



COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Akıllı Şehir Rehberlik Uygulamaları Projesi

YENİLENEBİLİR ENERJİ UYGULAMALARI

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.

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

YENİLENEBİLİR ENERJİ UYGULAMALARI REHBERLİK KILAVUZU

Bu kılavuz, akıllı şehir uygulamalarından olan “Yenilenebilir Enerji Uygulamaları” 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

Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, şehirlerin içinde uygulanabilecek alternatif ve Yenilenebilir Enerji Uygulamalarını kapsamaktadır. Çalışmada dünya ve Türkiye için çeşitli örnekler incelenmekte, sınıflandırılarak analiz edilmektedir. Örnek vaka ve fizibilitesi için çatı üstü kurulu fotovoltaik güneş enerjisi üretim sistemleri değerlendirilmekte, projenin finansal analizleri buna göre açıklanmaktadır.

Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, akıllı şehirlerde kullanılan önemli bir bileşendir. Bu uygulamalar, şehirlerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için doğal kaynaklardan elde edilen enerjiyi kullanmayı hedefler. Yenilenebilir enerji kaynakları, sürekli olarak yenilenebilir veya geri dönüştürülebilir olan kaynaklardır. Bu kaynaklar arasında güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle gibi doğal enerji kaynakları bulunur. Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, bu kaynakları kullanarak enerji üretimini ve tüketimini optimize etmeyi amaçlar.

Akıllı şehirlerde Yenilenebilir Enerji Uygulamaları çeşitli şekillerde gerçekleşebilir. Akıllı şebeke sistemleri toplanan yenilenebilir enerjinin daha etkili ve verimli bir biçimde dağılımını sağlamaktadır. Aynı zamanda bu proje kapsamında çeşitli depolama sistemleri de kullanılmaktadır. Bu rehberlik kılavuzu, yalnızca çatı üstü kurulu fotovoltaik güneş enerjisi panelleri aracılığıyla elde edilen sistemlerin hesaplamalarını kapsamaktadır.

1.1. Projenin Adı, Uygulama Yeri ve Süresi

- Yenilenebilir Enerji Uygulamaları projesinin 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 | Yenilenebilir Enerji Uygulamaları Projesi |
| Uygulama Alanı | 1000 Ha yerleşim alanı – 200.000 kişi |
| Proje Süresi | Proje süresi uygulamanın yapılacağı alandaki yapı sayısına ve kurulacak fotovoltaik panel altyapısına göre değişiklik gösterebilmektedir. |
| 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

Yenilenebilir Enerji Uygulamaları projesinin teknik bileşenleri şu şekildedir:

- **Yenilenebilir Enerji Kaynakları:** Güneş enerjisi panelleri, rüzgâr türbinleri, hidroelektrik santralleri, jeotermal enerji sistemleri ve biyokütle tesisleri gibi yenilenebilir enerji kaynakları, enerji üretimi için kullanılır.
- **Sensörler ve Veri Toplama Sistemleri:** Akıllı şehirlerde, enerji üretimi ve tüketimiyle ilgili verileri toplamak için sensörler kullanılır. Bu sensörler, güneşin parlaklığı, rüzgâr hızı, enerji tüketimi vb. gibi verileri ölçer ve toplar. Bu veriler, enerji üretimi ve tüketimiyle ilgili kararlar almak ve optimize etmek için kullanılır.
- **Akıllı Şebeke Sistemleri:** Yenilenebilir enerji kaynaklarının yönetimi için akıllı şebeke sistemleri kullanılır. Bu sistemler, enerji üretimini, dağıtımını ve tüketimini optimize etmek için otomatik kontrol ve izleme sağlar. Akıllı şebeke sistemleri, enerji taleplerini tahmin eder, enerji depolama sistemlerini yönetir ve enerji ağını yönlendirir.
- **Enerji Depolama Sistemleri:** Yenilenebilir enerji kaynaklarının değişken doğası nedeniyle enerji depolama sistemleri kullanılır. Bu sistemler, enerjinin fazla olduğu dönemlerde depolanmasını ve enerji ihtiyacının olduğu dönemlerde kullanılmasını sağlar. Örneğin, lityum-iyon piller, aküler veya hidrojen depolama sistemleri, enerji depolama için kullanılabilir.
- **Akıllı Binalar ve Altyapılar:** Akıllı şehirlerde, enerji verimliliğini artırmak için binalarda ve altyapılarda akıllı sistemler kullanılır. Bunlar arasında enerji yönetim sistemleri, akıllı aydınlatma sistemleri, akıllı termostatlar, enerji geri kazanımı sistemleri ve yüksek verimli izolasyon malzemeleri yer alır.

