



COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Akıllı Şehir Rehberlik Uygulamaları Projesi

YAPI ENERJİ VERİMLİLİĞİ PROJELERİ

AKILLI ŞEHİR UYGULAMA REHBERLİK KILAVUZU

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı © 2024

Tüm hakları saklıdır. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın izni olmadan bu belgenin hiçbir kısmı elektronik ya da mekanik yollarla (fotokopi, kayıtların ya da bilgilerin arşivlenmesi, vs.) çoğaltılamaz.

YAPI ENERJİ VERİMLİLİĞİ PROJELERİ REHBERLİK KILAVUZU

Bu kılavuz, akıllı şehir uygulamalarından olan “Yapı Enerji Verimliliği Projeleri” yapmak isteyen kurum ve kuruluşlara, projenin geliştirme ve uygulama aşamalarında destekleyici rehber doküman olması amacıyla hazırlanmıştır.

Kılavuzda uygulamaya yönelik bir vaka üzerinden aşamalı ve detaylı olarak açıklama yapılmıştır. Rehberlik kılavuzu ile uygulamanın projelendirilmesine ve fizibilite çalışmalarının yapılmasına destek olunması hedeflenmektedir.

1. Uygulamanın Tanımı

"Yapı Enerji Verimliliği Projeleri," akıllı şehir uygulamaları kapsamında, mevcut binaların ve altyapının enerji tüketimini optimize etmek ve daha verimli hale getirmek amacıyla tasarlanan projelerdir. Yapı Enerji Verimliliği Projeleri, kapsamında yapılacak pek çok proje bulunmaktadır. Hepsinin ortak amacı sürdürülebilirliği temel alarak enerji tasarrufunu sağlamaktır. Bir diğer ifadeyle, akıllı şehir hedeflerine ulaşma yolunda çevresel etkileri azaltmayı, enerji tüketimini optimize etmeyi ve sakinlerin yaşam kalitesini artırmayı amaçlamaktadır. Sadece enerji maliyetlerini düşürmekle kalmayıp, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunarak şehirlerin genel rekabetçiliğini artırmaktadır. Bu projelerin tümü, akıllı şehirlerin enerji kullanımını daha akılcı ve sürdürülebilir bir şekilde yönetmelerine olanak tanımaktadır.

“Yapı Enerji Verimliliği Projeleri” kapsamında aşağıda sıralanan uygulamaların her biri için ayrı rehberlik kılavuzu bulunmaktadır:

- Yapı yalıtım sistemleri
- Entegre ısıtma / soğutma sistemleri
- Adaptif havalandırma
- Yapı aydınlatma sistemi
- Akıllı sayaçlar
- Alternatif ve yenilenebilir enerji
- Elektrikli araç şarj altyapısı
- Yapı enerji altyapısı

Avustralya’da yapılan bir çalışmada, farklı performanstaki yeni konut binalarının enerji tüketim miktarları ve yaşam döngüsü maliyetleri karşılaştırılmıştır. Ulusal standartlara göre oluşturan baz senaryo üzerinden %24, %45 ve %65 daha düşük enerji talebine sahip yapıların farklı zaman aralıklarındaki enerji miktarlarına bakılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, 10 yıllık ölçekte 7 yıldızlı

senaryo en değerli yatırım iken, 40 yıllık zaman diliminden en yüksek performansa sahip 8 yıldızlı senaryo en iyi değeri sunmaktadır [1].

Tablo 1. Farklı termal performansa sahip konut binalarının enerji tüketimlerinin ve yaşam döngüsü maliyetlerinin karşılaştırılması [2]

Senaryolar*	Yıllık ısıtma ve soğutma enerji talebi	Standartlara göre iyileştirme oranı	Yatırımın Net Bugünkü Değeri	
			10 yıllık	40 yıllık
Baz senaryo – 5 yıldızlı	50,5 kWh/m ²	0%	-	-
6 yıldızlı senaryo	38,3 kWh/m ²	24%	35,38 \$AUS/m ²	57,49 \$AUS/m ²
7 yıldızlı senaryo	27,8 kWh/m ²	45%	48,95 \$AUS/m ²	91,45 \$AUS/m ²
8 yıldızlı senaryo	17,8 kWh/m ²	65%	38,90 \$AUS/m ²	99,96 \$AUS/m ²

*Avustralya'nın ulusal enerji sınıfı sistemine (Nationwide House Energy Rating Scheme – NatHERS) göre belirlenmiş olan enerji sınıflarına göre senaryolar oluşturulmuştur. Makalenin yayınlandığı dönemde 5 yıldızlı senaryo asgari ulusal standartları sağlamaktadır.

Genel olarak, toplu konut yapıları kapsamında ele alınabilecek enerji verimliliği önlemleri, proje kapsamında yapılan çalışmaların özeti ve bunların literatür ile karşılaştırılması Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Yapı enerji verimliliği uygulamaları ve basılı kaynaklardan örnekler

Alan	Kapsam	Proje Kapsamındaki Çalışmalar	Kaynak 1: Konut binalarında enerji tüketimi ve tasarrufunun değerlendirilmesi ¹	Kaynak 2: Mevcut sosyal konut binalarında enerji verimliliği önlemleri ²
Bina kabuğu	Isı yalıtımı Enerji etkin pencereler Sızdırmazlık	21 – 46 mTL/yıl enerji maliyeti tasarrufu 17 - 37 ktCO ₂ /yıl sera gazı emisyonu tasarrufu (Bkz. Yapı yalıtım sistemleri raporu)	Duvar ve çatıda ısı yalıtımı: Isıtma enerji tüketiminde %35 ile %74 arası tasarruf Çift camlı pencere: Isıtma enerji tüketiminde %14 ile %20 arası tasarruf Sızdırmazlığın artırılması: Isıtma enerji tüketiminde %16 ile %21 arası tasarruf	
Mekanik Sistemler	Isıtma-soğutma sistemleri Havalandırma sistemleri Pompa ve fan verimliliği	Bkz. Entegre ısıtma / soğutma sistemleri raporu Bkz. Adaptif havalandırma raporu	Bölgesel ısıtmada denge dengeleme: Isıtma enerji tüketiminde %3 ile %6 arası tasarruf Termostatik vana: Isıtma enerji tüketiminde %3 ile %6 arası tasarruf	Termostatik radyatör vanası: %3,4 enerji tasarrufu ve 14,4 yıl geri ödeme süresi
Aydınlatma Sistemleri	Enerji etkin aydınlatma Aydınlatma kontrolü	Bkz. Yapı aydınlatma sistemi raporu	Enerji etkin aydınlatma: Aydınlatma enerji tüketiminde %60 tasarruf	
Yenilenebilir Enerji Sistemleri	Fotovoltaik sistemler Solar termal	7,5 – 15,4 mTL/yıl enerji maliyeti tasarrufu (Bkz. Alternatif ve yenilenebilir enerji raporu)	Solar termal sistemi: Sıcak su elektrik tüketiminde %50 ile %80 arası tasarruf	Fotovoltaik panel entegrasyonu: %25,9 enerji tasarrufu ve 10,5 yıl geri ödeme süresi Solar termal sistemi: %23,3 enerji tasarrufu ve 12,9 yıl geri ödeme süresi
Enerji Yönetim ve İzleme Sistemleri	Otomasyon Akıllı sayaçlar izleme İç ortam koşulları izleme	Bkz. Akıllı sayaçlar raporu	Belirtilmemiştir.	Belirtilmemiştir.

¹ Balaras, C. A., Gaglia, A. G., Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., & Lalas, D. P. (2007). European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. *Building and Environment*, 42(3).

² Aranda, J., Zabalza, I., Conserva, A., & Millán, G. (2017). Analysis of Energy Efficiency Measures and Retrofitting Solutions for Social Housing Buildings in Spain as a Way to Mitigate Energy Poverty. *Sustainability*.

1.1. Projenin Adı, Uygulama Yeri ve Süresi

- Yapı Enerji Verimliliği Projelerinin hazırlık aşamasında ilk olarak projenin adı belirlenir.
- Proje adı belli olduktan sonra projenin uygulama alanı, büyüklüğü ve yapısı belirlenerek projenin ne kadar sürede biteceği planlanır.
- Proje uygulamaya alınmadan önce projenin tanıtıcı özeti olan Akıllı Şehir Proje Yönetimi Standartları kapsamındaki Proje Fişi hazırlanır.

Örnek Vaka	
Proje Adı	Yapı Enerji Verimliliği Projeleri
Uygulama Alanı	1000 Ha yerleşim alanı – 200.000 kişi
Proje Süresi	Yapı Enerji Verimliliği Projeleri için belirlenen süre 12 aydır.
Akıllı Şehir Proje Fişi, Akıllı Şehir Proje Yönetimi Standartları kapsamında hazırlanmış olup dokuman www.akillisehirler.gov.tr adresinde yayınlanan Akıllı Şehir Bilgi Paylaşım Portalı'ndan erişilebilmektedir.	

