine ederek enerji arzının ekonomik, güvenli ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesini sağlar (TAŞ, 2023). Bu şebekelerin temel güç kaynağı ise elektriktir. Ayrıca akıllı diğer sistemlerde olduğu gibi IoT kullanımıyla yönlendirilen şebekelerdir. Bu şebekelerde yenilenemeyen enerji kaynaklarından elde edilen gücün yönetiminin yanında yenilenebilir kaynakların kullanımıyla da entegrasyonun yönetimini yapmak mümkündür. Ayrıca bu şebekeler, yalnızca yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu ve ulaşımın elektriklendirilmesini kolaylaştırmakla kalmayıp, aynı zamanda yeni enerjiyle ilgili katma değerli hizmetler de sağlayabilmektedir (Kocaman, 2014).

Yapı ölçeğinde ise akıllı ev sistemlerinin yönetiminde IoT'nin yanında kullanıcıların konforlu bir yaşam alanına sahip olması için sistemin ve sistemde yer alan her bir aracın kullanıcıları tanıması gerekmektedir. Bu kapsamda akıllı ev sistemlerinde verimli çözümler sunmak için bir araç olarak Derin Takviyeli Öğrenme (Deep Reinforcement Learining - DRL) öne çıkmaktadır. IoT destekli yapılarda, DRL algoritmaları enerji

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

yönetimi, kullanıcı konforu ve güvenlik gibi alanlarda optimizasyon yaparak, iklimlendirme (ısıtma-soğutma), aydınlatma gibi sistemlerin çevresel koşullara ve kullanıcı tercihlerine göre adaptasyon göstermesini sağlamaktadır (Avcı, 2022). Böylece otomasyon tabanlı ev sistemleri daha verimli çalışırken, enerji tüketimi azalır ve süreçteki kullanıcı etkisini iyileştirmiş olur.

Akıllı ev sistemleriyle ilgili mevcut çalışmalar, kullanıcıların süreçteki etkin rolünün azaltılmasıyla yapılarda %10 ile %30 arasında enerji verimliliği sağlanabildiğini göstermektedir (Weng ve Agarwal, 2012; Metallidou vd., 2020; Patience ve Apaokueze, 2024). Ancak yapı ölçeği, kullanılan sistem türü ve teknolojik donanım farklılıkları bu oranlarda değişkenliğe neden olmaktadır. Örneğin, akıllı aydınlatma sistemleri ile enerji tüketiminde %2 ile %93 arasında azalma elde edilebilirken (Soheilian vd., 2021) yalnızca LED aydınlatma armatürlerinin kullanımı konvansiyonel yapılara kıyasla %75–93 oranında verimlilik sunmaktadır (Frascarolo vd., 2014). Benzer biçimde, ısıl konfor için ısıtma ve soğutma sistemlerinde akıllı termostat uygulamalarıyla %20–34 aralığında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir (Sonnekalb ve Lucia, 2019). Elektrik tüketiminin kontrolünde ise akıllı prizler ve enerji verimli cihazlar %15–25 oranında tasarruf potansiyeli sunmaktadır (Patience ve Apaokueze, 2024). Ayrıca, akıllı güneş panelleri ve enerji depolama sistemleri gibi yenilenebilir teknolojilerle sağlanacak entegrasyonun, mevcut verimlilik oranlarını daha da yükseltebileceği öngörülmektedir.

Bu bulgular, akıllı sistemlerin yapı ölçeğinde enerji verimliliği açısından önemli fırsatlar sunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bazı uygulamalarda kullanıcıların yanlış müdahaleleri veya kontrol hataları enerji tüketimini azaltmak yerine artırıcı bir etki yaratabilmektedir (Hauge vd., 2011). Dolayısıyla akıllı ev sistemlerinin başarısı yalnızca teknolojik altyapıya değil, aynı zamanda kullanıcı etkileşiminin doğru yönetilmesine de bağlıdır.

Bu bağlamda çalışmanın önemi, akıllı ev sistemlerinin yalnızca enerji verimliliği sağlama potansiyelini değil, aynı zamanda bu sistemlerin ekonomik sürdürülebilirliğini belirleyen geri ödeme sürelerini de bütüncül biçimde değerlendirmesinde yatmaktadır. Araştırmanın temel hedefi, akıllı ev teknolojilerinin sürdürülebilir yapı uygulamalarıyla entegrasyonu sonucunda elde edilen enerji tasarrufu oranlarını ve yatırım geri dönüş sürelerini analiz ederek, kullanıcı konforunu koruyan ve uzun vadede uygulanabilir bir model ortaya koymaktır.

Araştırmanın Problemi

Sürdürülebilir yapıların hedeflenen çevresel ve enerji performansına ulaşabilmesi, büyük ölçüde yapıların işletme ve kullanım aşamasında sürdürülebilir ilkelere uygun biçimde yönetilmesine bağlıdır. Ancak bu sürecin doğrudan yapı kullanıcıları tarafından yürütülmesi, enerji verimliliği hedeflerinin tutarlılığını ve sürekliliğini zorlaştırmaktadır. Kullanıcı alışkanlıklarının ve müdahalelerinin kontrol edilememesi, sürdürülebilir yapıların performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu bağlamda araştırmanın temel problemi, kullanıcı müdahalesini en aza indirerek sürdürülebilir yapılarda enerji verimliliğinin nasıl sağlanabileceğini 'akıllı ev sistemleri' üzerinden ortaya konulmasıdır.

Araştırmanın Amacı

Akıllı ev sistemlerinin sunduğu otomasyon ve IoT tabanlı teknolojilerin, sürdürülebilir mimarlık anlayışıyla enerji verimli yapı çözümlerine entegrasyonunu değerlendirmek çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Çalışma, bu entegrasyonun enerji tasarrufu potansiyelini ve ekonomik geri ödeme sürelerini belirleyerek akıllı sistemlerin sürdürülebilir yapı uygulamalarında yaygınlaştırılmasına katkı sunmayı hedeflemektedir. Ayrıca geliştirilen vaka analizi aracılığıyla akıllı yaşam alanlarının enerji verimliliği, kullanıcı konforu ve maliyet etkinliği üzerindeki etkileri bütüncül biçimde ele alınarak bu sistemlerin uzun vadeli sürdürülebilirlik stratejilerindeki rolü ortaya konulacaktır.

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

Araştırmanın Soruları/Hipotezleri

Akıllı ev sistemlerinin sürdürülebilir yapı çözümleriyle entegrasyonunun enerji verimliliği ve kullanıcı konforu üzerindeki etkisini ortaya koyma amacı doğrultusunda çalışma, akıllı sistemlerin kullanıcı müdahalesini en aza indirerek maksimum enerji tasarrufu sağlama potansiyeline sahip olup olmadığını sorgulamaktadır. Çalışma kapsamında yanıt aranan temel sorular ise 'Akıllı ev sistemlerinin sürdürülebilirlik hedeflerine katkısı nedir?', 'Bu sistemler enerji tasarrufunu nasıl etkilemektedir?' ve 'Kullanıcı konforuna dolaylı olarak nasıl katkı sağlamaktadır?' şeklinde özetlenebilir. Bu çerçevede geliştirilen araştırma hipotezi, 'Akıllı ev sistemlerinin sürdürülebilir yapı çözümleriyle entegrasyonu, enerji verimliliğini artırmakta etkili bir yöntemdir.' şeklindedir. Bu hipotez, vaka çalışması üzerinden test edilerek sistemlerin sürdürülebilirlik hedeflerine olan katkısı değerlendirilmeye çalışılmıştır.

YÖNTEM

Çalışmanın yöntemi, akıllı ev sistemlerinin sürdürülebilirlik açısından sağladığı faydaları hem nitel (literatür incelemesi) hem de nicel (vaka analizi) yöntemleriyle birleştirerek kapsamlı bir şekilde ortaya koymaktır. Buna göre çalışma IoT ve akıllı ev uygulama çözümlerinin ele alındığı literatür incelemesi ve Türkiye'de üretilmiş bir yapı üzerinden uygulanabilirliğinin değerlendirildiği bir vaka incelemesi olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Literatür incelemesi yoluyla akıllı ev sistemlerine entegre edilebilir sürdürülebilir çözümler araştırılmış ve elde edilen sonuçlar tablo hâlinde verilmiştir. Literatürdeki uygulamalar doğrultusunda; otomasyon tabanlı ev sistemlerinin sağladığı enerji verimliliğinin sayısal verilerle somut olarak ortaya koyulması için ise bir konut yapısının akıllı ev sistemleriyle inşa edildiğinde ortaya çıkan ek maliyet ile bu sistemlerden sağlanan kazanımlar ve bunun geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Uygulamaların farklı coğrafyalarda sunduğu geri ödeme süreleri karşılaştırılarak gerekli yatırımlara olan ihtiyaç da ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Böylece sonuçlar doğrultusunda akıllı ev sistemlerine teşviğin sağlanmasına yönelik somut verilerin oluşturulması hedeflenmiştir.