- **Veri Analitiği ve Yönetim Sistemleri:** Yenilenebilir Enerji Uygulamalarında veri analitiği ve yönetim sistemleri, toplanan verilerin analiz edilmesi, enerji tüketimi trendlerinin belirlenmesi ve enerji verimliliğinin artırılması için kullanılır. Bu sistemler, enerji kullanımını izler, enerji tasarrufu potansiyelini belirler ve enerji yönetiminde karar destek sağlar.

1.3. Proje Girdileri

Yenilenebilir Enerji Uygulamaları için proje girdileri şunlardır:

- Yenilenebilir enerji kaynakları (güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle vb.).
- Arazi ve alan analizi
- İklim ve hava koşulları analizi
- Enerji talebi analizi
- Proje bütçesi ve finansman kaynakları
- Teknik gereksinimler (teknoloji seçimi, enerji üretim kapasitesi, sistem tasarımı vb.)
- Enerji depolama sistemleri gereksinimleri
- Elektrik şebekesi entegrasyonu gereksinimleri
- İşletme ve bakım gereksinimleri
- Yerel düzenlemeler ve mevzuatlar
- Çevresel etki değerlendirmesi ve sürdürülebilirlik analizi
- Toplumsal kabul ve yerel paydaşlarla iletişim stratejisi
- Proje zaman çizelgesi ve kaynak planlaması
- Risk analizi ve yönetimi
- İşgücü ve yetkinlik gereksinimleri

1.4. Beklenen Çıktılar

Yenilenebilir Enerji Uygulamaları kapsamında beklenen çıktılar:

- Yenilenebilir enerji üretimi
- Enerji tasarrufu sağlanması
- Çevresel etkilerin azaltılması
- İstihdam yaratılması
- Enerji güvenliğinin artırılması
- Enerji maliyetlerinin düşürülmesi
- Sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi
- Elektrik şebekesi stabilitesinin iyileştirilmesi

- Enerji bağımsızlığının sağlanması
- Yerel ekonomiye katkı sağlanması
- Yeşil imaj ve marka değerinin artırılması
- Toplumun bilinçlendirilmesi ve enerji farkındalığının artırılması
- Teknolojik ve yenilikçi çözümlerin geliştirilmesi
- Enerji verimliliğinin artırılması
- Sosyal ve çevresel faydaların sağlanması

1.5. Projenin Performans Göstergeleri

Bu rehberlik kılavuzunda açıklanan Yenilenebilir Enerji Uygulamaları projesinin amacı, konut bölgelerinde alternatif ve Yenilenebilir Enerji Uygulamalarına odaklanarak akıllı enerji yönetimi farkındalığını artırmak için bir pilot kurulum gerçekleştirmektir. Hedef, konutlardaki ortak alanların enerji tüketiminin tamamını karşılayabilecek bir çatı üstü fotovoltaik güneş enerjisi üretim sisteminin fizibilitesini ve ön tasarımını yapmaktır. Bu tasarım, farklı işletim durumlarını da dikkate alarak gerçekleştirilecektir. Performans göstergesi ise, kurulum bölgesindeki ortak alanlarda yıllık enerji tüketiminin en az %90'ının kurulacak yenilenebilir enerji tabanlı üretim sistemi tarafından karşılanmasıdır.

2. Proje Kapsamı ve Gerekçe

2.1. Proje Kapsamı

Her yenilenebilir enerji projesi, kendi özelliklerine ve amaçlarına göre farklı bir kapsama sahip olabilir. Yenilenebilir Enerji Uygulamaları projenin amacının belirlenmesini, projede yapılacak olan faaliyetleri, teknik ve teknolojik ile finansal ve ekonomik unsurları içermektedir. Aynı zamanda bu projenin doğuracağı çevresel ve sosyal sonuçların da dikkate alınması gerekliliği önemlidir. Son aşamada proje süresi ve ilerleme takvimi üzerinden süreç izlenmelidir. Aşağıda diğer projenin kapsamını oluşturan adımlara daha detaylı bir biçimde yer verilmektedir.