1.2. Proje Teknik Bileşenleri

Yapı Enerji Verimliliği Projelerinde enerji analizi, iç mekân konforu ve iklimlendirme tasarımı, aydınlatma tasarımı, yalıtım ve bina kabuğu tasarımı, yenilenebilir enerji entegrasyonu, su verimliliği tasarımı ve bina otomasyon sistemlerini içermektedir. Bu bileşenler, mevcut enerji tüketimini analiz etmek, enerji tasarrufu alanlarını belirlemek, iç mekân konforunu sağlamak, aydınlatma verimliliğini artırmak, bina kabuğunu yalıtım, yenilenebilir enerji kaynaklarını entegre etmek, su tasarrufunu sağlamak ve enerji yönetimini otomatikleştirmek için kullanılır. Bu teknik bileşenlerin entegrasyonu, yapıların enerji verimliliğini artırarak sürdürülebilir ve çevre dostu binaların tasarlanması ve inşaa edilmesini sağlar.

Bunlara göre Yapı Enerji Verimliliği Projelerinin teknik bileşenleri özetle şu şekildedir:

- Yalıtım
- Enerji verimli ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri
- Aydınlatma
- Güneş enerjisi sistemleri
- Enerji yönetim sistemleri
- Su tasarrufu
- Bina otomasyonu

1.3. Proje Girdileri

Yapı Enerji Verimliliği Projeleri için proje girdileri şunlardır:

- Bina Özellikleri:
 - Bina tipi ve kullanım amacı (konut, ticari, endüstriyel vb.)
 - Bina boyutları ve yapısal özellikler (kat sayısı, cepheler, çatı tipi vb.)
 - İnşaat malzemeleri ve yalıtım kalitesi
 - Pencere ve kapı tipleri, izolasyon özellikleri
- Enerji Tüketim Verileri:
 - Geçmiş enerji faturaları ve tüketim verileri (elektrik, doğalgaz, su)
 - Bina kullanıcılarına ait enerji tüketim alışkanlıkları
 - Planlanan binalar için enerji tüketimi tahminleri (enerji modellemesi kullanarak)
- İklim Verileri:
 - Bölgenin iklim koşulları (sıcaklık, nem, güneşlenme süresi, rüzgâr hızı vb.)
 - İklim değişikliği trendleri ve gelecekteki iklim senaryoları
- Teknoloji ve Malzeme Bilgileri:
 - Enerji verimli ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri
 - Yüksek verimli aydınlatma armatürleri ve kontrol sistemleri
 - Enerji üretimi için yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgâr, jeotermal vb.)
 - İzolasyon malzemeleri, pencere ve kapılar için yalıtım özellikleri
 - Otomasyon sistemleri ve enerji yönetim sistemleri
- Bina Kullanıcıları:
 - Kullanıcı davranışları ve enerji tüketimi alışkanlıkları
 - Kullanıcı tercihleri ve talepleri (konfor düzeyi, aydınlatma tercihleri vb.)
 - Enerji tasarrufu ve bilinçli enerji kullanımı konusunda eğitim ve farkındalık düzeyi
- Yasal ve Düzenleyici Gereklilikler:
 - Bina kodları ve yönetmelikler (enerji verimliliği standartları, sertifikasyon gereklilikleri vb.)
 - İklimlendirme ve enerji sistemleri için yerel düzenlemeler
 - Enerji tasarrufu teşvikleri ve finansal destekler

1.4. Beklenen Çıktılar

Yapı Enerji Verimliliği Projeleri kapsamında beklenen çıktılar aşağıdaki gibidir:

- Enerji Tasarrufu Potansiyeli Analizi:
 - Yapının mevcut enerji tüketimi ve enerji verimliliği performansının analizi

- Potansiyel enerji tasarrufu alanlarının ve önlemlerin belirlenmesi
- Önerilen enerji tasarrufu önlemlerinin maliyet-etkinlik analizi
- Enerji Verimliliği İyileştirme Önerileri:
 - İzolasyon, aydınlatma, iklimlendirme ve havalandırma sistemleri gibi alanlarda iyileştirme önerileri
 - Yüksek verimli ekipman ve teknolojilerin kullanımıyla ilgili öneriler
 - Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu için öneriler
- Enerji Verimliliği Ölçütlerine Uygun Tasarım ve İnşa:
 - Yapının enerji verimliliği standartlarına uygun bir şekilde tasarım ve inşa edilmesi
 - İzolasyon, pencereler, havalandırma sistemleri ve aydınlatma için uygun malzeme ve ekipman seçimi
- Enerji Tüketimi ve Performans İzleme:
 - Enerji tüketimini izlemek için uygun ölçüm sistemlerinin kurulması
 - Enerji verimliliği önlemlerinin etkinliğini izlemek ve değerlendirmek
 - Yapının enerji performansının periyodik olarak değerlendirilmesi
- Finansal ve Çevresel Kazanımlar:
 - Enerji tasarrufu ve verimlilik önlemlerinin finansal geri dönüş süresi ve getirisi
 - Karbon ayak izi ve çevresel etkilerin azaltılması
 - Enerji maliyetlerindeki azalma ve sürdürülebilirlik kazanımları
- Kullanıcı Memnuniyeti ve Konfor:
 - İç mekân hava kalitesi, termal konfor ve aydınlatma konforu iyileştirmeleri
 - Kullanıcıların enerji tasarrufu ve verimlilik önlemlerine yönelik farkındalığının artırılması

1.5. Projenin performans göstergeleri

Yapı Enerji Verimliliği Projeleri için performans göstergelerinin amacı, proje performansının izlenmesi, analiz edilmesi ve değerlendirilmesi için bir çerçeve sağlamaktır. Bu göstergeler, proje yöneticilerine, yüklenicilere ve diğer ilgili taraflara projenin ilerlemesi hakkında net bir görünüm sağlar. Bu performans göstergeleri sayesinde, projenin başarısını ölçmek ve gerekli düzeltici önlemleri almak için gereken veriler elde edilir. Yapı Enerji Verimliliği Projelerinin performans göstergeleri şunlardır:

- İç mahal hava kalitesi
- İç hava sıcaklığı (°C), iç hava bağıl nemi (%RH)
- CO2 konsantrasyonu (ppm)
- Partikül madde (PM)

2. Proje Kapsamı ve Gerekçe

2.1. Proje Kapsamı

Bu bölümde, proje kapsamı incelenirken yalnızca bina enerji yönetimi ve iç hava izleme konuları bakımından ele alınmıştır.

Enerji yönetim ve otomasyon sistemlerinin konutlardaki kullanımı aşağıdakileri kapsar:

1. Enerji yönetimi: Enerji tüketen cihazların enerji tüketimini azaltarak sera gazı emisyonlarını ve tükettikleri enerji maliyetlerini düşürmek veya bu cihazlara uzaktan kontrol sağlamak
2. İç hava kalitesinin kontrolü: Sağlıklı ve konforlu yaşam alanlarının tasarlamak
3. Enerji tüketiminin izlenmesi: Enerji ve su tüketiminin akıllı sayaçlar ile takibinin sağlanması

Bu rehberlik kılavuzunda yalnızca ilk iki kullanım ele alınmıştır. Enerji ve su tüketiminin takibinin akıllı sayaçlar ile izlenmesi başka bir proje kapsamında da ele alınmaktadır. Öte yandan akıllı sayaçlar ve enerji yönetim sistemleri beraber değerlendirilirse, enerji verimliliğinin daha etkili sağlandığı bir sistem kurulmuş olacaktır. Bu yüzden bu projeleri uygulayacak belediyelere, bu iki sistemi birlikte değerlendirdikleri bir bütüncül bir anlayış benimsemeleri gerekliliği önerilmektedir.

Ayrıca aydınlatma sistemlerinin otomasyonu da ayrı bir projede incelendiği için, bu proje kapsamında ele alınmamıştır.

Hedeflenen 65.000 bağımsız birimi kapsayan tüm konut binaları çalışma kapsamına alınmıştır.

Tablo 3. Enerji yönetim sistemi kapsamı ve özellikleri

Kapsam		Özellikler
Enerji Yönetimi	Merkezi ısıtma, sıcak su, soğutma ve havalandırma cihazlarının kontrolü	Enerji optimizasyonu (en az gidiş suyu sıcaklığı kontrolü ve dış hava kompanzasyonu)* Kullanıcı tercihlerine (mahal sıcaklıkları) bağlı kontrolün sağlanması CO ₂ konsantrasyonuna bağlı havalandırma
İç Hava Kalitesi Yönetimi	Mahal sıcaklıklarının ve karbondioksit konsantrasyonunun takibi	Kullanıcıların ilgili mahallerdeki iç hava koşullarını (en az sıcaklık ve CO ₂ seviyesi) takip etmesi

*Bu fonksiyonun "Entegre Isıtma – Soğutma Sistemleri" projesi kapsamında tanımlanacağı öngörülmüş ve bu proje kapsamına alınmamıştır.

2.2. Proje Gerekçesi

Yapı enerji verimliliği projelerinin gerekçesi, artan enerji talebi, çevresel sürdürülebilirlik, maliyet tasarrufu ve konfor iyileştirmesi gibi temel faktörlere dayanmaktadır.