Enerji verimliliği kazançlarının analizinde kullanılan tüketim verileri, sistem bazında gerçek zamanlı ölçüm ve izleme tekniklerine dayandırılmıştır (Irmak ve Erkek, 2018). Gerçek zamanlı ölçüm teknikleriyle örnek konut içerisindeki HVAC sistemleri, aydınlatma üniteleri, mutfak cihazları ve fotovoltaik enerji üretim birimleri gibi temel enerji tüketiciler ve üreticiler ayrı ayrı izlenmiş; her biri için Modbus RTU/TCP protokolüyle haberleşen enerji analizörlerinden alınan anlık güç (W), gerilim (V), akım (A) ve tüketim (kWh) verileri esas alınmıştır. Veriler yıllık tüketim tabloları şeklinde düzenlenmiştir. Toplanan veriler, Home Assistant panel arayüzleri üzerinden analiz edilerek sistem performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve tasarruf potansiyeli hesaplanmıştır (Ocaña vd., 2018). Akıllı yaşam alanı çözümleri için yapılan uygulamaların maliyetleri, 2024 yılı içerisinde yerel firmalardan elde edilen ortalama yatırım maliyeti olarak değerlendirilmiştir. Sistemden elde edilen verimliliğe karşılık gelen maliyet tasarrufu da 2024 yılı ortalama enerji maliyeti dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Akıllı teknolojiyle donatılmış örnek konut yapısı için belirlenen yatırım maliyeti ve verimlilik sonucu sağlanan tasarruf miktarıyla birlikte bu çözümün geri ödeme süresi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu sürenin ortaya konulması, son kullanıcılar tarafından enerji verimliliğinin kendilerine ihtiyaç kalmadan gerçekleştirmenin sağlayacağı ekonomik etkinliğe açıklık getirmek açısından oldukça önemlidir. Bu kapsamda geri ödeme süresi için gelecekte elde edilecek tasarruf getirilerinin hem zaman değeri dikkate alınarak hem de alınmadan ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Tasarrufun yapının kullanım süresince devam edecek oluşu gelecekte sağlanacak bir tasarruf getirisinin bugün yapılan yatırım harcamasıyla ilişkilendirilmesini gerektirmektedir (Gamayunova vd., 2020; Pereira vd., 2022). Çalışmada geri ödeme süresinin tespiti için iskonto edilmiş geri ödeme süresi (Discounted Payback Period – DPP) yöntemi kullanılmıştır. DPP, bir yatırımın sağladığı nakit girişlerinin bugünkü değeri dikkate alınarak, ilk yatırım maliyetini ne kadar sürede

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

geri kazandırdığını ölçen bir yöntemdir (Grant vd., 1990; Gorshkov vd., 2018). Bu yöntem, paranın zaman değeri prensibini dikkate alır ve bu yönüyle klasik geri ödeme süresi yönteminden daha doğru sonuçlar vermektedir (Noranai vd., 2021). Buna göre DPP üç aşamada hesaplanmaktadır. İlk aşamada tasarruftan kaynaklı getirilerin hesaplaması yapılır. İlk yılda elde edilen enerji tasarrufu gelecek yıllarda da miktar olarak aynı olsa da enerji maliyetleri her geçen yıl artacak olduğundan tasarrufun getiri miktarı da artışta olacaktır. Denklem 1 kullanılarak getirilerin zamanla değişimi belirlenmektedir. S_t; t'nci yıldaki tasarrufu (veya nakit akışı), S_1; ilk yıl tasarrufunu, g; yıllık tasarruf artış oranını temsil etmektedir (Bhandari, 2009). Çalışma kapsamında g değerinin belirlenmesi önemli olup bunun için 2015-2025 yılları arasında Türkiye'de görülen yıllık enerji maliyetinin ortalama artış oranı dikkate alınmış ve bu değer %20[3] olarak hesaba dahil edilmiştir.

$$S_t = S_1 \times (1+g)^{t-1} \qquad \text{(Denklem 1)}$$

İkinci aşamada Denklem 1 ile hesaplanmış olan yıllık enerji tasarrufu getirilerinin bugünkü değerinin hesaplaması yapılmaktadır. Bunun için Denklem 2 kullanılmış olup eşitlikte PV_t; t'nci yılın bugünkü değeri, r; iskonto oranı ve t; yıldır (Bhandari, 2009). Denklemin hassasiyeti belirlenen iskonto oranına dayanmaktadır. Çalışmada Türkiye'nin yıllık enflasyon oranı değeri gözetilerek yine son 10 yıllık sürede ortalama enflasyon oranı olan %17,5'e[3] yer verilmiştir.

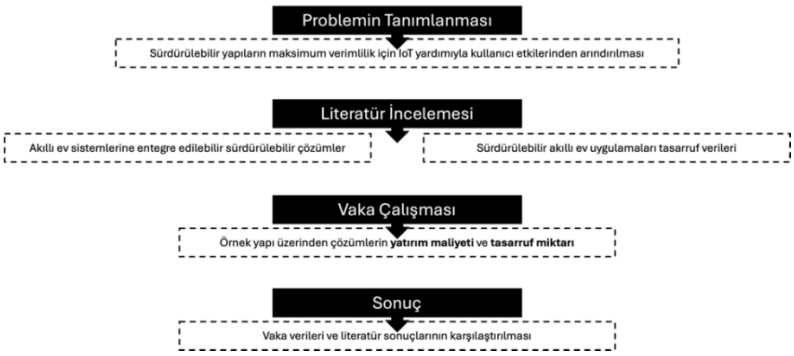
$$PV_t = \frac{S_t}{(1+r)^t} \qquad \text{(Denklem 2)}$$

Son aşamada ise yatırım maliyeti, iskonto edilmiş PV'lerin kümülatif toplamının kaçıncı yılda aşıldığına göre hesaplanır. Geri ödeme yılı tam yıl değilse Denklem 3 kullanılarak süre belirlenir (Bhandari, 2009).

$$DPP = t + \frac{Eksik\ kalan\ yatırım\ maliyeti}{PV_t} \qquad \text{(Denklem 3)}$$

Araştırma Modeli

Şekil 2'de çalışmada kullanılan nitel ve nicel yöntemlerle birlikte izlenen tüm çalışma metodolojisi özetlenerek gösterilmiştir. Buna göre çalışmanın ilk aşamasında sürdürülebilir yapı üretim uygulamalarının akıllı ev sistemlerine entegre edilebilir çözümleri literatür üzerinden yürütülen araştırma sonucunda tespit edilmiştir. Sonraki aşamada mevcut bir konut yapısına bu çözümlerin uygulanması için gerekli yatırım maliyetleri, her bir çözümün minimum ve maksimum sağlayacağı enerji verimliliği miktarı ile bunun sonucunda elde edilecek tasarruf miktarları hesaplaması yapılmıştır. Son aşamada ise örnek vaka incelemesinin sonuçlarının literatürdeki benzer çalışma sonuçlarıyla olan ilişkisi karşılaştırılmıştır.



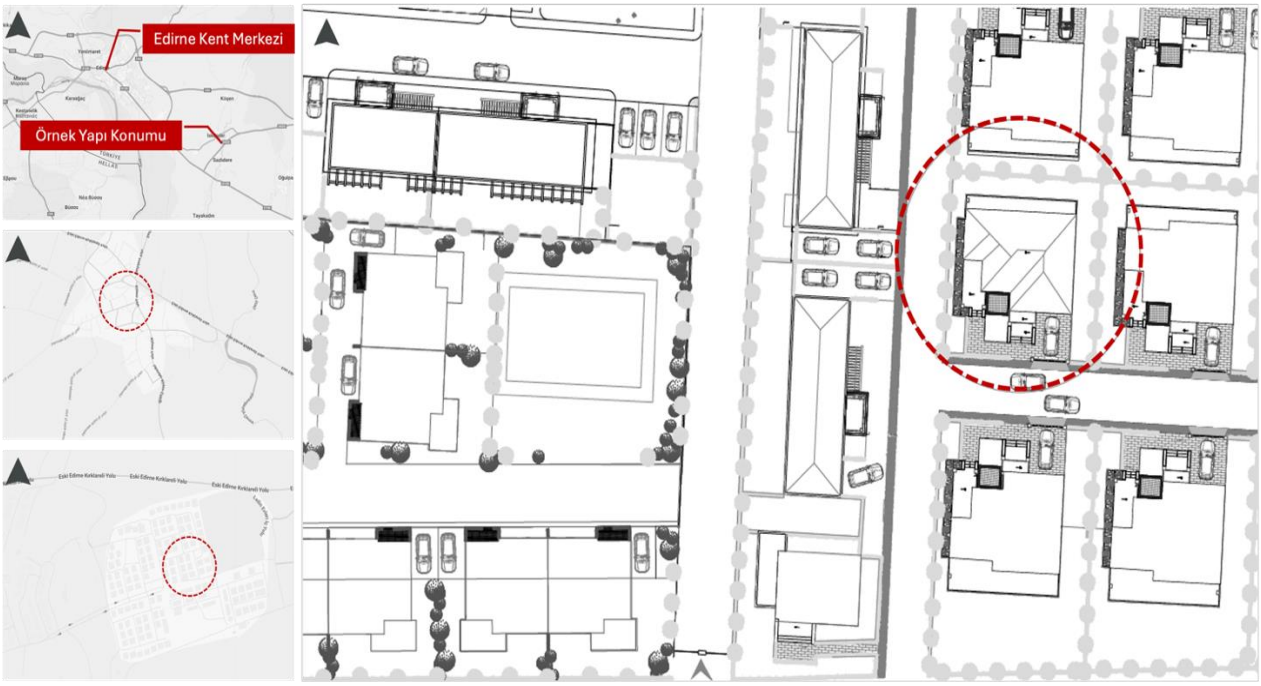
Şekil 2. Çalışma Metodolojisi

[3] Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) son 10 yıllık (2015-2025) verileri dikkate alınarak belirlenmiş oranlardır.