Yenilenebilir Enerji Uygulamalarının temel hedefi ve amaçları belirlenir. Bu, enerji üretimini artırmak, enerji verimliliğini sağlamak, çevresel etkileri azaltmak veya enerji maliyetlerini düşürmek gibi hedeflerden oluşabilir. Ardından proje kapsamında gerçekleştirilecek faaliyetler tanımlanır. Bu, güneş enerjisi panellerinin kurulumu, rüzgâr türbinlerinin inşası, hidroelektrik santral yapımı veya enerji depolama sistemlerinin entegrasyonu gibi çeşitli adımları içerebilir. Bir sonraki aşamada, Yenilenebilir Enerji Uygulamalarında kullanılacak teknik ve teknolojik unsurlar belirlenir. Bu, güneş enerjisi panelleri, rüzgâr türbinleri, hidroelektrik ekipmanları, enerji depolama sistemleri ve akıllı şebeke teknolojileri gibi

bileşenleri içerebilir. Proje kapsamında, finansman kaynakları, maliyet tahminleri ve geri dönüş süresi gibi finansal ve ekonomik unsurlar da değerlendirilir. Proje sürdürülebilirliği ve ekonomik değeri dikkate alınır. Daha sonra, Yenilenebilir Enerji Uygulamalarının çevresel ve sosyal etkileri değerlendirilir. Proje kapsamında, çevresel sürdürülebilirlik, karbon ayak izi azaltma, istihdam yaratma, yerel topluluklarla etkileşim ve katılım gibi faktörler ele alınır. Son adımda projenin süresi ve ilerleme takvimi belirlenir. Bu, projenin başlangıç ve bitiş tarihlerini, aşamalarını ve önemli kilometre taşlarını içerir.

Yenilenebilir Enerji Uygulamalarının proje kapsamı, projenin özelliklerine ve hedeflerine göre değişebilmektedir. Projenin öncelikleri, yerel gereksinimler, kaynaklar ve teknolojik imkânlar, projenin kapsamını şekillendirmektedir.

2.2. Proje Gerekçesi

Yenilenebilir Enerji Uygulamaları projesinin yapılma gerekçeleri, enerji dönüşümü, çevresel koruma, ekonomik faydalar ve enerji güvenliği gibi geniş bir perspektiften ele alınır. Bu proje, sürdürülebilir bir enerji altyapısı oluşturmayı, iklim değişikliğiyle mücadele etmeyi ve enerji sektöründe daha güvenli ve temiz bir gelecek yaratmayı hedefler.

Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, çevresel etkileri azaltarak daha sürdürülebilir bir enerji üretimi sağlamaktadır. Fosil yakıtların kullanımını azaltarak sera gazı emisyonlarını düşürmekte ve iklim değişikliği ile mücadeleye katkıda bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, yerel kaynaklardan temin edildiği için enerji güvenliğini artırmaktadır. Ülkenin dışa bağımlılığını azaltmakta ve enerji arzında istikrar sağlamaktadır. Ayrıca bu uygulamalar, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaktadır. Bu, enerji tedarikini çeşitlendirir ve enerji fiyatlarındaki dalgalanmalara karşı dirençli bir enerji altyapısı oluşturur. Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, uzun vadede enerji maliyetlerini düşürmeye yardımcı olmaktadır. Güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, işletme maliyetleri açısından rekabetçi bir seçenek haline gelmektedir. Ayrıca, yeşil iş alanında istihdam fırsatları yaratmaktadır. Yenilenebilir enerji sektöründe çalışanlar için yeni iş imkânları sağlamak ve yerel ekonomilere katkıda bulunmaktadır. Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesini teşvik etmektedir. Bu, araştırma ve geliştirmeye yönelik yeni fırsatlar yaratmakta ve enerji sektöründe teknolojik ilerlemeyi hızlandırmaktadır. Ek olarak, hava ve su kirliliğini azaltarak çevre sağlığını korumaktadır. Fosil yakıtların kullanımının azalmasıyla birlikte, hava kalitesi iyileşir ve insanların yaşam kalitesi artar.

Amaçlar:

- Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltılması

- Enerji üretiminin sürdürülebilir hale getirilmesi
- Sera gazı emisyonlarını azaltarak iklim değişikliğiyle mücadele edilmesi
- Enerji güvenliğinin artırılması
- Enerji verimliliğinin artırılması
- Üretilen yeni projelerle yeşil iş alanlarında istihdamın artırılması
- Yerel ekonomiye katkı sağlanması
- Yenilenebilir enerji ve fosil yakıtlar konusunda halkın bilincinin artırılması

2.3. Mevcut Durum

Proje konusu ile ilgili dünyada mevcut durumun tespiti

- Yenilenebilir Enerji Uygulamalarına 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 Yenilenebilir Enerji Uygulamaları incelenir.
- Proje için gerek duyulan alanlarda hizmet alınabilecek firmalar belirlenir.