İlk olarak, enerji talebi sürekli olarak artmaktadır ve yapılar enerji tüketiminin büyük bir bölümünü oluşturur. Bu yüzden yapıların enerji verimliliğini artırmak, genel enerji talebini azaltma potansiyeli sunar. Bu, kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar ve enerji arz güvenliği açısından önemli bir adımdır.

Ayrıca, çevresel sürdürülebilirlik büyük bir endişe haline gelmiştir. Yapılar, enerji tüketimi ve sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağıdır. Enerji verimliliği projeleri, binalardaki enerji tüketimini azaltarak çevresel etkileri minimize eder. Bu, iklim değişikliğiyle mücadele, hava kalitesinin iyileştirilmesi ve doğal kaynakların korunması gibi çevresel hedeflere katkı sağlar.

Ekonomik açıdan bakıldığında, enerji verimliliği projeleri maliyet tasarrufu sağlar. Daha verimli bir bina, enerji faturalarında önemli ölçüde tasarruf sağlar ve işletme maliyetlerini azaltır. Aynı zamanda, enerji verimliliği projeleri, enerji yönetim sistemlerinin kullanımı sayesinde uzun vadede enerji maliyetlerini düşürür.

Son olarak, enerji verimliliği projeleri binaların konfor düzeyini artırır. İyi tasarlanmış bir yapı, daha etkili ısıtma, soğutma ve aydınlatma sistemlerine sahip olur. Bu da sakinlerin daha sağlıklı, rahat ve üretken bir ortamda yaşamasını sağlar.

Tüm bu nedenlerle, yapı enerji verimliliği projeleri hem çevresel hem de ekonomik açıdan önem taşır. Enerji tüketimini azaltarak kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlar, çevresel etkileri minimize eder, maliyet tasarrufu sağlar ve konfor düzeyini artırır. Bu projeler, sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunma ve enerji sistemlerini daha sürdürülebilir hale getirme hedefine ulaşmada önemli bir adımdır.

Aşağıda Yapı Enerji Verimliliği Projeleri için projenin amaç ve hedeflerine yer verilmektedir:

Amaçlar:

- Enerji tüketen cihazların optimum yönetimi ile enerji verimliliğinin artırılması
- Konutlarda sağlıklı ve konforlu iç hava koşullarının sağlanması

Hedefler:

- Binalarda enerji tüketimini azaltmak, kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayarak enerji kaynaklarını sürdürülebilir bir şekilde kullanmak
- Yapı enerji verimliliği projelerinin, daha az enerji tüketimiyle birlikte azaltılmış karbon emisyonlarına yol açmasıyla iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynamak
- Binalarda daha iyi ısıtma, soğutma ve havalandırma sağlayarak iç mekân konforunu artırıp, kullanıcıların daha sağlıklı ve rahat bir yaşam sürdürmelerini sağlamak
- Enerji maliyetlerini azaltarak bina işletme maliyetlerini düşürmek

- Artan enerji maliyetleri ve çevresel farkındalıkla birlikte enerji verimli binaların değerini artırmak, talep oluşturmak

2.3. Mevcut Durum

Proje konusu ile ilgili dünyada mevcut durumun tespiti

- Yapı Enerji Verimliliği Projelerine yönelik dünyadaki güncel trendler incelenir.
- Bu trendlere bağlı güncel teknoloji, yazılım, otomasyon, ekipman, yapı, ürün vs. incelenir.

Proje konusu ile ilgili Türkiye’de mevcut durumun tespiti

- Türkiye’deki mevcut Yapı Enerji Verimliliği Projeleri incelenir.
- Proje için gerek duyulan alanlarda hizmet alınabilecek firmalar belirlenir.

Daha önce yapılan çalışmaların başarı-başarısızlık durumlarının tespiti

Başarılı bir proje, enerji tüketiminde belirgin bir azalmaya yol açmaktadır. Bunu, daha verimli aydınlatma, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri veya yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gibi tedbirlerle sağlayabilir. Projenin başarısı, enerji faturasındaki düşüş veya ölçümler aracılığıyla doğrulanabilir.

Yapı enerji verimliliği projeleri aynı zamanda bina içindeki konfor koşullarını iyileştirmektedir. Başarılı bir proje, daha istikrarlı sıcaklık ve nem düzeyleri sağlayarak kullanıcılar için daha konforlu bir ortam oluşturmaktadır.

Başarılı bir yapı enerji verimliliği projesi, enerji tüketimindeki azalma nedeniyle önemli ölçüde sera gazı emisyonlarını azaltmaktadır. Projenin başarılı olduğunu gösteren bir gösterge, bina karbon ayak izinin önemli ölçüde düşmesidir.

Başarılı bir proje, enerji tasarrufları ve düşen işletme maliyetleri nedeniyle uzun vadede yatırım getirisi sağlamaktadır. Projenin başarılı olduğunu gösteren bir gösterge, yatırımın geri ödeme süresidir. Ne kadar kısa sürede yatırım geri kazanılırsa, proje o kadar başarılı kabul edilmektedir.

Başarılı bir yapı enerji verimliliği projesi, sürdürülebilirlik prensiplerine uygun olarak tasarlanmalı ve uygulanmalıdır. Bu, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmek, atık yönetimini düşürmek ve çevresel etkileri en aza indirmek gibi unsurları içermektedir.

Yukarıda bahsedilen tüm bu faktörler, bir yapı enerji verimliliği projesinin başarısını değerlendirmek için kullanılabilir. Projenin hedeflerine ne kadar yaklaşıldığı ve beklentilerin ne kadar karşılandığı göz önüne alınarak bir değerlendirme yapılabilir.

- Bu uygulamaları gerçekleştiren kurum ve firmalarla bilgi-tecrübe-fikir alışverişi yapılır.

- Başarılı süreçler arasında kıyaslama yapılarak bölge için en uygun teknoloji, yapı, ekipman, otomasyon, yöntem ve ürün belirlenir.
- Süreç içerisindeki karşılaşılan olumlu ve olumsuz durumlara dair bilgi notları hazırlanır ve bilgi havuzuna eklenir.

Literatür Araştırması

Literatür araştırması kısmı, bu projeyi uygulayacak kurum ve kuruluşlara mevcut durum hakkında bilgi vermek ve konu hakkında fikir sahibi olmalarını sağlamak amacıyla hazırlanmıştır.

Yapı enerji verimliliği projeleri, günümüzde artan enerji tüketimi ve çevresel sorunlar karşısında büyük bir öneme sahiptir. Bu projeler, binalarda enerji tüketimini azaltmayı ve kaynakların verimli kullanılmasını hedefler. Enerji verimliliği projeleri, binaların izolasyonundan aydınlatma sistemlerine, ısıtma ve soğutma sistemlerinden enerji yönetim sistemlerine kadar birçok alanda etkili çözümler sunar. Bu sayede, hem enerji faturalarında önemli tasarruflar elde edilirken hem de çevresel etkiler minimize edilir. Ayrıca, enerji verimli binalar sağladıkları konfor ve yaşam kalitesiyle de kullanıcılarına önemli avantajlar sunar. Yapı enerji verimliliği projeleri, sürdürülebilir bir gelecek için önemli bir adımdır ve hem bireysel hem de toplumsal düzeyde büyük faydalar sağlar.

İnsanların iç mekân iklimini kontrol etmeye başlamasıyla birlikte otomasyonun ortaya çıkması, bina enerji yönetim ve otomasyon sistemlerinin gelişmesine yol açmıştır [3]. Bu sistemlerin temel amacı enerji verimliliğini artırmak ve ilgili maliyetleri azaltmaktır. Türkiye'de, enerji verimliliğini hedefleyen yasal düzenlemelerin başlangıcı, 2000 yılında yayınlanan "Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği" ve "TS 825 Binalarda ısı yalıtımı kurallarının" zorunlu hale getirilmesiyle olmuştur [6]. Bu yönetmeliği takiben, 2007 yılında "Enerji Verimliliği Kanunu", 2009 yılında "Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği" ve daha sonra çeşitli eklerin eklenmesiyle birlikte uygulanan düzenlemeler gelmiştir. Son olarak, 2017 yılında "Binalar ile Yerleşmeler İçin Yeşil Sertifika Yönetmeliği" yayınlanmıştır. Bu yasal düzenlemeler, enerji verimliliğinin sağlanması ve yeşil uygulamaların teşvik edilmesi amacıyla yapılmıştır.

BEP Yönetmeliği'nde bahsedilen zorunlu standartlardan bina enerji yönetim sistemleri ile ilgili sayılabilecekler aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- *"Binalardaki ısı konfor memnuniyetinin ve enerji performansının artırılması için gerekli kriterler EN 7730 ve TS 2164 standartlarına göre belirlenir.*
- *Havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin işletme ve bakımında TS 5895'e uyulur."*

BEP yönetmeliğinin, bu proje ile doğrudan ilgili maddeleri aşağıda listelenmektedir* [7]:

- *Yeni binalarda; yapı ruhsatına esas olan toplam kullanım alanının 2.000 m2 ve üstünde olması halinde merkezi ısıtma sistemi yapılır. (Ek cümle: RG-28/4/2017-30051) Bu binalar, bağımsız*

bölümlerin ısı sayacı kullanılmasına olanak verecek şekilde, tek kolon hattına sahip ısıtma sistemli ve ısı sayaçlarının bağımsız bölümün dışında olacak şekilde projelendirilir.