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

Çalışma Alanı

Mevcut akıllı bir ev projesi; sürdürülebilir yapı çözümlerinde konfor ve verim odaklı dijital ev sistemleri kullanımı başlığıyla vaka incelemesi olarak ele alınmış, tüm hesaplamalar bu proje üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışmada incelenen konut yapısı, Edirne kent merkezinin doğusunda yer alan müstakil yaşam alanı olarak yeni inşaat faaliyetlerinin yürütüldüğü İskender köy mevkiinde bulunmaktadır (Şekil 3). Müstakil bir konutun enerji yönetimi odaklı akıllı sistemlerle donatılmasının kolay olması ve birçok farklı çözümün birlikte entegre edilebilmesinin mümkün olması gibi nedenler, vaka incelemesine konu olan yapının seçiminde etkili olmuştur.



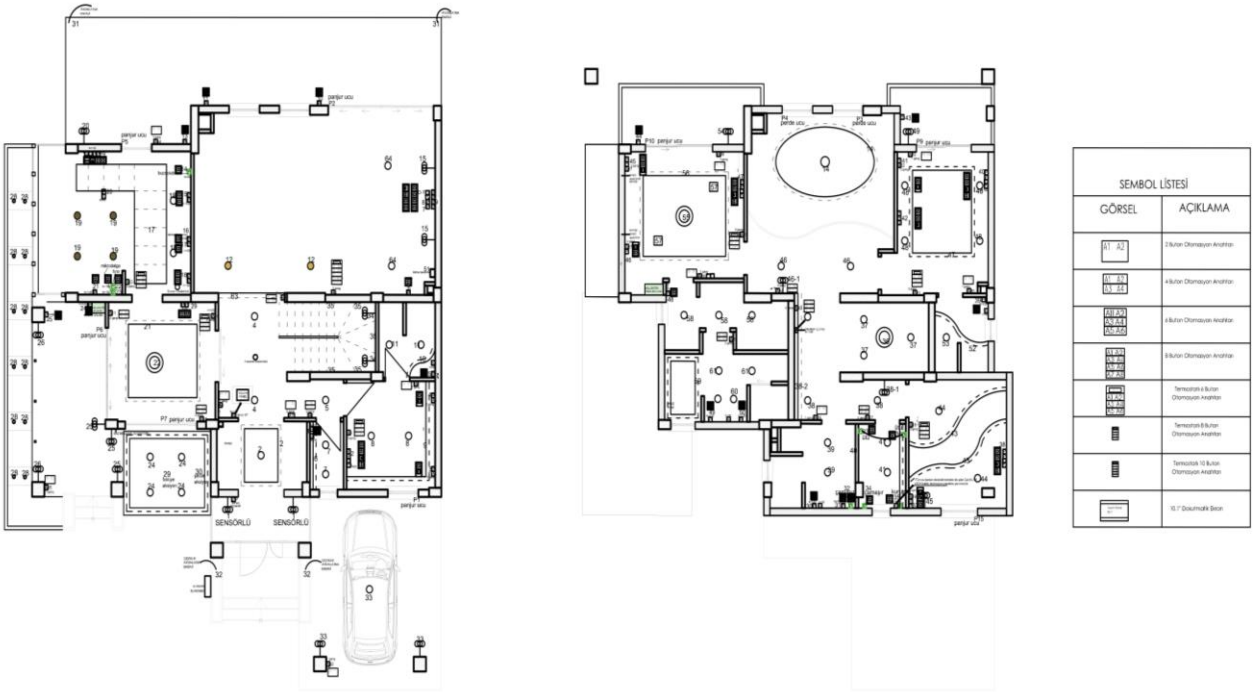
Şekil 3. Örnek Vaka İncelemesi Yapının Konumu ve Vaziyet Planı (yazarlar tarafından oluşturulmuştur.)

Projede, evdeki enerji tüketimi ve sensörler otomatik kontrol sistemleri aracılığıyla optimize edilmekte; ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi enerji kullanımı olan süreçler verimli şekilde yönetilmektedir. Akıllı termostatlar ve enerji izleme cihazları, ev sahiplerinin alışkanlıklarına göre enerji tüketimini izleyerek gereksiz harcamaları engellemeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla projede kullanılan sistemler, maliyetleri düşürülerek çevresel etkiyi azaltacaktır. Çalışmada ele alınan yapı, 2024 yılında betonarme iskelet sistemli inşa edilmiş, zemin ve birinci kat olmak üzere toplamda iki katlı bir villa projesidir (Şekil 4). Toplam 210 metrekare kullanıma sahip olan yapı, toplam 9 adet mekândan oluşmaktadır.

Şekil 4. Örnek Vaka İncelemesi İç ve Dış Mekân Fotoğrafları (Zingat, 20 Mayıs 2025)

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

Şekil 5'te yapıda kullanılan akıllı ev otomasyon cihazları her bir kat planında ayrı ayrı işaretlenmiştir. Bu kapsamda konutta; ikili, dörtlü, altılı ve sekizli 'Wireless Smart Button (Zigbee/Wi-Fi/BLE Module)' buton anahtarları ile altılı, sekizli ve onlu 'Smart Thermostat Switch/IoT Thermostat Controller' termostatlı buton anahtarlarına yer verilmiştir (Şekil 5). Yapı için akıllı teknolojilerle donatılmış sistemlerinden kaynaklı ek maliyetler, yapı içerisinde kullanılan tüm cihazlar ve sistemlere göre hesaplanmıştır. Sistemdeki araçların çalışması için bir takım otomasyon senaryolarının kullanıcı tercihlerine göre planlanması gerekmektedir. Çalışmada elde edilecek kazançları ve verimlilikleri hesaplamak için örnek yapıda kullanılacak senaryolar, her bir akıllı ev sistemi için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Buna göre Tablo 1'de tüm akıllı ev kullanım senaryoları birlikte verilmiştir.



Şekil 5. İncelenen Vakanın Akıllı Otomasyon Bağlantıları (Trakhome Utopia projesi üzerinden yazarlar tarafından oluşturmuştur.)

Tablo 1. Örnek Vaka İncelemesi Akıllı Ev Kullanım Senaryoları

Sistemler	Çalışma Durumu	Çalışma Senaryosu	Zamanlama
Güneş Enerjisi ve Akıllı Ev Yönetimi	Güneş ışığının yeterli olduğu gündüz saatlerinde (07.00-18.00 arası), güneş panellerinin enerji üretmesi	Akıllı ev sistemi, güneş panellerinden gelen enerjiyi evdeki elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanır. Güneş enerjisi fazlası, depolama sistemine (örneğin, bataryaya) yönlendirilir veya şebekeye satılır. Akşam saatlerinde ise depolanan enerji kullanılabilir.	Gündüz saatleri (07.00-18.00) ve depolama durumuna göre akşam saatleri (18.00-22.00)
Akıllı Isıtma ve Soğutma Sistemleri	Güneş enerjisinin etkili olduğu yaz aylarında veya rüzgâr enerjisinin yüksek olduğu serin havalarda akıllı ısıtma ve soğutma sistemlerinin devreye girmesi	Güneş enerjisiyle çalışan bir ısı pompası veya rüzgâr enerjisiyle beslenen bir klima, evdeki sıcaklık ihtiyacını karşılar. Gündüz saatlerinde (07.00-18.00) güneş enerjisi, gece ise depolanan enerji kullanılır.	Gündüz (07.00-18.00) ve gece (22.00-06.00) saatleri, depolanan enerji ile ısıtma/soğutma sağlama

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

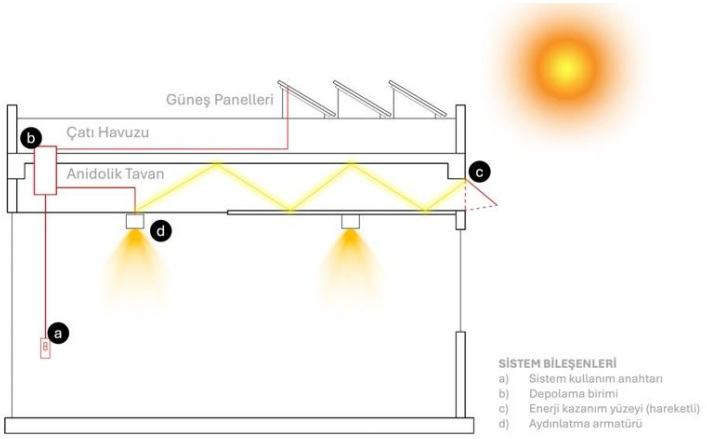
Sistemler	Çalışma Durumu	Çalışma Senaryosu	Zamanlama
Yağmur Suyu Toplama ve Akıllı Ev Sistemleri Entegrasyonu	Yağmur yağdığı zaman, evdeki çatıya yerleştirilen yağmur suyu toplama sistemi aktifleşmesi ve yağmur suyunun depolama tankına yönlendirilmesi	Akıllı ev sistemi, yağmur suyu toplama sistemini izler ve suyun doğru şekilde depolanmasını sağlar. Akıllı sensörler sayesinde, yağmur suyu tanklarındaki su seviyesi sürekli izlenir ve tanklar dolduğunda fazla suyun yönlendirilmesi sağlanır. Ayrıca, sistem, depolanan yağmur suyunun kalitesini kontrol eder ve gerekli filtreleme işlemlerini otomatik olarak yapar.	Yağmurun başladığı andan itibaren sistem, suyun verimli bir şekilde depolanmasını başlatmakta; yağmurun kesilmesi hâlinde, depolama tanklarındaki suyun diğer evsel kullanımlar için yönlendirilmesi sağlanmakta; tank dolumu gerçekleştiyse tanka iletilen su kesilerek çatı üzerinden zemine ulaştırılmakta.