Daha önce yapılan çalışmaların başarı-başarısızlık durumlarının tespiti

Ülkemizde, Yenilenebilir Enerji Uygulamalarında özellikle küçük ölçekli projelerde büyük bir yaygınlaşma sağlanmıştır. Bu projeler, ithalata dayalı teknoloji entegrasyonunun yerine yerli üretimi ve uygulamayı destekleyen bir yaklaşımı benimsemektedir. Orta ölçekli projeler ise yeni mevzuatların desteğiyle hızlı bir ivme kazanmıştır ve bu ivmenin artarak devam etmesi beklenmektedir. Büyük ölçekli projeler, küçük ölçekli projeler kadar olgunlaşmış bir sektördür ve ülkemizin gelişim potansiyeli olumlu yöndedir.

Özellikle yenilikçi uygulamalar alanında saha uygulamalarının artırılması ve bu uygulamaların teknik ve ekonomik sonuçlara dayandırılarak gelecekteki planların oluşturulması önemlidir. Özellikle elektrikli araçlar alanında, güç sistemi entegrasyonu için iki yönlü enerji alışverişinin dikkate alınması gerekmektedir. Buna dikkat eden bir şehir olarak Amsterdam örnek verilebilir. Bu şekilde sistem, ilk yatırım aşamasında bu yönde yaygınlaşabilecek bir yapıya sahip olmalıdır. Dağıtım sistemi operatörlerinin Ar-Ge projeleri kapsamında yaptıkları yenilikçi uygulama pilot projeleri, dünya örneklerine kıyasla oldukça küçük ölçekte kalmaktadır. Bu nedenle, daha büyük ve kapsamlı deneme alanlarına geçilerek sonuçların sahaya daha hızlı bir şekilde yansıtılması gerekmektedir. Bu noktada, fon sağlayıcı ve denetleyici konumundaki Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), daha etkin bir kural koyucu rolü üstlenmelidir.

- 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, bu projeyi uygulayacak kurum ve kuruluşlara mevcut durum hakkında bilgi vermek, dünyadaki gelişmelerden haberdar etmek ve konu hakkında fikir sahibi olmalarını sağlamak amacıyla hazırlanmıştır.

Dünyada şehirlerde, birçok farklı alternatif ve Yenilenebilir Enerji Uygulamaları bulunmaktadır. Özellikle fotovoltaik sistemlere dayalı güneş enerjisi uygulamaları, şehirlerde öncelikli konumdadır. Aydınlatma uygulamaları, şebeke bağlantılı veya bağımsız batarya gruplarıyla kullanılarak şebekeden bağımsız olarak gerçekleştirilen uygulamalar, bu kapsamda en eski ve yaygınlaşmış şehir uygulaması haline gelmiştir. Solar aydınlatma olarak da bilinen bu konsept, Amerika Birleşik Devletleri'nden Avrupa ülkelerine, Güney Afrika'dan Uganda'ya, Ermenistan'dan Çin'e kadar birçok ülkede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, şebekeden bağımsız trafik ışıkları uygulamaları da solar aydınlatma kapsamında sıklıkla dikkate alınmıştır.

Solar aydınlatma uygulamasının yanı sıra, yeni nesil teknolojik otobüs durakları gibi yeni bir şehir içi güneş enerjisi uygulama alanı ortaya çıkmıştır. Bu uygulamalarda, fotovoltaik paneller aracılığıyla gündüz üretilen ve depolanan enerji kullanılarak akşam saatlerinde bir sensör yardımıyla durak aydınlatılmaktadır. Yeni nesil otobüs durakları ise trafik durumu, durak bilgileri, otobüs konumu gibi bilgileri yolculara ileten ve farklı teknolojik özelliklere sahip olan duraklardır. Bu duraklarda gündüz saatlerinde enerji talebi de bulunmaktadır.

Benzer şekilde, şehir içinde rüzgâr enerjisine dayalı uygulamalar da bulunmaktadır, ancak daha sınırlı bir alana sahiptir. Bu sınırlılık, özellikle yoğun yapılaşmanın olduğu büyük şehirlerde fiziksel engellerin rüzgâr enerjisini kısıtlamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, bu tür yatırımların ekonomik olmaması gibi faktörlerden dolayı şehir içi rüzgâr enerjisi uygulamaları daha kısıtlıdır. Yine de, birçok ülkede farklı bölgelerde, özellikle yatay eksene sahip rüzgâr türbinlerinin aksine dikey eksene sahip rüzgâr türbinlerinin kullanıldığı uygulamalar bulunmaktadır.