** En son 28/4/2017 tarihinde yapılan değişikliği kapsayan BEP yönetmeliği esas alınmıştır.*

- *Merkezi ısıtma sistemi ile ısıtılan binaların bağımsız bölümlerindeki hacimlerinde sıcaklık kontrol ekipmanları ile ısı merkezinde iç ve/veya dış hava sıcaklığına bağlı kontrol ekipmanları kullanılır.*
- *Merkezi ısıtma sistemli binaların bağımsız bölümlerinde sıcaklık kontrol ekipmanlarının kullanılması durumunda, ısıtma tesisatı pompa grupları zamana, basınca veya akışkan debisine göre değişken devirli seçilir.*
- *Merkezi ısıtma sistemine sahip binalarda, merkezi veya lokal ısı veya sıcaklık kontrol cihazları ile ısıtma maliyetlerinin ısı kullanım miktarına bağlı olarak paylaşımını sağlayan sistemler kullanılır.*
- *Yeni yapılacak binaların 500 m³/h ve üzeri hava debili havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde, ısı geri kazanım sistemlerinin tasarımları yapılarak, yaz ve kış çalışma şartlarında minimum %50 verimliliğe sahip olması, ilk yatırım ve işletme masrafları ile birlikte enerji ekonomisi göz önüne alındığında avantajlı olması durumunda ısı geri kazanım sistemleri yapılması zorunludur. Bu sistemler geçiş mevsimleri için by-pass düzeneğine sahip olmalıdır.*
- *Merkezi ısıtma sistemine sahip konut olarak kullanılan binalarda cihazlar, en az gidiş suyu kontrolü ve dış hava kompanzasyonu yapacak otomatik kontrol sistemleri ile donatılır.*
- *Merkezi iklimlendirme sistemi olan binalarda, ayarlanan değerleri kontrol edecek otomatik kontrol sistemi bulunması şarttır.*
- *10.000 m²'nin üzerinde olan ve merkezi ısıtma, soğutma, iklimlendirme sistemi ve aydınlatma sistemleri birlikte bulunan binalarda bilgisayar kontrollü bina otomasyon sistemi tesis edilir.*
- *Sihhi sıcak su tesislerinde kullanılacak olan sirkülasyon pompaları, otomatik çalışmayı sağlayacak ekipmanlarla donatılır.*
- *Yeni yapılacak binalarda aydınlatma, ısıtma, soğutma ve sihhi sıcak su ihtiyacı için kullanılan enerjilerin ayrı ayrı ölçülmesine imkân sağlayacak tasarımlar yapılır ve buna uygun ölçüm ve izleme sistemleri tesis edilir.*

Günümüzde artan enerji tüketimi ve çevresel sorunlar karşısında, yapı enerji verimliliği projeleri büyük bir öneme sahiptir. Bu projeler, binalarda enerji tüketimini azaltmayı ve kaynakların daha verimli kullanılmasını hedeflemektedir. Yapı enerji verimliliği projeleri, izolasyondan aydınlatma sistemlerine, ısıtma ve soğutma sistemlerinden enerji yönetimine kadar birçok alanda etkili çözümler sunmaktadır. Bu sayede, enerji faturalarında önemli tasarruflar sağlanmakta ve çevresel etkiler minimize edilmektedir. Ayrıca, enerji verimli binalar, konforlu bir yaşam alanı sunarak kullanıcılara önemli

avantajlar sağlamaktadır. Yapı enerji verimliliği projeleri, sürdürülebilir bir gelecek için atılan önemli adımlardır ve hem bireysel hem de toplumsal düzeyde büyük faydalar sağlamaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'de yapılan yasal düzenlemeler ve binalarda enerji performansını artırmayı hedefleyen standartlar, enerji verimliliği projelerinin yaygınlaşmasını desteklemektedir.

Ayrıca Yapı Enerji Verimliliği Projelerinin bağlantılı olduğu başlıca alanlar şunlardır:

- Mimarlık ve yapı tasarımı
- İnşaat ve yapı malzemeleri
- Isıtma, soğutma ve havalandırma (HVAC) sistemleri
- Aydınlatma
- Yenilenebilir enerji kaynakları
- Enerji yönetimi ve otomasyon

2.4. İhtiyaç Analizi

Projeye duyulan ihtiyacı ortaya koyan verilerin incelenmesi

Nüfusun artmasıyla çevre kirliliğinin etkileri de gittikçe şiddetlenmektedir. Artan insan popülasyonun çevreye yaptığı tahribat ve sömürü, iklim değişikliğinin etkilerinin ve dolayısıyla küresel ısınmanın da daha şiddetli bir şekilde gözlenmesine sebep olur. Bu noktada enerji verimliliği ve kaynak tüketimi kritik önem taşımaktadır. Yakın zaman içerisinde, aşırı hava koşullarına rağmen sağlıklı mekanlarda yaşamak hedefleniyorsa, bu konuda gerekli önlemlerin ve çözümlerin alınması gerekmektedir.

Lawrence Berkeley çalışmasında, iklim değişikliğinin yüzleştığımız etkilerinin bireylerin sağlığı üzerindeki etkisine baktığında, çocukların, yaşlıların, kalp ve/veya solunum rahatsızlığı çeken bireylerin risk grubunda olduğuna vurgu yapmaktadır. Bu çalışmada değinilen bir diğer konu ise, iyi tasarlanmış ve doğru işletilen binaların sağlık risklerini azaltma konusunda büyük önem taşımasıdır [8]. Enerji yönetim sistemlerinin enerji ithalatı, enerji maliyetlerinin ve sera gazı salınım miktarlarının azaltılması, iklim değişikliğinin şiddetlenen etkilerine uyum gibi birçok sebepten dolayı enerji yönetim sistemlerinin önemi gittikçe artmaktadır.

Proje ile ilgili beklentiler ve paydaşlara sağlanan faydalar ile çözüm getirilen problem ve sıkıntıların tespiti

- Projenin, tedarik sürecindeki aracı kurumlardan kaynaklanan fiyat değişimine etkisinin analiz edilmesi
- Yapı Enerji Verimliliği Projelerinde gerekli teknolojilerinin yaygın kullanımı için gereksinimlerin belirlenmesi

- Yapı Enerji Verimliliği Projelerinde gerekli teknolojilerin uygulanacağı bölgelerde yaşanacak uygulama zorluklarının belirlenmesi

Projenin başarılı olmasını sağlayacak güçlü yönlerin ve başarısızlığa neden olabilecek zayıf yönlerin tespiti

- **Güçlü Yönler**

- Enerji tüketimini ve maliyetlerini azaltması
- İç mahal hava kalitesinin artırılması
- Sera gazı salımlarının azaltılması
- Sistemlerin güvenilirliğini ve etkinliğini artırması
- Sistemlerin bakım ve işletmesini kolaylaştırması
- Arıza tespiti hızlandırması

- **Zayıf Yönler**

- İlk yatırım ve bakım maliyetlerinin bazı durumlarda ekipman fiyatlarına bağlı olarak maliyetli olması
- İşletmesi için kalifiye personel ihtiyacı duyulması
- Veri güvenliğinin istenildiği ölçüde sağlanamaması ihtimali
- Konut enerji yönetim sistemlerinin standartlaştırılmaması

2.5. Talep Analizi

Proje ile üretilecek ürünlere ve/veya sunulacak hizmetlere yönelik mevcut talebin tespiti

Ülkemizde, bina enerji yönetim sistemlerine olan talep, BEP yönetmeliğinin uygulanmaya başlaması ile (konut gibi farklı bina tiplerinde kullanımı) yaygınlaşmış ve artmıştır. Bu talep özellikle pay ölçer ve kalorimetre gibi enerji izleme sistemlerinde öne çıkmaktadır.

Yapı enerji verimliliği projelerine yönelik talep, günümüzde artmaktadır. Bunun sebepleri birden fazladır. Örneğin, enerji verimliliği projeleri, enerji tüketimini azaltarak binaların işletme maliyetlerini düşürmeyi hedeflemektedir. Artan enerji fiyatları ve enerji tasarrufu konusundaki farkındalığın artması, bina sahiplerinin ve işletmecilerinin enerji verimliliği projelerine olan ilgisini artırmaktadır. Öte yandan, İklim değişikliği ve çevresel kaygılar, binaların enerji verimliliğini artırmaya yönelik adımların atılmasını teşvik etmektedir. Sürdürülebilirlik odaklı bina tasarımı ve enerji verimli sistemler, sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve çevresel etkiyi en aza indirmeye yardımcı olmaktadır.

Birçok ülkede hükümetler, enerji verimliliği projelerini teşvik etmek ve desteklemek amacıyla çeşitli politikalar ve teşvikler sunmaktadır. Bu teşvikler, vergi indirimleri, hibe programları, enerji verimliliği

standartları ve sertifikalar gibi çeşitli şekillerde olabilir. Bu da yapı sahiplerini ve işletmecilerini enerji verimliliği projelerine yönlendirebilir.