BULGULAR

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, literatür sonuçlarını gösteren sürdürülebilirlik kapsamında akıllı evler için enerji kazanım yöntemleri ve vaka çalışması sonuçları olmak üzere iki grup altında ele alınmıştır. Sürdürülebilirlik kapsamında enerji kazanım yöntemleri, çevresel etkileri minimize ederken enerji ihtiyacını karşılamayı hedefleyen yöntemlerdir. Enerji verimliliği ve enerji depolama teknolojileri ise sürdürülebilir enerji kazanımını destekleyen önemli unsurlardır. Enerji verimliliği, hem enerji üretiminde hem de tüketiminde ihtiyaç duyulan kaynakların daha tasarruflu şekilde kullanılmasını ifade ederken alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı da bu kapsamda verimliliğe katkı sağlayan uygulamalardır. Yapılarda enerji verimliliğini ve enerji kazanımlarını sağlamak üzere çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. Bu uygulamaların IoT ile akıllı hâle getirilmesiyle yapılarda enerji verimliliğinin kullanıcı dostu bir şekilde çözümlenmesi mümkündür. Bu kapsamda çalışmada ele alınan uygulamalar ve akıllı ev sistemlerine entegrasyonları; çatı sistemleri, cephe sistemleri ve tesisat sitemleri olmak üzere üç grup altında değerlendirilmiştir.

Çatı Sistemleri

Sürdürülebilir çatı sistemlerinin IoT ile entegrasyonu sonucu yapılarda kullanılabilir uygulamaları arasında güneş panelleri, çatı havuzları ve anidolik tavanlar sayılabilir. Bu sistemler yapının ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlayacak bir kaynak, enerji tüketimini azaltıcı bir katman (kabuk) veya su kaynağı ya da bir ışık kaynağı şeklinde farklı çözümler sunabilmektedir. Şekil 6'da çatı sistemlerine ait mekanizmalar birlikte verilmiş olup her bir mekanizma ve akıllı evler için kullanım senaryolarına ait tespitler listelenmiştir.



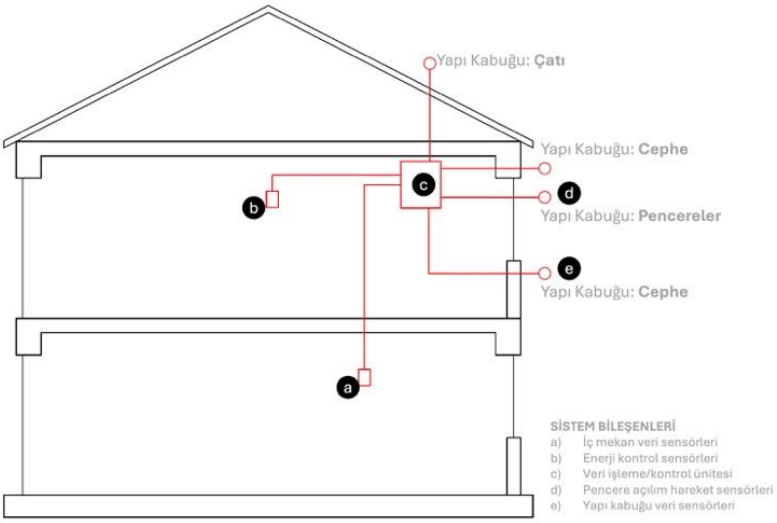
Şekil 6. Akıllı Sürdürülebilir Çatı Sistemi Uygulamaları (yazarlar tarafından oluşturulmuştur.)

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

- Güneş Panelleri: Güneş panelleri, IoT sistemleriyle entegre edilerek enerji üretimini izleyebilir ve yönetebilir (Asham vd., 2017). Bu sistemler, güneş panellerinin üretim verilerini toplar, enerji depolama seviyelerini takip eder ve fazla enerjiyi şebekeye geri gönderir. Böylece enerji verimliliği sağlanırken tüketim de optimize edilmiş olur (Chakraborty vd., 2023) (Şekil 6).
- Çatı Havuzları: Çatı havuzları, IoT tabanlı sistemlerle yağmur suyu hasadı için su seviyelerini ve depolama durumunu izleyebilir. Yağmur suyu toplama süreci, suyun depolanması ve kullanımı IoT sensörleri aracılığıyla kontrol edilerek su verimliliği artırılabilir. Ayrıca çatı havuzları iç ortam ısıl konfor koşullarına iç ortama ısı enerjisi sağlayacak ya da iç ortamı soğutacak ısı transferine yardımcı olacak bir şekilde çalışabilir (Sharifi ve Yamagata, 2015; Abd-Rabo ve Hassan, 2024). Bu sistemlerde çatı havuzları üzerindeki kapak mekanizması ile iç ortam ısıl konforunu belirleyici sensörler arası bağlantı ile otomasyonlar yönetilmiş olur (Şekil 6).
- Anidolik Tavanlar: Anidolik tavanlar, IoT teknolojileriyle iç mekân ışık seviyelerini algılar ve doğal ışıkla aydınlatmayı optimize eder. Sistem, iç ortamın ışık seviyelerine göre yapay aydınlatmayı otomatik olarak ayarlayarak enerji tasarrufu sağlar (Habib vd., 2024) (Şekil 6).

Cephe Sistemleri

Sürdürülebilir yapı uygulamalarında pencereler ve onların kontrol mekanizmaları; tüm cephe boşlukları ve yapı kabuğu sistemleri genellikle gün ışığının iletimi ve güneş enerjisi depolama sistemleri olarak kullanılırlar. Şekil 7'de cephe sistemlerine ait mekanizmalar birlikte verilmiş olup her bir mekanizma ve akıllı evler için kullanım senaryolarına ait tespitler listelenmiştir.



Şekil 7. Akıllı Sürdürülebilir Cephe Sistemi Uygulamaları (yazarlar tarafından oluşturulmuştur.)

- Pencereler: Çoklu enerji ağları yardımıyla yapılar için güneş enerjisi toplama, enerji depolama ve ısı kontrolü olarak akıllı ev sistemlerine entegre edilebilir. Bu kapsamda pencereler, güneş ışığını içeri alarak yapı için ısıtma sağlar. Güneş ışığını toplayan özel camlar veya pencereler ise bu enerjiyi depolayabilir. IoT sensörleri ile pencere açılışı ve kapalı kalma durumu ayarlanarak ısı kaybı ve kazançları engellenebilir ve böylece ısınma ya da soğutma için gerekli maliyet düşürülebilir (Han ve Zhang, 2020; Xu vd., 2020; Canale vd., 2021) (Şekil 7).
- Cephe Boşlukları: IoT sensörleriyle güneş ışığının yoğunluğu izlenir, evin ısıl konforunun sağlanması için ısınması buna göre otomatik düzenlenir. Çoklu enerji ağları ile güneş ışığı en verimli şekilde

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

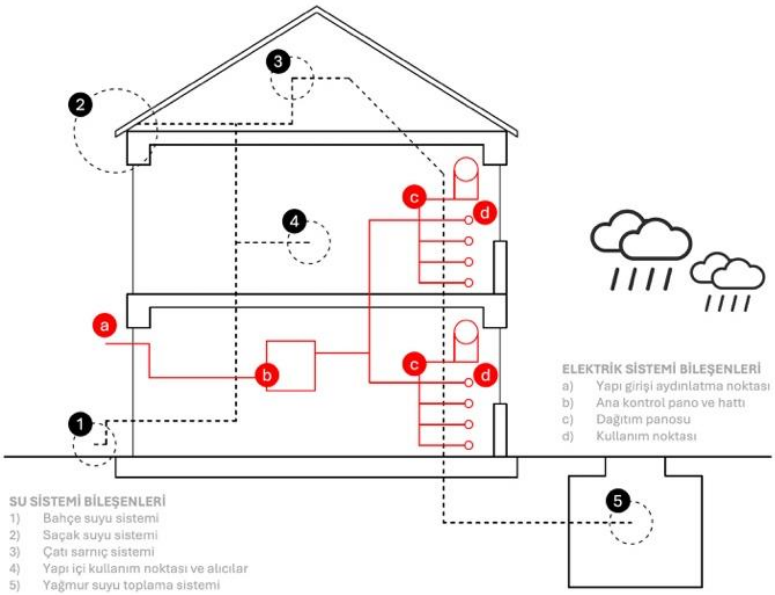
kullanılır ve ısıtma sistemleri optimize edilir (Ahmadi-Karvigh vd., 2017; Han ve Zhang, 2020; Xu vd., 2020) (Şekil 7).