Küçük ölçekli uygulamaların yanı sıra, dekoratif amaçlarla yenilenebilir enerji farkındalığı yaratmak amacıyla rüzgâr ağaçları, güneş çiçekleri gibi farklı uygulamalar da bulunmaktadır [1][2].

Daha büyük ölçekli uygulamalar ise binalarda alternatif ve yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonu ile gerçekleştirilmektedir. Özellikle konut çatılarında fotovoltaik sistemlerin uygulanmasıyla, tüketici (consumer) kavramının yerine üreten tüketici (prosumer) kavramı yaygın hale gelmiştir. Birçok ülkede evsel kullanıcıların bu tür uygulamalara ilk yatırım desteği, alım garantisi gibi farklı ve etkin destekler sağlanmaktadır. Ticari ve endüstriyel tüketicilerde de özellikle çatı üstü fotovoltaik sistem uygulamaları yaygın olarak tercih edilmektedir. Endüstriyel tesislerde genellikle karşılaşılan yatay ve geniş alanlı çatılar, fotovoltaik sistemlerin kurulumu için büyük bir avantaj sağlar. Benzer şekilde, ticari binalar için de yatay mimariye sahip olanlarında fotovoltaik sistem uygulamaları yaygın olarak kullanılırken, dikey mimarili plaza tipi binalarda "Binaya Entegre Fotovoltaik (Building Integrated Photovoltaic - BiPV)" sistemleri veya solar güneş kırıcılar gibi konseptler mevcuttur. Metropol şehirlerde rüzgâr potansiyeli yüksek bölgelerde veya düşük bina yoğunluğuna sahip şehirlerde, özellikle endüstriyel ve ticari kullanım bölgelerinde sayaç arkasında tesis edilmiş rüzgâr türbinleri tabanlı üretim birimleri de birçok uygulama örneğine sahiptir.

Nispeten düşük nüfus yoğunluğuna sahip şehirlerde, mikroşebekelerin oluşturulması ve etkin enerji yönetim sistemi yapılarının tesis edilmesi yaygın bir uygulamadır. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde Teksas'ta yer alan Pecan Street projesi, evsel bir mikroşebeke oluşturarak yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu, çoklu enerji sistemlerinin eş zamanlı işletimini ve akıllı işletim bölgelerini içererek inovatif çözümler sunan dünyadaki en ileri veri sağlayan örnek projelerden biridir [3]. Ayrıca IEEE tarafından kurulan Akıllı Köy (Smart Village) inisiyatifi de farklı bölgelerde yenilenebilir enerji kaynaklarının yaşam alanlarında kullanımına yönelik birçok örnek uygulama gerçekleştirmiştir [4].

Şehirlerde enerji tedariğini desteklemek amacıyla büyük ölçekli santral uygulamaları bulunmaktadır. Metropol bölgelerin dışında rüzgâr ve güneş enerjisi tabanlı santraller aracılığıyla üretilen yenilenebilir enerjiden şehir içi enerji tüketimi için faydalanılmasının yanı sıra, çöp gazı tesisleri gibi biyoenerji uygulamaları da büyük ölçekli uygulama örnekleri arasında yer alır.

Bunların yanı sıra, farklı yenilikçi yaklaşımlar içeren şehir içi uygulamalar da mevcuttur. Özellikle mobilite tabanlı veya yerleşik enerji depolama sistemlerine yönelik yenilikçi çözümler öne çıkmaktadır. Amsterdam'da bulunan Johan Crujff Amsterdam Arena'da gerçekleştirilen bir uygulamada, park halindeki elektrikli araçlarda depolanan enerji V2G (Vehicle-to-Grid) işletimiyle stadyumun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca, stadyumun çatısında konumlandırılmış 1 MW'lık fotovoltaik sistemden hem stadyumun güç talebi hem de elektrikli araçların şarj talepleri çevre dostu bir şekilde karşılanmıştır [5]. Bu uygulama Amsterdam'ın akıllı ve sürdürülebilir şehirler kapsamında yürüttüğü yenilikçi bir alternatif enerji uygulaması olarak gerçekleştirilmiştir. Amsterdam,

araçtan enerji aktarımı (V2X) merkezi olma hedefini benimsemiştir ve kanallarda hizmet veren teknelerden diğer ulaşım sistemlerine kadar şebeke ile iki yönlü etkileşime geçebilen mobil enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlayan çözümler üzerinde çalışmalar yürütmektedir [7]. Ayrıca, Avrupa Birliği projesi olan SEEV4-City kapsamında V2G konsepti, Leicester (Birleşik Krallık), Oslo (Norveç), Leuven (Belçika) gibi birçok farklı pilot bölgede test edilmiştir [6].