Enerji verimliliği teknolojilerindeki ilerlemeler, projelerin daha verimli ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Örneğin, akıllı bina yönetim sistemleri, enerji tüketimini izleme, kontrol etme ve optimize etme imkânı sunarak enerji verimliliğini artırmaktadır. Yeni malzemeler, izolasyon teknikleri ve yenilenebilir enerji kaynakları da yapı enerji verimliliği projelerine yönelik talebi artıran faktörlerdir.

Bu sistemlerin kurulması için talebi belirleyen temel etkenler ve göstergeler aşağıda sıralanmaktadır:

- Enerji fiyatları
- Hükümet politikaları ve teşvikler
- Çevresel bilinç ve sürdürülebilirlik
- Teknolojik ilerlemeler
- Geri ödeme süresi
- Enerji performansı değerlendirmeleri

Talebin gelecekteki gelişim potansiyeli ve talep için gelecek öngörülerin tespiti

- Geleceğe yönelik nüfus, ekonomi ve teknoloji öngörülerini dikkate alınarak hesaplamalar yapılır.

3. Teknik Analiz ve Alternatif Teknolojilerin Değerlendirilmesi

Fiziki/Mekânsal Büyüklük

- Fiziki/mekânsal büyüklük projenin gerçekleşeceği binanın büyüklüğüne ve türüne bağlıdır.

Kapasitenin Belirlenmesi

Yapı Enerji Verimliliği Projeleri için kapasitenin belirlenmesindeki kriterler aşağıda verilmiştir:

- Bina Özellikleri:
 - Büyüklük
 - Tip (ticari, konut, endüstriyel, kamu vb.)
 - Kullanım amacı
- Enerji Tüketimi ve Verimlilik Potansiyeli:
 - Mevcut enerji tüketimi
 - Enerji verimliliği iyileştirme potansiyeli
- Finansal Durum ve Bütçe:
 - Proje için ayrılan bütçe

- Finansal kaynaklar ve teşvikler
- İhtiyaçlar ve Hedefler:
 - Enerji tasarrufu hedefleri
 - Sürdürülebilirlik hedefleri
 - İç mekân konforu ve kalitesi hedefleri
- Teknik Altyapı:
 - Mevcut HVAC (Isıtma, Havalandırma, Klima) sistemleri
 - Aydınlatma sistemleri
 - Yalıtım ve izolasyon durumu
- Yasal ve Düzenleyici Şartlar:
 - Yerel ve ulusal enerji verimliliği düzenlemeleri
 - Sertifikasyon ve standartlar
- Proje Ölçeği ve Karmaşıklığı:
 - Projenin büyüklüğü ve kapsamı
 - Teknolojik karmaşıklık

Yapısal Proje Gereksinimleri

Yapı Enerji Verimliliği Projeleri için yapısal proje gereksinimleri şunlardır:

- Gerekli izolasyon ve yalıtımın sağlanması
- Enerji verimli aydınlatma sistemlerinin kurulması
- Isıtma, havalandırma ve klima (HVAC) sistemlerinin enerji verimli bir şekilde kurulması
- Enerjinin yenilenebilir enerji kaynakları aracılığıyla üretilmesi
- Su verimliliğine dikkat edilmesi
- Bina otomasyon sistemleri kurularak sistemlerin birbirine entegre edilmesi
- Yeşil çatı ve bahçeler ile sürdürülebilirliğin desteklenmesi ve yağmur suyu hasadının yapılması

Yazılım ve Donanım Gereksinimleri

Yapı Enerji Verimliliği Projeleri için yazılım ve donanım gereksinimleri şunlardır:

- Enerji yönetim sistemleri (EYS)
- Bina otomasyon sistemleri
- Simülasyon yazılımları
- Enerji veri analizi araçları
- Enerji modelleri
- Akıllı sensörler
- Akıllı termostatlar

- Akıllı aydınlatma kontrol sistemleri
- Enerji izleme cihazları
- Güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri

Alternatif teknolojiler nelerdir? Karşılaştırma yapınız.

Çeşitli teknolojiler mevcut olmasına rağmen konutların iç mahal hava kalitesi parametrelerini (iç hava sıcaklığı, CO₂ seviyesi, VOC seviyesi) uygun standartlara getirmek için uğraşlar gerekmektedir. Örneğin yemek yapılırken camın açılması ile yanma sonucu açığa çıkan gazların bir kısmı ev ortamından dışarıdaki havaya karışabilir ancak bu durumda dışarıdan istenmeyen zararlı partiküllerin, özellikle hava kirliliğinin veya araç trafiğinin yoğun olduğu bölgede yaşayanların konutlarının içerisine zararlı gazların da girmesi ihtimali söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla iç hava kalitesini izlemek amacıyla bazı önlemler alınabilir. Bu önlemler;

- İç mekandaki kirleticilerin dışarı atılması,
- Dış ortamdaki kirleticilerin ev ortamına girişinin engellenmesi ve
- Bu iki eylemi enerji etkin bir biçimde sağlarken iç hava sıcaklıklarını kontrol altında tutmaktır.

İç hava kalitesini kirleten 3 çeşit kaynak vardır ve bunlar aşağıdaki tabloda listelenmektedir:

Tablo 4. İç hava kalitesini etkileyen kirletici kaynakları ve kirleticiler

Kirletici kaynakları	Kirletici maddeler
Dış ortam hava kirleticileri	Karbon monoksit (CO), benzen (C ₆ H ₆), kükürt dioksit (SO ₂), ozon (O ₃), nitrojen oksitleri (NO, NO ₂), partiküller (bina kabuğundan veya havalandırma kanallarından giren)
İç ortam hava kirleticileri	CO ₂ , biyolojik atıklar ve partikül madde (PM)
Bina ile ilgili kirleticiler	Mobilya ve inşaat malzemelerinden kaynaklanan uçucu organikler bileşenler (VVOC, VOC, SVOC), mikrobik kirleticiler (virüs, mantar, bakteri gibi)

Tabloda bahsedilen kirletici maddeler için uluslararası organizasyonlar tarafından belirlenmiş limit değerler aşağıdaki tabloda açıklanmaktadır [3][4]. CO₂, NO₂ gibi kirleticilerin ölçümü için kullanılan sensörler piyasada daha fazla olduğu için fiyatları 1.000 USD'nin altında kalmasına karşın, SO₂, O₃, formaldehit gibi bazı kirleticilerin ise ölçümü için gerekli cihazların ücreti 1.000 ile 20.000 USD arasında değişmektedir [5].

Tablo 5. Kirleticilerin limit değerleri

Kirletici	Önerilen Limit Değer	Referans
Karbon dioksit (CO ₂)	1000 ppm'in altı zararsız	AIR*
	2000 ppm üstü kabul edilebilir değil	
Karbon monoksit (CO)	10 mg/m ³ (8 saat)	AB**, DSÖ***
	7 mg/m ³ (24 saat)	
Benzen (C ₆ H ₆)	5 µg/m ³ (yıllık)	AB**
	Kanserojen içerik – güvenli bir limiti yok	DSÖ***
Formaldehit	0,1 mg/m ³ (30 dakika)	DSÖ***
Nitrojen dioksit (NO ₂)	200 µg/m ³ (1 saat)	DSÖ***
	40 µg/m ³ (yıllık)	
Toplam uçucu organik bileşen (tVOC)	0,3 mg/m ³ altı uygun	AIR*
	3 mg/m ³ üstü uygun değil	
	10 mg/m ³ üstü kabul edilemez	
PM _{2.5}	25 µg/m ³ (yıllık)	AIR*, DSÖ***
Ozon (O ₃)	100 µg/m ³ (8 saat)	DSÖ***
* German Committee on Indoor Guide Values ** Avrupa Birliği *** Dünya Sağlık Örgütü		

Teknoloji seçiminin dayandığı kriterler nelerdir? Açıklayınız.

- 1) Teknoloji yeni mi?
- 2) Teknoloji yerli mi?
- 3) Teknoloji yerli değilse yerleştirilebilir mi?
- 4) Bina ve işletme ihtiyaçları
- 5) Esneklik
- 6) Ölçeklendirme kolaylığı
- 7) Teknik uyum
- 8) Entegrasyon kolaylığı

Teknik tasarım süreçlerini (süreç tasarımı, makine-donanım, inşaat işleri, arazi düzenleme, yerleşim düzeni vb.) açıklayınız.

Projenin zaman planı; proje alanının büyüklüğü, şehrin ihtiyaçları ve öncelikleri, hangi risklere karşı hangi çözümlerin en fazla fayda sağlayacağı gibi birçok etmene göre değişiklik gösterecektir. Projenin başında tüm paydaşları ile yapılacak kapsamlı ve detaylı bir analiz projede kullanılacak ana bileşenleri

ve adetleri belirlemek için gereklidir. Bu analizde ihlallerin hangilerinin daha öncelikli olduğu ve buna karşı alınacak tedbirlerin ne kadar etkili olacağını inceleyerek süreç ve bir uygulama planı çıkarılır.