- Yapı Kabuğu: Akıllı şebeke bağlantıları ve çoklu enerji ağları yardımıyla yapının uygun yöndeki cephelerine (duvar ya da çatı) enerji üretimi sağlayacak malzeme ya da sistem uygulamaları gerçekleştirilir. Böylece yapı için enerji üretimi düzenlenir. Yapı ihtiyacı için kullanılan enerjiden fazlası depolama biriminde depolanır ya da fazla enerji şebekeye geri verilebilir veya başka sistemlere yönlendirilebilir (Xu vd., 2020; Rathod ve Subramanian, 2022; Orikpete vd., 2023; Typhoon Hil, 2024) (Şekil 7).

Tesisat Sistemleri

Sürdürülebilir akıllı ev uygulamalarının gerçekleştirildiği diğer bir alan yapının tesisat sistemleridir. Bu kapsamda yapı içi tesisatları su ve elektrik olmak üzere iki grupta ele alınmıştır. Şekil 8'de tesisat sistemlerine ait mekanizmalar birlikte verilmiş olup her bir mekanizma ve akıllı evler için kullanım senaryolarına ait tespitler listelenmiştir.

- Su Tesisatı: Akıllı ev sistemlerinin su tesisatı üzerinde yapılabilecek uygulamalar su tasarrufunun sağlanması, sıcak su tesisatındaki ısı kayıplarının önüne geçilmesi ve enerji tasarrufu sağlanmasıdır. Bunun için su tesisatı sistemi üzerinde DRL ağlarının kurulması gerekmektedir (Wilson vd., 2021; Rathod ve Subramanian, 2022; Orikpete vd., 2023) (Şekil 8).
- Elektrik Tesisatı: Elektrik enerjisinin kullanım durumunun izlenmesi ve fazla enerji üretiminin yönetimi için akıllı şebeke ve DRL ağları kurulmaktadır. Akıllı şebeke bağlantıları ile evin enerji tüketimi izlenir ve optimize edilir. Böylece enerji harcama durumuna göre enerji kontrolü sağlanabilir. Ayrıca fazla üretilen enerji ise şebekeye geri verilebilir. Bu durum, yapının bir kazanç noktası olarak yapı işletim maliyetini düşürmeye yardımcı olmaktadır (Xu vd., 2020; Canale vd., 2021; Abolarin vd., 2022; Orikpete vd., 2023; Typhoon Hil, 2024) (Şekil 8).



Şekil 8. Akıllı Sürdürülebilir Tesisat Sistemi Uygulamaları (yazarlar tarafından oluşturulmuştur.)

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

Tablo 2'de, sürdürülebilir akıllı evler için kullanılabilecek uygulamalar (aktif ve pasif uygulamaları) ile bu uygulamaların akıllı ev entegrasyonu için gerekli teknoloji ve yapı için çalışma prensibi birlikte özetlenerek verilmiştir. Buna göre kullanıcı kontrolünde çok fazla bilgi birikimi gerektiren uygulamaların akıllı sistemler aracılığıyla sağlanabilmesi mümkündür. Akıllı evlerin sürdürülebilir mekanizmalarla entegrasyonunun ise her yapı tipi için uygun olmadığı; bu çözümlemelerin yapının içinde bulunduğu koşulların iyi analiz edilerek tasarlanması ve uygulanması gerektiği unutulmamalıdır. Aksi hâlde yapılan akıllı ev sistemi yatırımı ile sistemden sağlanacak yarar/kazanç arasındaki fark büyüyecek, bu da uygulamaların verimliliğini olumsuz etkileyecektir.

Tablo 2. Sürdürülebilirlik Kapsamında Akıllı Evler İçin Kullanılabilecek Uygulamalar

Sistemler	**Sürdürülebilir Aktif/Pasif Uygulama**	**Kullanılan Teknoloji**	**Çalışma Prensibi**	**Uygulanabilirlik**	**Referanslar**
Eğimli Çatılar	Güneş Panelleri Güneş Pilleri	Akıllı Şebeke Bağlantıları	Güneşten gelen enerjiyi kendi ihtiyacı için depolayıp tüketim fazlasını akıllı şebeke bağlantılarıyla şebekeye iade edilmesi	Mimari tasarım ve çatı yüzeyi yönüne bağlı olarak her yapı için uygulanabilir.	Wu vd., 2021; Orikpete vd., 2023; Yıldız ve Öztürk, 2023
Teras Çatılar					Berardi, 2016; Zhang ve He, 2021; Eum vd., 2023
Pencereler	Işık Rafları	Çoklu Enerji Ağları	Çoklu enerji ağlarıyla yoğun güneş ışığı seviyesi ayarlanarak yapının gün ışığından yararlanma durumunun maksimum seviyeye getirilmesi ve ısıtma enerji yükünün azaltılması	Mimari tasarım ve cephe açıklıklarına bağlı olarak her yapı için uygulanabilir.	Xu vd., 2020; Han ve Zhang, 2020; Canale vd., 2021
Yapı Kabuğu	Su Duvarları	Akıllı Şebeke Bağlantıları ve Çoklu Enerji Ağları	Güneşten kazanım yoluyla yapının iç ortam ısıl konforunun daha enerji verimli çözümlenmesi	Mimari tasarım ve yapı iklim koşullarına göre uygulanabilir.	Xu vd., 2020; Orikpete vd., 2023
Su Tesisatı	Güneş Toplayıcıları	DRL Ağları	DRL ağları yardımıyla donma olaylarından korunmak için tesisatın zarar görmesini engelleyen komutla devreye girmesi	İklim koşullarının elverişsiz olduğu yapılar için uygulanabilir.	Ahmadi-Karvigh vd., 2017; Orikpete vd., 2023

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

Sistemler	Sürdürülebilir Aktif/Pasif Uygulama	Kullanılan Teknoloji	Çalışma Prensibi	Uygulanabilirlik	Referanslar
	Gri Su Toplama	DRL Ağları	Yağış miktarına göre depolama için gerekli ayarlamanın yapılması taşma ve toprak altı zararının minimize edilmesi	İklim koşullarının elverişsiz olduğu yapılar için uygulanabilir.	Ahmadi-Karvigh vd., 2017; Wilson vd., 2021; Orikpete vd., 2023
Elektrik Tesisatı	Rüzgâr Enerji Türbinleri Güneş Panelleri	DRL Ağları ve Akıllı Şebeke Bağlantıları	DRL ağları ve akıllı şebeke bağlantı sistemleriyle üretilen elektriğin yapı kullanımı için önceliklendirilmesi ve üretim fazlalığının şebekeye transfer ile yapı için maliyet kazancının sağlanması	Yapının bulunduğu coğrafya ve çevrenin koşullarına bağlı olarak uygulanabilir.	Orikpete vd., 2023; Typhoon Hil, 2024

Vaka çalışmasında ele alınan 210 metrekare büyüklüğündeki, ortalama tüketimi 9,996 kWh'lik konutun sürdürülebilir akıllı ev sistemleriyle donanımı için her bir uygulamaya yönelik gerekli başlangıç maliyetleri, ilgili sistem hizmeti sunan firmalar üzerinden minimum ve maksimum seviyelere göre ayrı ayrı elde edilmiştir. Karşılaştırmalı değerlendirme yöntemiyle sadece anlık tüketimler değil; sistemlerin çalışma süreleri, yük profilleri, kontrol stratejileri ve ortam koşulları da dikkate alınmıştır. Anlık tüketimlerin dışında enerji kazanımlarının sistemsel olarak doğrulanabilirliği sağlanmıştır (Kim vd., 2020; Ketut vd., 2023). Maliyetlerle birlikte gerçekleştirilecek tüm uygulamalar için sağlanacak enerji tasarruf miktarları ya da kazanımları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Örnek Vakaya Ait Sürdürülebilir Akıllı Ev Sistemleri Maliyet – Verimlilik Durumları

	Başlangıç Maliyeti (USD)[4]		**Yıllık Enerji Üretimi ya da Tasarrufu (kWh)**		**Yıllık Enerji Tasarrufu (kWh)** (210 m² 9,996 kWh'lik bir ev için)		**Enerji/Maliyet Verimliliği Sağlama Yolu**	**Açıklama**
	Min.	**Maks.**	**Min.**	**Maks.**	**Min.**	**Maks.**		
Pencereler (Çoklu Enerji Ağları)	3,000	6,000	1,500	2,500	999,6	1,665	Işık ve ısınma kontrolü, doğrudan güneş ışığı kullanımı	Pencereler, evin iç mekân ısısını optimize ederek enerji tasarrufu sağlar.
Akıllı Şebeke Bağlantıları	5,000	10,000	1,000	3,000	999,6	2,998	Enerji tüketimini optimize etme ve fazla enerjiyi şebekeye iletme	Akıllı şebekeler, evdeki elektrik tüketimini denetler ve fazladan üretilen enerji şebekeye satılabilir.
Güneş Panelleri	4,000	5,000	4,000	6,000	3,998	5,997	Güneş enerjisinden elektrik üretimi ve fazla enerjinin	Fazla üretilen enerji şebekeye satılabilir ve gelir elde edilebilir.

[4] Aralık 2024 tarihi itibarıyla temin edilen sistem ve hizmet ücretleri üzerinden oluşturulmuştur.