Şehir içi entegrasyon açısından paylaşımlı enerji depolama sistemleri de önemli bir çözümdür ve dağıtım sistemi operatörleri tarafından giderek daha fazla ilgi görmektedir. Tesla firması tarafından sunulan PowerPack, şehir içi enerji sisteminde alternatif bir yapı olarak kullanılmak üzere dağıtım sistemine entegre edilen grupların gerektiğinde birlikte kullanılmasıyla toplam enerji depolama kapasitesini artıran 232 kWh'lik bir batarya çözümüdür. Bu yaklaşım kullanılarak Tesla, Avustralya'da dünyanın en büyük batarya tabanlı enerji depolama sistemi olan 129 MWh'lik bir kapasiteye sahip 30.000 haneyi besleyen bir uygulama gerçekleştirmiştir [8][9].

Daha küçük çapta, akıllı şehirlerde tüketici bölgelerinde sayaç arkasında tesis edilen batarya tabanlı enerji depolama sistemleri de mevcuttur. Tesla'nın PowerWall çözümü ve Soltaro gibi firmaların benzer çözümleri, son kullanıcıları şehir enerji sistemiyle iki yönlü etkileşimli hale getiren örneklerdir [10][11].

Dünyanın farklı bölgelerinde, özellikle evsel uygulamalarda, ısı pompaları enerji kullanımı açısından alternatif bir seçenek oluşturmaktadır. Ayrıca, farklı ve yenilikçi alternatif enerji çözümleri de mevcuttur. Pavegen firmasının Birleşik Krallık'ta birçok şehir içi bölgede uyguladığı piezoelektrik temelli bir konsept, yaya yollarından enerji üretilmesi mantığıyla enerji hasadı alanında yeni bir yaklaşım sunmuştur. Bu konsept, sürdürülebilir akıllı şehir uygulamalarına katkıda bulunmaktadır [12]. Ayrıca, piezoelektrik tabanlı şehir içi uygulamalar özellikle araç yollarına odaklanmıştır. İsrail kökenli Innowattech firması, 2010 öncesinde bu alanda öncü bir firma olarak faaliyet göstermiştir, ancak mevcut durumda faaliyetlerini son 10 yıl içinde durdurmuştur [13].

Proje konusunun tarihsel süreci

Son 20 yılda, küresel ısınma, sınırlı fosil yakıt rezervleri ve enerji bağımsızlığı gibi nedenlerle alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar ve yatırımlar büyük bir hız kazanmıştır. Bu alanlarda büyük ölçekli üretim santrallerinin yanı sıra, dağıtık üretim birimleri olarak da adlandırılan tüketim noktalarına yakın üretim teknolojileri de kullanılmaktadır. Özellikle şehirlerde, yerinde üretimi desteklemek amacıyla dağıtık üretim şeklindeki yenilikçi uygulamaların sayısı önemli ölçüde artmaktadır.

Rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklara dayalı alternatif enerji sistemleri, büyük ölçekli üretim santralleri veya dağıtık üretim birimleri şeklinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu sistemlerin

en büyük dezavantajı, üretimin tamamen meteorolojik koşullara bağlı olması ve elektrik gücünün değişken olmasıdır. Bu değişkenlik, elektrik enerjisinin arz ve talebinin anlık olarak dengelemesini gerektirdiği için zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu durum, güç sistemi işletimiyle birlikte yenilenebilir enerji potansiyelinden tam anlamıyla faydalanmayı kısıtlayan bir olumsuzluk olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, özellikle şehirlerde uygulanan projelerde, kaynakların üretim değişkenliğinin ve şehir elektrik güç sistemi altyapısının dikkate alınarak planlama yapılması büyük önem taşımaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji üretim birimlerinin yanı sıra, enerji depolama sistemlerinin şehir içi güç sistemine entegrasyonu için çalışmalar yapılmaktadır. Paylaşımlı enerji depolama sistemleri ve tüketici tesisine entegre edilen depolama sistemleri gibi farklı boyutlarda enerji depolama çözümleri kullanılabilir. Ayrıca, elektrikli araçların bataryalarının mobil enerji depolama sistemi olarak kullanılması ve araçtan şebekeye işletim türü ile enerji kaynağı olarak kullanılması da önemli bir uygulama olarak öne çıkmaktadır. Dünya genelinde birçok örnek uygulama yapılmış olup, çoklu enerji sistemleri konsepti de farklı enerji türlerinin birbirine dönüşümünü dikkate alan yenilikçi bir alan haline gelmiştir.