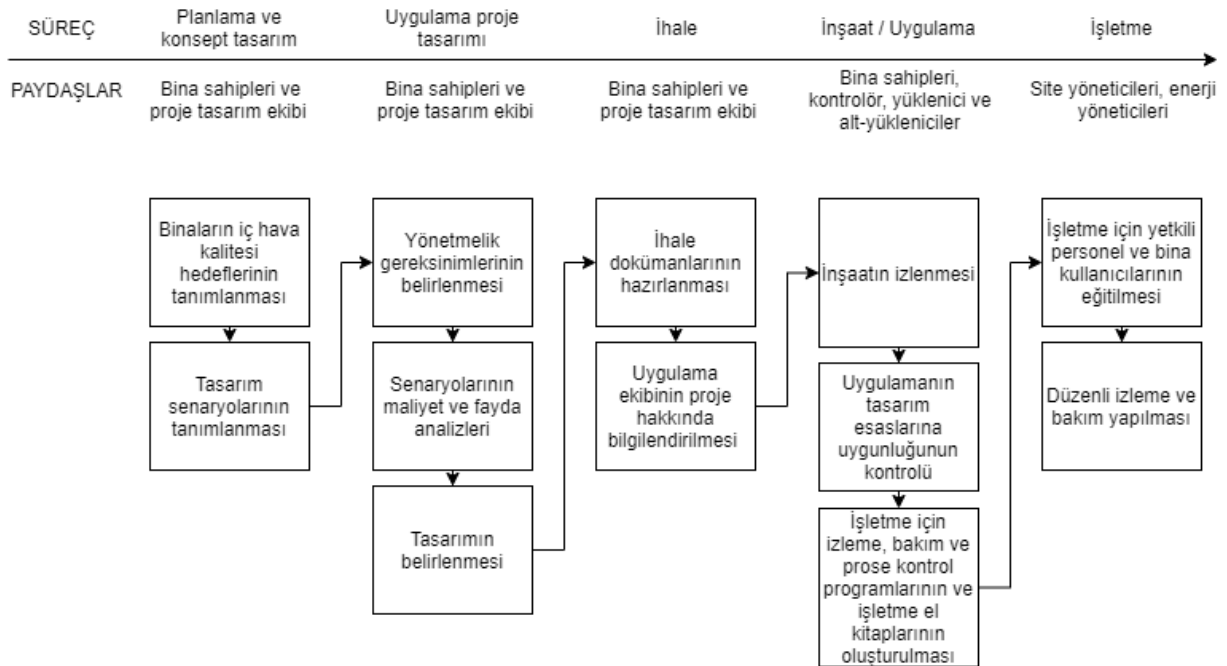
Yapı enerji verimliliği projelerinde kullanılan teknik tasarım süreçleri aşağıdaki gibi olabilir:

- Enerji Analizi:
 - Mevcut enerji tüketimini ve enerji kaynaklarını belirleme
 - Potansiyel enerji tasarrufu alanlarını ve iyileştirme önlemlerini belirleme
 - Enerji verimliliği simülasyonları ve modellemeler yapma
- İç Mekân Konforu ve İklimlendirme Tasarımı:
 - Isıtma, havalandırma ve klima (HVAC) sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonu
 - Termal konforun sağlanması için ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanması
 - İç hava kalitesi ve nem kontrolünün sağlanması
- Aydınlatma Tasarımı:
 - Yüksek verimlilikte aydınlatma armatürlerinin seçimi
 - Doğal aydınlatmanın optimize edilmesi için aydınlatma kontrol stratejilerinin belirlenmesi
 - Aydınlatma düzeyi hesaplamaları ve simülasyonları
- Yalıtım ve Bina Kabuğu Tasarımı:
 - İyi yalıtım malzemelerinin ve sistemlerinin seçimi
 - Hava sızdırmazlığı ve ısı köprülerinin azaltılması
 - Enerji kayıplarını en aza indiren bina kabuğu tasarımı
- Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu:
 - Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi veya jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu
 - Güneş panelleri veya rüzgâr türbinlerinin optimum konumlandırılması
 - Enerji üretimi ve kullanımının senkronize edilmesi
- Su Verimliliği Tasarımı:
 - Su tasarrufu sağlayan armatürlerin ve sistemlerin kullanımı
 - Gri su geri kazanımı ve yağmur suyu toplama sistemlerinin entegrasyonu
 - Sulama sistemlerinin su kullanımını optimize etmesi
- Bina Otomasyon Sistemleri (BOS):
 - HVAC, aydınlatma, güvenlik gibi altyapı sistemlerinin otomasyonu ve entegrasyonu
 - Sensörlerin ve kontrol cihazlarının yerleştirilmesi ve konumlandırılması
 - Enerji yönetimi ve izleme sistemlerinin kurulumu ve programlanması

Bu süreçler, yapı enerji verimliliği projelerinde teknik tasarımın ana adımlarını içermektedir. Her adım, projenin özelliklerine ve hedeflerine göre özelleştirilebilir ve detaylandırılabilir.

Bunlara ek olarak, projelerin tasarım öncesi, tasarım, uygulama ve devreye alma süreçleri için de ayrıyeten bir zaman planı bulunmaktadır. Tasarım öncesi süreç için 1 ay tanımlanabilir. Bu çalışmalar proje sahibinin ihtiyaçlarının tanımlanması, projenin sağlık ve konfor hedeflerinin belirlenmesi, uygulama bütçesinin belirlenmesi, tasarım senaryolarının tanımlanması ve ön tasarım süreçlerini kapsar. Ardından 2. ve 3. ayı kapsayacak tasarım süreci başlamalıdır. Bu aşamada tasarım seçeneklerinin analizleri ve maliyet tasarruflarının değerlendirilmesi, tasarım kararlarının tanımlanması, nihai tasarımının geliştirilmesi, şartnamelerin ve ihale dokümanlarının hazırlanması süreçleri halledilmelidir. Projenin uygulama/inşaat aşamasında binanın kaba ve ince inşaatının tamamlanması süreçleri tanımlanmıştır ve bu süreç 4. aydan 10. aya kadar sürebilir. Projenin son aşaması projenin devralınması sürecidir. Bu aşamada sensör ve iletişim ağlarının entegrasyonu, sensörlerin konfigürasyon ve kalibrasyonlarının yapılması, son olarak ekipman ve yazılım testlerinin yapılmasıyla proje süreci sona erer. Projenin son fazı 9. ayda başlayarak 12. ayda sona erer. Tüm proje için 12 aylık bir zaman dilimi tanımlanmaktadır.

Projenin paydaşlarla beraber yönetilecek süreci aşağıda verilmektedir:



Şekil 1. İç hava kalitesi ve enerji yönetimi sistemleri için önerilen yol haritası

4. Finansal Analiz

İç ortam kalitesinin sensörler aracılığıyla izlenmesinin doğrudan bir finansal faydası bulunmamaktadır, ancak bu iç hava sensörleri, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin yönetiminde karar destek aracı olarak kullanıldığında enerji verimliliğini artırarak dolaylı olarak finansal fayda sağlayabilir.

Beaudin ve Zareipour tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada, 36 farklı enerji yönetim sistemi çalışması incelenmiş ve enerji tüketimi maliyetinde %4 ila %80 arasında azalma olduğu görülmüştür. Bu farklılık, enerji yönetim sistemlerinin kapsamının ve özelliklerinin büyük ölçüde değişebilmesinden kaynaklanmaktadır. İncelenen verilere göre, enerji tüketimi maliyetinde ortalama %23,1 azalma gözlemlenmiştir [9].

Bunun yanı sıra, evlerin iç hava kalitesini bireysel olarak izleyebilen (merkezi bir sistemle iletişim kurmadan) birçok paket ürün bulunmaktadır. Ancak bu ürünler, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleriyle iletişim halinde değildir ve sadece manuel olarak karar destek sağlayabilirler. Otomatik ve sürekli kontrol imkânı sunmadıkları için bu ürünlerin faydası sınırlı olmaktadır. Düşük maliyetli bazı ürünlerin özellikleri ve fiyatları Tablo 6'da karşılaştırılmaktadır [10][11]. Bu tabloya göre, sensör paketi başına maliyetler 76 ile 181 USD arasında değişmektedir.

Tablo 6. Evler için iç hava kalitesinin izlenmesini sağlayan düşük maliyetli bireysel sensör paketlerinin karşılaştırılması

Ürün	Air Mentor Pro 8096-AP	Awair AW6404	Dylos DC1100 Pro	Foobot FBT002100	Netatmo NWS01-EU	Speck 2.0 SPK18TH
Maliyeti (USD)	99,15	93,64	181,78	98,60	76,57	99,15
Maliyeti (TL)*	2.347,94	2.217,36	4.304,55	2.334,88	1.813,13	2.347,94
Sıcaklık	-20 – 80°C	-40 – 125°C	-	-40 – 125°C	0 – 50°C	Var
	± 0,1°C	± 0,3°C		± 0,4°C	± 0,3°C	
Bağıl Nem	0 – 100 %RH	0 – 95 %RH	-	0 – 100 %RH	0 – 100 %RH	Var
	± 1 %RH	± 3 %RH		± 4 %RH	± 3 %RH	
CO ₂	400 – 2000 ppm ± 1,0 ppm	0 – 4000 ppm	-	400 – 6000 ppm ± 1,0 ppm	0 – 5000 ppm	-
		± 75 ppm			± 50 ppm	
tVOC	125 – 3500 ppb ± 1,0 ppb	Var	-	125 – 1000 ppb ± 1,0 ppb	-	-
PM _{2.5}	0 – 300 µg/m ³	0 – 500 µg/m ³	Var	0 – 1300 µg/m ³ ± 4 µg/m ³		0 – 640 µg/m ³
	± 1 µg/m ³					
Kayıt frekansı	1 dakika	5 dakika	1 dakika	5 dakika	5 dakika	5 saniye – 4 dakika

*16.06.2023 günü saat 11:42'de belirlenen gösterge niteliğindeki Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası kurlarına göre 23,68 USD/TRY döviz kuru kullanılmıştır.