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

	Başlangıç Maliyeti (USD)[4]		**Yıllık Enerji Üretimi ya da Tasarrufu (kWh)**		**Yıllık Enerji Tasarrufu (kWh)** (210 m² 9,996 kWh'lik bir ev için)		**Enerji/Maliyet Verimliliği Sağlama Yolu**	**Açıklama**
	Min.	**Maks.**	**Min.**	**Maks.**	**Min.**	**Maks.**		
							şebekeye satılması	
Güneş Pilleri	2,000	5,000	2,000	3,000	1,998	2,997	Güneş enerjisinden depolama yaparak gece kullanımının sağlanması	Fazla üretilen enerji şebekeye satılabilir ve gelir elde edilebilir.
Su Tesisatı (DRL Ağları ile)	3,000	5,000	100	300	99.9	299.8	Su tesisatındaki enerji israfının engellenmesi ve donma riskinin ortadan kaldırılması	DRL ağları, su tesisatındaki donma olaylarını engeller ve enerji kaybını azaltır.
Gri Su Toplama	2,000	5,000	10	50	49.9	99.9	Su kullanımının optimize edilmesi ve enerji tüketiminin azaltılması	Yağış miktarına göre su depolama ve yeniden kullanma işlemi, enerji tasarrufu sağlar.
Akıllı Termostatlar	150	500	500	1,500	499.8	1,499.2	Isıtma ve soğutma ihtiyacının optimize edilmesi	Isıtma ve soğutma sistemini otomatikleştirir.
Akıllı Aydınlatma Sistemleri	100 (birim fiyat)	500 (birim fiyat)	100	300	99.9	299.8	Işık kullanımının optimize edilmesi	Aydınlatma için gerekli enerjide tasarruf sağlar.
Enerji İzleme Sistemleri	200 (birim fiyat)	600 (birim fiyat)	500	1,000	499.6	999.2	Elektrik tüketiminin izlenmesi ve optimize edilmesi	İzleme ve optimize etme yoluyla verimliliği artırılır.

Tablo 3'te görüldüğü üzere, sürdürülebilir akıllı ev sistemleri çözümlerinin farklı maliyetleri ve bu uygulamalardan elde edilebilecek farklı düzeylerde enerji verimlilikleri veya kazanımlar bulunmaktadır. Buna göre kullanıcı müdahalesi minimum seviyeye indirgenerek maksimum konforun sağlanması için yapılan çözümlerle 2,005.2 ile 13,657.0 kWh arasında verimlilik elde edilebileceği tespit edilmiştir. Tablo 4'te ise minimum ya da maksimum maliyetler ile sağlanabilecek minimum ve maksimum verimlilik maliyet miktarları verilmiştir. Ayrıca her bir duruma ait senaryonun uygulanması hâlinde yapılacak bu sürdürülebilir akıllı ev sistemlerinin geri ödeme süreleri de hesaplanmıştır. Böylece kullanıcıların proje geliştirme safhasında sahip oldukları bütçe doğrultusunda hangi tercihleri yapabilecekleri ve bunun sonucunda elde edebilecekleri tasarruf belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre sürdürülebilir bir akıllı evin başlangıç seviyesindeki araçlarla kurulması hâlinde 19,350 ile 37,600 USD arasında bir maliyeti bulunurken; sağlanan enerji verimliliği sayesinde bu maliyetin -paranın zaman değeri gözetilmediğinde- 1,2 ile 3,7 yıl arasında geri ödeme potansiyeli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4). Fakat yatırımda Türkiye'nin son 10 yıllık süredeki enerji fiyat artışı ortalaması (%20) ile aynı süredeki yıllık ortalama enflasyon ortalaması (%17,5) dikkate alınarak geri ödeme süreleri hesaplandığında, sonuçlar 1,4 ile 4,3 arasında değişiklik göstermektedir.

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

Tablo 4. Sürdürülebilir Akıllı Ev Sistemlerinin Maliyet ve Performans Arasındaki İlişki

	210 m^2 konut için (USD)	**En Düşük (Minimum)**			**En Yüksek (Maksimum)**		
		Tasarruf Miktarı (USD)	**Geri Ödeme Süresi (Yıl)**	**NBD ile Geri Ödeme Süresi**	**Tasarruf Miktarı (USD)**	**Geri Ödeme Süresi (Yıl)**	**NBD ile Geri Ödeme Süresi**
En Düşük (Minimum) Maliyet	19,350	9,996	1,9	2,2	16,650	1,2	1,4
En Yüksek (Maksimum) Maliyet	37,600		3,7	4,3		2,2	2,6

Akıllı ev çözümlerine ilişkin toplam yatırım maliyetleri; uygulamanın kapsamı, ihtiyaç duyulan donanım ve mekanizmaların sektördeki yaygınlığı, yerli üretim veya ithalata olan bağımlılık düzeyi ile inşaat sektörünün ekonomik ve teknolojik dinamiklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Geri ödeme süresi açısından da enerji kaynaklarının mevcudiyetine göre enerji maliyetlerine bağlı olarak değişiklik ortaya çıkabilmektedir. Öyle ki güncel raporlar da akıllı ev sistemlerinin geri ödeme süresinin; binanın büyüklüğüne, karmaşıklığına ve yerel enerji maliyetlerine bağlı olarak 3 ila 7 yıl arasında değiştiğini belirtmektedir. Ayrıca akıllı ev çözümlerinin %10-30 enerji tasarrufu, operasyonel verimlilik ve ekipman ömrünün uzatılması gibi faydaları olduğu da ifade edilmektedir (Bharadwaj, 2025). Literatürde, gelişmekte olan ülkeler üzerine yapılan çalışmalarda ise yaygın olarak akıllı ev teknolojilerinin geri ödeme süresinin, yerel ekonomik koşullar, enerji sübvansiyonları ve teknolojik ithalat bağımlılığı gibi faktörler nedeniyle gelişmiş ülkelere kıyasla yüksek dalgalanma gösterdiği belirtilmektedir (Kings Research, 2024; Lebea, 2025). Buna göre gelişmekte olan ülkelerde yapılan uygulamalarda da bu bağlamda farklılıklar görülmektedir. NBD dikkate alınmadan yapılan değerlendirmelerde Nijerya için geri ödeme süresi yaklaşık 1 yıl iken bu süre Hindistan için iki katına (2 yıl 1 ay) çıkmaktadır (Patience ve Apaokueze, 2024; Larionova vd., 2024). NBD ile akıllı ev yatırımlarının geri ödeme süreleri dikkate alındığında gelişmiş ülkeler olan Portekiz'de yaklaşık 8 yıl, Rusya'da ise 6 yıl gibi bir sürede amortisman sağlanabilmektedir (Pereira vd., 2022; Gamayunova vd., 2020). Buna göre gelişmiş ülkelere kıyasla Türkiye'de enerji maliyetlerinin yüksek oluşunun enerji verimliliğine yönelik yatırımların geri ödeme süresini kısaltıcı etkide bulunduğu görülmektedir. Bu sonuç, yüksek enerji fiyatlarının tüketici ve yatırımcılar için enerji verimliliği projelerinde hızlı geri dönüş motivasyonu yarattığına ve bu sayede yatırım cazibesini artırdığına dair genel enerji ekonomisi bulgularıyla tutarlılık göstermektedir (Naimoğlu ve Akal, 2021; Idrus ve Idrus, 2023). Fakat benzer ekonomik faaliyetler içerisinde olan diğer gelişmekte olan ülkelerle karşılaştırıldığında ise sistemlerde kullanılan araçlar içerisinde ithal ürünlerin bulunmasından kaynaklı olarak maliyetlerdeki artışla birlikte geri ödeme süresinin daha uzun olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu, Türkiye'nin yüksek teknoloji ve elektronik ara malı üretiminde güçlü bir ithal girdi bağımlılığına sahip olması ve enerji ihtiyacının önemli bir kısmında dışa bağımlı olması (TPAO, 2022) yönündeki yerel ekonomik analizlerle örtüşmektedir. Ayrıca örnek vakada, tek başına akıllı ev sistemlerinin yerine sürdürülebilir araçlarla bu sistemlerin kurulmasının da maliyeti artırıcı etki gösterdiği söylenebilir. Fakat bu bulgular, Türkiye'de akıllı ev uygulamalarının inşaat sektöründe diğer ülkelere göre daha yeni bir uygulama oluşunun bir sonucu olarak değerlendirilmelidir. Akıllı ev teknolojileri gibi yeni ve hızla büyüyen pazarlarda (Kings Research, 2024) maliyetlerin başlangıç aşamasında yüksek olması, sektör olgunlaştıkça ve yerel üretim kapasitesi arttıkça maliyetlerin düşüş eğilimine girmesi beklenmektedir. Bu nedenle mevcut yüksek yatırım maliyeti ve kısmen uzun geri ödeme süresi, sektörün erken adaptasyon döneminin bir yansıması olarak kabul edilebilir.

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

SONUÇ

Sürdürülebilir yapılar için geliştirilen teknolojilerin etkin bir şekilde kullanılabilmesi, yapıların işletim süreçlerinde kullanıcıların etkisinin artmasını ve öğrenim süreçlerinin uzamasını engellemeyi gerektirmektedir. Bu durum her zaman mümkün olmadığı için kullanıcıların süreçteki aktif rolünü azaltıcı çözümler önem kazanmaktadır. Akıllı ev sistemleri, bu süreçte kullanıcı müdahalesini en aza indirerek maksimum verimliliği sağlayan bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür sistemlerin yaygınlaşması, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasında önemli bir adım olmaya başlamıştır. Kullanıcıların konforlarını bozmadan, sürdürülebilir çözümler sunan sistemlerin etkin yönetimi, teknolojinin doğru bir şekilde kullanılmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda, gelecekteki yapı tasarımlarında akıllı ev sistemlerinin sürdürülebilir yapı çözümlerine entegresinin daha yaygın bir şekilde kullanılması, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması için fırsat sunmaktadır.