Ülkemizde, küçük ölçekli alternatif ve Yenilenebilir Enerji Uygulamalarına örnekler bulunmaktadır. Park ve bahçelerdeki aydınlatma ve trafik ışıklarının batarya destekli fotovoltaik sistemlerle şebekeden bağımsız olarak karşılanması yaygın bir uygulamadır. Bu tür uygulamalar için hizmet sağlayıcı firmalar mevcuttur. Kapadokya'da dikey eksenli rüzgar türbinleri ve güneş panelleriyle entegre bir aydınlatma sistemi uygulaması gerçekleştirilmiş, ancak şu anda devam etmemektedir [14]. Güneş panellerinin entegre edildiği otobüs durakları İstanbul'da [15], Gaziantep'te [16], Antalya'da [17], İzmir'de [18] ve diğer şehirlerde uygulanmaktadır. Ülkemizde farklı konseptlerle birçok küçük ölçekli Yenilenebilir Enerji Uygulaması bulunmaktadır.

Orta ölçekli alternatif ve Yenilenebilir Enerji Uygulamaları son yıllarda büyük bir ilerleme kaydetmiştir. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği [19] ile özellikle endüstriyel tesislerin çatılarına fotovoltaik sistemlerin kurulumu hız kazanmış ve son kullanıcılar aktif bir üretici tüketici rolü almaya başlamıştır. Bu yönetmelik, güneş enerjisi sektöründeki firmaların santral yerine çatı üstü kurulumlara yönelmelerini teşvik etmiştir. Aynı yönetmelik, 10 kW ve altı güneş enerjisi sistemlerine yatırımları kolaylaştırmış ve küçük ölçekli tüketicilerin şehir şebekesinde üretici tüketici rolünü üstlenmelerine olanak sağlamıştır. Ülkemizde ayrıca fabrikalar gibi büyük tüketiciler tarafından gerçekleştirilen rüzgâr türbinleriyle desteklenen dağıtık üretim birimlerine dayanan orta ölçekli uygulamalar da mevcuttur. Bu orta ölçekli uygulamalar kapsamında, şehir içinde yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren mikro şebekelerin oluşturulması için pilot uygulama örnekleri bulunmaktadır.

Gazi Teknopark Gölbaşı Yerleşkesi'nde Başkent EDAŞ ve Gazi Teknopark işbirliğiyle kurulan mikroşebeke örneği, dağıtık üretim sistemlerinin şehir içindeki dağıtım sistemine entegrasyonunu sağlamaktadır [20]. Bu tür dağıtık üretim sistemleriyle ilgili avantajları, zorlukları ve geliştirilmesi gereken konuları değerlendiren araştırma-geliştirme projeleri de farklı dağıtım sistemi operatörleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Temmuz 2014'ten itibaren başlayan ve EPDK fonları destekli "Dağıtım Gömülü Sistemlerin Etki Analizi ve Optimizasyonu Projesi" bu alanda öncü bir projedir [21].

Ülkemizde büyük ölçekli uygulamalar çerçevesinde güneş ve özellikle rüzgâr santralleri, şehirlerin enerji taleplerini karşılamak amacıyla özellikle merkez dışı bölgelerde kurulmuştur. Ayrıca, İstanbul'da İSTAÇ'a ait, çöp gazından elektrik üretim tesisi gibi farklı alternatif enerji uygulamaları da bulunmaktadır [22].

Enerji depolama sistemlerinin entegrasyonu gibi farklı alternatif enerji uygulamaları, önde gelen dağıtım sistemi operatörlerinin bir araya gelerek gerçekleştirdiği Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) fonları destekli "Kimyasal Enerji Depolama Projesi (KEDEP)" ile dikkat çekmektedir [23]. Bu proje, gelecekte yapılacak yatırımlar için bir rehber olabilecek ve farkındalık yaratabilecek bir adımdır. Ayrıca, ülkemizin farklı bölgelerinde özellikle evsel uygulamalarda ısı pompası kullanımı da enerji kullanımı açısından alternatif bir seçenek oluşturmaktadır. Bununla birlikte, yenilikçi alternatif enerji uygulamaları açısından ülkemizdeki şehir uygulamalarının dünya örneklerine kıyasla nispeten geride olduğu söylenebilir.