Örnek Vaka:

İhtiyaç analizi kapsamında **1000 hektarlık, 65.000 konut bulunan ve 200.000 kişinin** yaşayacağı varsayılan proje alanında aşağıdaki maliyetler söz konusu olmaktadır:

Tablo 7'de örnek bir maliyet analizi sunulmaktadır. İlk yatırım maliyeti ve enerji tüketimi tasarrufu belirsizlikleri yüksek olduğundan, doğru tahminler için sistemin detaylı tasarımının yapılması gerekmektedir. Bu örnek hesaplamada kullanılan varsayımların büyük ölçüde değişebileceği unutulmamalıdır.

Tablo 7. Örnek bir maliyet analizi

Tahmini daire sayısı	adet	65.000
Konut İnşaat Alanı	m ²	5.314.867
Sensör tipleri	-	Sıcaklık, nem, CO ₂ , VOC ve PM
Daire başına düşen İHK sensörü	adet	2 adet (mutfak ve salon mahalleri kullanılabilir)
Tahmini daire başına ekipman maliyet	USD/daire	\$274,35
Tahmini daire başına kurulum maliyeti	USD/daire	\$41,15
Tahmini yazılım geliştirme maliyeti	USD	\$164.609,05
Tahmini toplam yatırım maliyeti	USD	\$16.359.890,26
Tahmini bakım/işletme maliyeti	USD/yıl	\$490.796,71

*Bu hesaplamalar, raporun baz alındığı çalışma olan TÜBİTAK – TÜSSİDE'nin Şubat 2021 tarihli Esenler Belediyesi Akıllı Şehir Uygulamaları Fizibilite Projesi, Yapı Enerji Verimliliği Uygulaması Ön Fizibilite Raporu'nda belirlenen gösterge niteliğindeki Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası kurlarına göre 2021 yılı şubat ayı 7,29 USD/TRY döviz kuru baz alınarak yapılmıştır.

5. Ekonomik Analiz

Yapı Enerji Verimliliği Projeleri iç mekân kalitesinin izlenmesi ve izlenen verilere dayalı olarak sağlıklı ortamların oluşturulması, insan sağlığını ve konforunu artırma açısından büyük öneme sahiptir. Bunun yanı sıra, izleme ve yönetim sistemlerinin enerji tüketimi maliyetlerinde tasarruf sağlaması, finansal katkılar sunar. Ayrıca, aşağıdaki faydalar da sıralanabilir:

- Yapı enerji verimliliği projeleri, mekanik ve elektrik tesisat sistemlerindeki arızaları erken tespit etme imkânı sağlamaktadır.
- Kullanıcılar, yapıdaki sistemler ve çalıştırılması hakkında bilgi sahibi olarak görünürlük ve şeffaflığı artırmaktadır. Bu da enerji tüketiminde adil gider paylaşımını sağlamaktadır.

- İç hava kalitesi için geliştirilen sensör ağlarının konut binalarında yaygınlaşması ve evlerin ofis olarak kullanımının artması, konut sensör ağlarının pazara girişini hızlandırmaktadır.
- İnternet tabanlı bulut bilişim uygulamalarındaki büyüme, düşük maliyetli enerji veri depolama, görüntüleme ve analiz imkânı sunmaktadır.

6. Sosyal Etkinin Analizi

Yapıların enerji verimliliğini sağlamak ve iyileştirmek için izleme yöntemleri kullanılarak, yapılan enerji yatırımının faydaları daha görünür hale getirilebilir. Bu yaklaşım, enerji etkin yapıların bilincinin oluşturulmasına ve iyileşme faktörlerinin farkındalığının geliştirilmesine yardımcı olur. Ayrıca, konforun artmasıyla birlikte tüketim maliyetleri daha adil bir şekilde dağıtılabilir.

Galler'de yapılan bir araştırma, enerji verimli yenileme geçirmiş ve geçirmemiş konutlarda yaşayan 782 kullanıcının görüşlerine dayanarak enerji verimliliğinin sosyal etkilerine dair önemli bulgular sunmaktadır [12]. Enerji etkin yapılarında yaşayan bireyler, genel sağlık ve iyilik durumları, finansal zorluklarla karşılaşma yoğunluğu, konfor seviyeleri, evlerinden memnuniyetleri ve misafir ağırlama istekleri gibi konularda daha olumlu sonuçlar bildirmişlerdir. Bu da göstermektedir ki, enerji verimliliği sayesinde yapıların performansı ve kalitesi artarken, aynı zamanda sahiplenme duygusu ve yaşanılan çevreye olan memnuniyet de güçlenmektedir.

Enerji verimliliği izlenmesiyle, kullanılmayan cihazlar ve alanların enerji tüketimi gibi farkındalık unsurları elde edilebilir. Araştırmalar, yapı sektöründe enerji kullanımıyla ilgili ayırt edici bir özelliğin, kullanıcının olmadığı durumlarda bile enerji tüketimi olabilmesi olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, beklemede çalışan cihazlar ve kullanılmadığı halde açık bırakılan elektronik aletler gibi durumlar buna örnek verilebilir. Ayrıca, kullanıcılar farklı sıcaklık tercihleri ve güneş kaynaklı ısı kazanımını engellemek yerine soğutma sistemini artırma gibi davranışlara yönelebilir. Enerji verimliliği yönetimi ve sonuçların kullanıcıya sunulması, bu tür tercih ve davranışların dönüşümü için somut bir temel oluşturur. Ayrıca, kullanıcıların enerji tasarrufu davranışları desteklenir ve adil bir maliyet paylaşımı sağlanabilir. Bu sosyal dönüşüm, enerji etkin olmayan diğer yapılar için de kullanıcılar tarafından benimsenebilir ve aktarılabilir.

Kullanıcı davranışının veri ve geri bildirimlerle değiştirilmesine "ikna edici teknoloji" (persuasive technology) denir ve akıllı ev sistemlerinin temel işlevlerinden biridir [13]. Bu sistemler, canlı veri akışı sağlayarak performans göstergelerini sunabilir ve geleceğe yönelik kullanım senaryoları için tahminlerde bulunabilir, böylece enerji verimliliği bilincinin sosyal dönüşümünü kolaylaştırabilir. Bu teknolojiler sosyal programlarla birlikte kullanılabilir. Örneğin, ısıtma talebini azaltmaya yönelik kontrollerin "oyunlaştırılarak" sunulmasıyla kullanıcının daha dikkatli bir şekilde veriyi kullanması ve

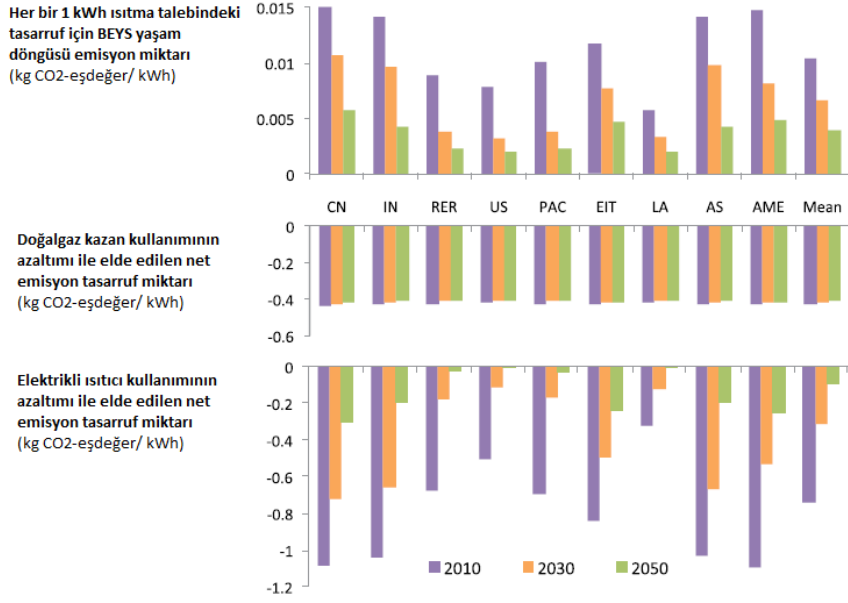
çevresiyle karşılaştırarak takip etmesi sağlanabilir. Bu çalışmalar, mevcut enerji verimliliğine sahip konutlarda "enerji tasarrufu oyunu"yla tetiklenen davranışın %5 ila %15 arasında ek tasarruf sağlayabileceğini göstermiştir [14]. İzlemeyle elde edilen bu sosyal davranış, fiziksel altyapının değişmesine ek kazanımlar sağlayabilir.