Çalışma, akıllı ev sistemlerinin yatırım maliyetlerini, elde edilecek tasarruf ile geri ödeme süresini örnek bir yapı üzerinden Türkiye için değerlendirmektedir. Böylece kullanıcıların enerji verimliliği potansiyellerinin farkına varması sağlanarak otomasyon tabanlı ev sistemlerinin yaygınlaştırılmasına katkıda bulunmak amaçlanmaktadır. Çalışmadaki bulgular, IoT teknolojisinin enerji verimliliğini artırmada ve kullanıcı konforunu iyileştirmede etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Akıllı teknolojilerle donatılmış konutlar, enerji tüketimini anlık izleyip optimize ederek, kullanıcı müdahalesini en aza indirirken, uzun vadede önemli enerji tasarrufları sağlamaktadır. Başta son kullanıcılar olmak üzere yatırımcılar ve diğer proje geliştiriciler için teknolojik bir yeniliğe inşaat projelerinde yer vermek, elde edilecek yatırımın getirisine bağlıdır. Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar sonucunda, bu sistemlerin düşünülenin aksine uzun geri ödeme sürelerinin olmadığı görülmüştür. Özellikle enerjide dışa bağımlılığı olan ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de her yıl artan enerji arz fiyatları, verimli çözümlerin önemini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda enerji arz fiyatı düşük olan ülkeler için akıllı ev sistemi çözümünün geri ödeme süreleri uzarken Türkiye için bu sürenin daha kısa olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan değerlendirmelere göre akıllı ev sistemlerinin sürdürülebilir araçlarla bütünleşmiş bir biçimde planlamasında ve bundan maksimum verimin elde edilmesinde yapının içinde bulunduğu koşulların tüm yönleriyle ele alınması gerekmektedir. Yeni inşa edilecek yapılar için bu uygulamalar daha az sınırlamalarla karşı karşıya kalırken mevcut yapıların akıllı ev dönüşümlerinde uygulamaların sınırlı kalabileceğine dikkat edilmelidir. Örneğin pasif ısıtma ve soğutma stratejileri yeni yapılarda yüksek uyum sağlasa da mevcut binalarda entegrasyon zorlukları yaşanabilir. Güneş panelleri ve rüzgâr enerjisi sistemleri, doğru tasarımlar ve yerleşimle Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde farklı verimliliklerle çalışabilir. Çalışmanın temel sınırlamalarından biri olarak hesaplamalar ve değerlendirmeler örnek bir vaka incelemesiyle gerçekleştirilmiş olup gelecek çalışmalarda Türkiye'nin farklı bölgelerinden seçilen çok örneklemli araştırmalarla ulusal düzeydeki farklılıkları da ortaya koymak mümkündür. Ayrıca yapı ölçeğinin değişmesiyle elde edilecek verimlilikler ve yatırım maliyeti değerlendirmeleri de akıllı ev sistemleri için ele alınabilecek diğer bir konudur. Sonuç olarak bu sistemlerin entegrasyonu başlangıç maliyetleri gerektirirken uzun vadeli enerji tasarruflarıyla bu maliyetlerin dengelenebildiği unutulmamalıdır. Kullanım alanı ve sağladığı avantajlar yaygınlaştıkça bu uygulamaların sayısı artacak, bu durumda yatırım maliyetlerinin daha düşük seviyelerde gerçekleştirilebilmesine olanak sağlayacaktır.

Bununla birlikte akıllı ev sistemlerinin yaygınlaşmasının yalnızca bireysel tercihlere değil, ulusal politika ve teşvik mekanizmalarına da bağlı olduğu unutulmamalıdır. Bu bağlamda yerli üretim olanaklarının geliştirilmesi; maliyetlerin düşürülmesi ve dışa bağımlılığın azaltılması açısından önemlidir. Bu sistemlerin enerji verimliliği sertifikasyon süreçlerine entegre edilmesi ise çevresel performansın belgelenmesini ve piyasa güvenilirliğinin artmasını sağlayacaktır. Sürdürülebilirlik politikaları kapsamında Ar-Ge destekleri,

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

vergi teşvikleri ve finansman kolaylıklarıyla bu teknolojilerin kullanımının yaygınlaştırılması, enerji verimliliği hedeflerinin yanı sıra ekonomik ve teknolojik gelişime de katkı sunacaktır.

Yazar Katkı Beyanı

Sıra	Adı Soyadı	ORCID	Yazıya katkısı*
1	Ezgi YILMAZ	0009-0004-5539-2256	1, 2, 3, 4, 5
2	Dinçer AYDIN	0000-0001-8436-6330	1, 3, 4, 5
*Katkı bölümüne ilgili açıklamanın karşılığına gelen rakam(lar)ı yazınız.			
1. Çalışmanın tasarlanması 2. Verilerin toplanması 3. Verilerin analizi ve yorumu 4. Yazının yazılması 5. Kritik revizyon			

Yazar Notu

Bu çalışma EDSK'25 1. Ulusal Enerji Dönüşümü ve Sürdürülebilirlik Konferansı'nda sunumu yapılan özet bildiri üzerinden üretilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kişisel ve/veya finansal çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKÇA

Abd-Rabo, L. ve Hassan, A. (2024). Approaches to passive cooling systems for sustainable building designs in various climates. *ISVS e-journal, 11*(2), 164-177.

Abolarin, S. M., Shitta, M. B., Emmanuel, M. A., Nwosu, B. P., Aninyem, M. C. ve Lagrange, L. (2022). An impact of solar PV specifications on module peak power and number of modules: A case study of a five-bedroom residential duplex. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 98*(1).

Ahmadi-Karvigh, S., Ghahramani, A., Becerik-Gerber, B. ve Soibelman, L. (2017). One size does not fit all: Understanding user preferences for building automation systems. *Energy and Buildings*, *145*, 163–173. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.015

Asham, A. D., Hanaa, M., Alyoubi, B., Badawood, A. M. ve Alharbi, I. (2017). A simple integrated smart green home design. In *2017 Intelligent Systems Conference (IntelliSys)*, 194–197.

Avcı, İ. (2022). Akıllı evlerde IoT teknolojileri ve siber güvenlik. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 226–233. https://doi.org/10.31590/ejosat.1080228

Bhandari, S. B. (2009). Discounted payback period-some extensions. *Journal of Business and Behavioral Sciences*, *21*(1), 28-38.

Bharadwaj, G. (2025). *Understanding the ROI of a smart building management system*. Know Your Building. 17 Ekim 2025 tarihinde https://knowyourbuilding.com/okay-heres-a-blog-post-focused-on-understanding-the-roi-of-a-smart-building-management-system adresinden alındı.

Başçiftçi, F. ve Gündüz, K. A. (2019). Nesnelerin interneti uyumlu mikrodenetleyiciler üzerine bir araştırma. *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, *18*, 62–71.

Berardi, U. (2016). Green roofs in sustainable building design. *Energy and Buildings*, *122*, 217–229. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.050

Bseiso, A., Abele, B., Ferguson, S., Lusch, P. ve Mehta, K. (2015). A decision support tool for greenhouse farmers in low-resource settings. In *2015 Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, 360–366.

Canale, L., Di Fazio, A. R., Russo, M., Frattolillo, A. ve Dell'Isola, M. (2021). An overview on functional integration of hybrid renewable energy systems in multi-energy buildings. *Energies*, *14*(4), 1078. https://doi.org/10.3390/en14041078

Chakraborty, A., Islam, M., Shahriyar, F., Islam, S., Zaman, H. U. ve Hasan, M. (2023). Smart home system: A comprehensive review. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, *2023*(1), 7616683.

Civan, U. (2006). *Akıllı binaların çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi.* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ)]. Ulusal Tez Merkezi Veri Tabanı, Tez No. 222003.

Das, L., Anand, P., Anjum, A., Aarif, M., Maurya, N. ve Rana, A. (2023). The impact of smart homes on energy efficiency and sustainability. In *10th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON)*, 215–220.

Erdal, E. ve Ergüzen, A. (2020). Nesnelerin interneti (IoT). *International Journal of Engineering Research and Development*, *12*(3), 24–34. https://doi.org/10.29137/umagd.827676

Eum, J. H., Kim, S. ve Lee, B. (2023). Optimizing rooftop solar and green infrastructure co-application for urban microclimate regulation. *Renewable Energy*, *207*, 1410–1423. https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.089

Frascarolo, M., Martorelli, S. ve Vitale, V. (2014). An innovative lighting system for residential application that optimizes visual comfort and conserves energy for different user needs. *Energy and Buildings*, *83*, 217–224. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.072

Gamayunova, O., Sprince, A. ve Morozova, D. (2020). Cost effectiveness of the smart home system in Civil Engineering. In *Proceedings of EECE 2019: Energy, Environmental and Construction Engineering 1*, 221-230. Springer International Publishing.

Gorshkov, A. S., Vatin, N. I., Rymkevich, P. P. ve Kydrevich, O. O. (2018). Payback period of investments in energy saving. *Magazine of Civil Engineering*, *2*(78), 65-75.

Grant, E. L., Ireson, W. G. ve Leavenworth, R. S. (1990). *Principles of Engineering Economy*. Wiley.