Araştırmalar, enerji yönetimi ve verimliliğin izlenmesinin çevre dostu bir yapı sektöründe sosyal dönüşümü teşvik etme gücünü ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bu sistemlerin benimsenmesinde bazı engeller ve algılar bulunmaktadır. Akıllı ev sistemleri ve izleme fikri, sonuçların güvenilirliği ve güvenlik açısından bazı endişelere neden olabilir. Sistemlerin kullanıcı dostu, anlaşılır, kullanıcının yaşam tarzına uyum sağlayabilen, kullanıcı tercihlerini ve inisiyatifini engellemeyen bir kontrol alanı sağlayan ve erişilebilir olması gerekmektedir [15]. Benimsenebilir sistemler sağlandığında, enerji verimliliğinde sosyal etkenlerin yönetilmesinde enerji izleme ve yönetimi en önemli araçlardan biri olacaktır.

7. Çevresel Etkinin Analizi

Bina enerji yönetim sistem teknolojileri, binalarda enerji verimliliği önlemleriyle birlikte uygulandığında enerji tüketimini ve sera gazı salınımını azaltmaktadır.

Bir çalışmada, 100 m²'lik bir konut örneği üzerinden bina enerji yönetim sistemlerinin çevresel etkileri değerlendirilmiş ve yaşam döngüsü analizi yapılmıştır. Bu analizde, bu sistemlerin üretim ve kullanım süreçlerinin yanı sıra iklim değişikliği, fosil tüketimi, ozon tükenmesi, su tüketimi, insan zehirlenmesi, içilebilir su eko toksisitesi gibi çevresel göstergeler açısından değerlendirilmiştir. Sistemlerin küresel etkileri, 9 farklı bölge ve 2010, 2030 ve 2050 yılları için 3 farklı senaryo olarak hesaplanmış ve bina enerji yönetim sistemlerinin küresel enerji ve sera gazı salımında tasarruf potansiyeline etkileri incelenmiştir [10]. Çalışmanın sonuçlarına göre, Avrupa'daki 100 m²'lik bir konutta bina enerji yönetim sistemlerinin kullanımıyla yıllık sera gazı salımı 2050 yılında yaklaşık %75 azalmaktadır. Bina enerji yönetim sistemlerinin sera gazı salımını azaltma potansiyeli, üretim ve kullanım süreçlerinden kaynaklanan sera gazı salımıyla karşılaştırıldığında önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Şekil 2'de, bina enerji yönetim sistemlerinin ısıtma talebinde tasarruf edilen her 1 kWh enerji için yaşam döngüsü boyunca oluşturduğu sera gazı emisyon miktarı ve konveksiyonel ısıtma sistemlerinin (doğal gaz kazanı ve elektrikli ısıtıcı) kullanımıyla sağlanan dolaylı emisyon tasarrufları, 9 farklı bölge ve 3 farklı senaryo için belirtilmiştir [10].



Şekil 2. Bina enerji yönetim sistemi (BEYS) yaşam döngüsü emisyon miktarları ve ısıtma sistem kullanımının azalması ile elde edilen net emisyon tasarruf miktarları [2]

8. Risk Analizi

Enerji verimliliği projelerinin maliyetlerinde dalgalanmalar yaşanabilir. Bu dalgalanmaların nedenleri arasında enflasyona bağlı maliyet artışları, teknoloji gelişmelerinden kaynaklı maliyet düşüşleri ve detay tasarımdaki ölçek farklılıkları yer alabilir.

Sensör, elektronik ve yazılım teknolojileri sürekli olarak gelişen sektörlerdir ve bu nedenle maliyetlerinde önemli değişiklikler olabilir. Hem yerel pazarda hem de uluslararası pazarda maliyetlerde büyük farklılıklar görülebilir. Ayrıca, sensör ve ekipmanların özellikleri, kullanılan iletişim protokolleri, ağ geçidi özellikleri ve menşei ülkeler gibi faktörler, ilk yatırım maliyetlerinde yüksek oranda değişikliklere neden olabilir.

Bu nedenle, enerji verimliliği projeleri planlanırken maliyetlerin dalgalanabileceği ve bu dalgalanmaların dikkate alınması gerektiği önemlidir. Proje sahipleri ve yatırımcılar, maliyetlerin zaman içinde nasıl değişebileceğini takip etmeli ve buna göre stratejilerini ayarlamalıdır. Ayrıca, farklı tedarikçiler arasında fiyat ve özellik karşılaştırması yaparak en uygun seçenekleri belirlemek önemlidir.

9. Genel Değerlendirme ve Sonuç

Bu proje, bina kullanıcılarının sağlığı ve konforu üzerinde en büyük faydayı sağlamaktadır. Ayrıca, enerji yönetimine karar destek sağlayarak enerji tüketimini azaltmaya yardımcı olur.

Bu raporun sonuçlarından aşağıdaki önermeler çıkarılabilir:

- Yapı enerji verimliliği değerlendirildiğinde, insanların sağlıklı ve konforlu bir iç hava kalitesine sahip olması en önemli faktördür.
- Özellikle yeni inşa edilen konut binalarında, iç hava kalitesine özen gösterilmelidir. Bunun için kullanıcıların iç hava kalitesi hakkında bilgilendirilmeleri, anlık verileri takip edebilmeleri ve bu verilere göre otomatik mekanik havalandırma sistemlerinin sağlanması önerilmektedir.

Bu şekilde, enerji verimliliği projeleri kullanıcıların sağlık ve konforunu ön planda tutarak enerji tüketimini optimize etmeyi hedefler. Bu da hem kullanıcılara daha iyi yaşam koşulları sunar hem de enerji tasarrufu sağlar.

10. Kaynakça

- [1] J, M., & Horne, R. B. (2011). Life cycle cost implications of energy efficiency measures in new residential buildings. *Energy and Buildings*, 43(4), 915–924.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.013>
- [2] TÜBİTAK- TÜSSİDE. (Şubat 2021). Esenler Belediyesi Akıllı Şehir Uygulamaları Fizibilite Projesi. Yapı Enerji Verimliliği Uygulaması Ön Fizibilite Raporu.
- [3] Schieweck, A., Uhde, E., Salthammer, T., Salthammer, L. C., Morawska, L., Mazaheri, M., & Kumar, P. S. (2018). Smart homes and the control of indoor air quality. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 94, 705–718. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.057>
- [4] Kumar, P. S., Skouloudis, A. N., Bell, M., Viana, M., Carotta, M., Biskos, G., & Morawska, L. (2016). Real-time sensors for indoor air monitoring and challenges ahead in deploying them to urban buildings. *Science of the Total Environment*, 560–561, 150–159.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.032>
- [5] Won, D., & Yang, W. (2005). The State-of-the-Art in sensor technology for Demand-Controlled ventilation. *ResearchGate*, IRC-RR-243.
https://www.researchgate.net/publication/44072354_The_State-of-the-Art_in_Sensor_Technology_for_Demand-Controlled_Ventilation_PERD_S5-42_Final_Report

- [6] Hulla & Co Human Dynamics KG. (2020). *Faaliyet 2.3 Binalar Sektörü için Sektörel Etki Analizi*. Ankara: Düşük Karbonlu Kalkınma İçin Çözümsel Tabanlı Strateji ve Eylem Geliştirilmesi Teknik Destek Projesi.
- [7] (05.12.2008). *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği*. Resmî Gazete Sayısı: 27075.
- [8] Fisk, W. J. (2015). Review of some effects of climate change on indoor environmental quality and health and associated no-regrets mitigation measures. *Building and Environment*, 86, 70-80.
- [9] Beaudin, M., & Zareipour, H. (2015). Home energy management systems: A review of modelling and complexity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 318-335.
- [10] Beucker, S., Bergesen, J., & Gibon, T. (2015). Building Energy Management Systems: Global Potentials and Environmental Implications of Deployment. *Journal of Industrial Ecology*.
- [11] Moreno-Rangel, A., Sharpe, T., Musau, F., & McGill, G. (2018). Field evaluation of a low-cost indoor air quality monitor to quantify exposure to pollutants in residential environments. *Journal of Sensors and Sensor Systems*.
- [12] Poortinga, G. E. (2016). Short-term health and social impacts of energy-efficiency investments in low-income communities: a controlled field study. *The Lancet*.
- [13] Fabi, V., Spigliantini, G., & Corgnati, S. (2017). Insights on Smart Home Concept and Occupants' Interaction with Building Controls. *Energy Procedia*, 111, 759-769.
- [14] Nestle, D., Appen, J. v., & Dörre, E. (2019). Social Energy Management for Energy Efficient Building Operation. *European Council for an Energy-Efficient Economy*.
- [15] Balta-Ozkan, N., Davidson, R., Bicket, M., & Whitmarsh, L. (2013). Social barriers to the adoption of smart homes. *Energy Policy*(63), 363–374.