Habib, M. R., Yusuf, M. A., Warnasuriya, W. M. H. N., Sunny, K., Rahaman, M. M., Khan, M. R. K., Saha, P. P. ve Alam, M. T. (2024). A Comprehensive review on the advancement of home automation system, In *Second International Conference on Intelligent Cyber Physical Systems and Internet of Things (ICoICI),* Coimbatore, India, 638-642.

Han, K. ve Zhang, J. (2020). Energy-saving building system integration with a smart and low-cost sensing/control network for sustainable and healthy living environments: Demonstration case study. *Energy and Buildings*, *214*, 109861. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109861

Hauge, Å. L., Thomsen, J. ve Berker, T. (2011). User evaluations of energy-efficient buildings: Literature review and further research. *Advances in Building Energy Research*, *5*(1), 109–127. https://doi.org/10.1080/17512549.2011.582350

Idrus, M. I. ve Idrus, M. I. (2023). What role do economic factors play in the energy efficiency changes in developed and developing countries?. *Przestrzeń Społeczna (Social Space), 23*(4), 104-127.

IEA (International Energy Agency). (2023). *Buildings energy efficiency.* IEA. 10 Ağustos 2024 tarihinde https://www.iea.org/topics/buildings adresinden alındı.

Irmak, E. ve Erkek, İ. (2018). Endüstriyel kontrol sistemleri ve scada uygulamalarının siber güvenliği: modbus tcp protokolü örneği. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, *6*(1), 1-16.

Jain, S., Vaibhav, A. ve Goyal, L. (2014). Raspberry Pi based interactive home automation system through email. In *2014 International Conference on Reliability Optimization and Information Technology (ICROIT)*, 277–280.

Ketut, A. E. I., Afandi, M. A., Pujiharsono, H., Gustiyana, F. N., Krishna, H. ve Juwono, F. H. (2023). Implementation and analysis of the Internet of Things system for electrical energy monitoring at Institut Teknologi Telkom Purwokerto. *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, *4*(3), 627-638.

Kim, D. S., Shin, T. H. ve Park, J. S. (2007). A security framework in RFID multi-domain system. In *2007 Second International Conference on Availability, Reliability and Security (ARES)*, 73–79.

Kim, J., Park, M. ve Lee, J. (2020). BIM-based human–machine interface framework for real-time energy management. *Sustainability*, *12*(21), 8861. https://doi.org/10.3390/su12218861

Kings Research. (2024). *Smart Home Market Size, Share & Growth Analysis*, 2032. 17 Ekim 2025 tarihinde https://www.kingsresearch.com/smart-home-market-25 adresinden alındı.

Kocaman, B. (2014). Mikro şebekeler için örnek bir enerji yönetimi uygulaması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *3*(1), 35–52. https://doi.org/10.17798/beufen.05193

Larionova, Y. V., Sharma, D., Nijhawan, G., Kumari, N. ve Devi, S. (2024). The economic viability of smart home investments: a cost-benefit analysis. In *BIO Web of Conferences*, 01086. EDP Sciences.

Lebea, K. (2025). Smart Home Technology Adoption: A Qualitative Study. In *International Conference on Information Technology & Systems,* 135-143. Cham: Springer Nature Switzerland.

Malche, T. ve Maheshwary, P. (2017). Internet of Things (IoT) for building smart home system. In *2017 International Conference on IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud (I-SMAC)*, 65–70.

Metallidou, C. K., Psannis, K. E. ve Egyptiadou, E. A. (2020). Energy efficiency in smart buildings: IoT approaches. *IEEE Access, 8*, 63679–63699. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2984461

Naimoğlu, M. ve Akal, M. (2021). Enerji verimliliği üzerine arz ve talep yönlü genel bir bakış. *Verimlilik Dergisi,* (3), 3-20. https://doi.org/10.51551/verimlilik.698615

Noranai, Z., Sobri, N. M. ve Bosro, M. Z. M. (2021). Economic analysis comparison between Payback Period and Net Present Value for office building energy consumption. In *International Conference on Mechanical Engineering Research*, 487-495. Singapore: Springer Nature Singapore.

Ocaña, W. S., Alex, C., Ricardo, G., Diego, T. ve Salazar, E. (2018). Control and monitoring of electrical variables of a level process using Modbus RTU-TCP/IP industrial communication. *Indian Journal of Science and Technology, 11*(32). https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i32/131113

Orikpete, O. F., Ikemba, S. ve Ewim, D. R. E. (2023). Integration of renewable energy technologies in smart building design for enhanced energy efficiency and self-sufficiency. *The Journal of Engineering and Exact Sciences, 9*(9), 16423–01e. https://doi.org/10.18540/jcecvl9iss9pp16423-01e

Özdemir, S. ve Arabacıoğlu, B. C. (2022). Mikrodenetleyici sistemlerin kullanımı ile etkileşimli mekân çözümlerinin iç mekân tasarımında sunduğu güncel olanak ve kısıtlar. *Modular Journal*, *5*(2), 203-224.

Patience, C. ve Apaokueze, T. N. (2024). The impact of smart home technologies on energy efficiency, cost savings, and environmental benefits. *Journal of Energy Engineering and Thermodynamics, 4*(4), 21-32. https://doi.org/10.55529/jeet.44.21.32

Pereira, F., Caetano, N. S. ve Felgueiras, C. (2022). Increasing energy efficiency with a smart farm—An economic evaluation. *Energy Reports*, *8*, 454-461.

Rathod, A. A. ve Subramanian, B. (2022). Scrutiny of hybrid renewable energy systems for control, power management, optimization and sizing: Challenges and future possibilities. *Sustainability, 14*(24), 16814. https://doi.org/10.3390/su142416814

Sharifi, A. ve Yamagata, Y. (2015). Roof ponds as passive heating and cooling systems: A systematic review. *Applied Energy*, *160*, 336-357. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.061

TAŞ (Türkiye Akıllı Şebekeler) (2023). *Türkiye akıllı şebekeler 2023 vizyon ve strateji belirleme projesi.* akıllı şebekeler Türkiye. 20 Şubat 2025 tarihinde https://www.akillisebekelerturkiye.org/hakkinda adresinden alındı.

TPAO. (2022). *2022 Yılı petrol ve doğal gaz sektör raporu.* Erişim tarihi: 17 Ekim 2025 tarihinde https://www.tpao.gov.tr/file/2305/2022-petrol-ve-dogal-gaz-sektor-raporu-14316477389807c65.pdf adresinden alındı.

Typhoon Hil. (2024). *How smart buildings drive energy efficiency and sustainability in the built environment.* Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2025 tarihinde https://www.typhoon-hil.com/blog/smart-buildings-drive-energy-efficiency-and-sustainability/ adresinden alındı.

Weng, T. ve Agarwal, Y. (2012). From buildings to smart buildings—sensing and actuation to improve energy efficiency. *IEEE Design & Test of Computers, 29*(4), 36-44.

Wilson, L., Lichinga, K. N., Kilindu, A. B. ve Masse, A. A. (2021). Water utilities' improvement: The need for water and energy management techniques and skills. *Water Cycle*, *2*, 32–37. https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2021.05.002

Wu, Y., Wang, Q., Duan, L. ve Li, H. (2021). Smart grid-oriented renewable energy management in residential buildings: A case study from China. *Sustainable Cities and Society*, *69*, 102840. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102840

ARAŞTIRMA MAKALESİ
Cilt 8, Sayı 2, 2025, 470-491
DOI: 10.59389/modular.1660648

Xu, Y., Yan, C., Liu, H., Wang, J., Yang, Z. ve Jiang, Y. (2020). Smart energy systems: A critical review on design and operation optimization. *Sustainable Cities and Society*, 62, 102369. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102369

Yıldız, N. ve Öztürk, A. (2023). Türkiye'de konut tipi binalarda güneş enerjisi sistemlerinin akıllı şebeke ile entegrasyonu üzerine bir değerlendirme. *Yapı ve Enerji Dergisi, 11*(1), 55–72.

Zhao, H. X. ve Magoulès, F. (2012). A review on the prediction of building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16*(6), 3586-3592. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.049

Zhang, G. ve He, B. (2021). Towards green roof implementation: Drivers, motivations, barriers and recommendations. *Urban Forestry & Urban Greening*, *58*, 126992. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.126992

Zingat (20 Mayıs, 2025). *Trakhome Utopia*. 20 Mayıs 2025 tarihinde https://www.zingat.com/site/trakhome-utopia-1291579b adresinden alındı.

YAZAR BİYOGRAFİSİ

Ezgi YILMAZ

Lisans eğitimini 2023 yılında Trakya Üniversitesi Mimarlık Bölümünde tamamlamıştır. 2024 yılı itibarıyla aynı üniversitede yüksek lisans eğitimine başlamış olup eğitimine devam etmektedir. Sürdürülebilir yapı üretimi konusu üzerine çalışmalar yürütmektedir.

Dinçer AYDIN

Lisans eğitimini 2013 yılında Yeditepe Üniversitesi Mimarlık Bölümünde gerçekleştirmiştir. Yüksek lisans eğitimini 2017 yılında Trakya Üniversitesi Mimarlık Programında tamamlarken 2022 yılında aynı üniversitede doktor derecesini almıştır. Araştırma konularını binalarda enerji verimliliği ve enerji yönetimi ile sürdürülebilir inşaat projeleri yönetimi oluşturmaktadır. 2024 yılından itibaren Trakya Üniversitesi Mimarlık Bölümünde doktor öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.