Yenilenebilir Enerji Uygulamaları projesinin bağlantılı olduğu alanlar aşağıdaki gibidir:

- Yenilenebilir enerji kaynakları
- Enerji depolama sistemleri
- Elektrikli araçlar
- Enerji hasadı çalışmaları

2.4. İhtiyaç Analizi

Projeye duyulan ihtiyacı ortaya koyan verilerin incelenmesi

Yenilenebilir Enerji Uygulamalarına duyulan ihtiyaç, çeşitli sebeplerden kaynaklanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları doğal olarak yenilenebilir ve tükenmez niteliktedir. Güneş, rüzgâr, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal gibi kaynaklar sürekli olarak enerji üretebilir. Bu da enerji ihtiyacını karşılamak için sürdürülebilir bir yol sağlamaktadır.

Fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan sera gazı, küresel iklim değişikliğine yol açmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise düşük karbon salınımıyla temiz bir enerji üretmektedir. Bu nedenle, Yenilenebilir Enerji Uygulamaları iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, ülkelerin enerji güvenliğini artırmaktadır. Fosil yakıtların ithalatına bağımlı olmak yerine, yerel ve çevre dostu enerji kaynaklarının kullanımıyla enerji üretimi ve tüketimi kontrol edilebilir. Öte yandan yenilenebilir enerji sektörü, iş yaratma potansiyeli yüksek bir sektördür. Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, yeni iş fırsatları oluşturur, yerel ekonomiyi canlandırır ve teknolojik inovasyonu teşvik eder.

Fosil yakıtların kullanımı, hava kirliliğine ve sağlık sorunlarına neden olabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise temiz bir enerji sağlamakta, hava kalitesini iyileştirmekte ve toplum sağlığını korumaktadır.

Tüm bu nedenlerle, Yenilenebilir Enerji Uygulamaları enerji sektöründe önemli bir dönüşümü teşvik etmektedir. Daha sürdürülebilir, temiz ve güvenilir bir enerji geleceği için yenilenebilir enerjiye olan ihtiyaç giderek 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
- Yenilenebilir Enerji Uygulamaları teknolojilerinin yaygın kullanımı için gereksinimlerin belirlenmesi
- Yenilenebilir Enerji Uygulamaları teknolojilerinin uygulanacağı bölgelerde yaşanacak uygulama zorluklarının belirlenmesi

Akıllı şehirlerde uygulanacak yenilenebilir enerji uygulamaları projeleri, çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve ekonomik kazançlar gibi bir dizi önemli beklenti ve fayda sağlamaktadır.

Yenilenebilir enerji uygulamaları, güneş, rüzgâr, hidroelektrik veya biyogaz gibi kaynaklardan elde edilen enerjiyi kullanarak yeşil enerji üretimini teşvik eder. Bu, fosil yakıtların kullanımını azaltarak şehirlerin karbon ayak izini düşürmeye yardımcı olur.

Yenilenebilir enerji projeleri, şehirlerin enerji verimliliğini artırır ve enerji tüketimini optimize eder. Bu tasarruflar, şehirlerin enerji maliyetlerini azaltır ve enerji altyapısını güçlendirir.

Yenilenebilir enerji projeleri, akıllı şebeke teknolojileriyle entegre edilebilir. Bu entegrasyon sayesinde, enerji üretimi ve tüketimi daha etkili bir şekilde yönetilebilir, talep tepkisi sağlanabilir ve enerji kesintileri minimize edilebilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlara kıyasla çevresel etkileri daha düşük olan bir enerji üretim yöntemidir. Bu projeler, hava ve su kirliliğini azaltarak doğal kaynakları koruma ve şehir ekosistemlerini destekleme amacına hizmet eder.

Yenilenebilir enerji projeleri, teknolojik inovasyonu teşvik eder. Güneş enerjisi depolama sistemleri, rüzgâr türbinleri ve enerji yönetim sistemleri gibi teknolojik gelişmeler, şehirlerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olur.

Yenilenebilir enerji sektörü, yerel ekonomilere katkı sağlar ve istihdam yaratır. Proje uygulamaları sırasında, bakım ve işletme süreçlerinde iş fırsatları oluşur, bu da yerel işgücünü güçlendirir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji arzının çeşitlendirilmesine katkıda bulunur. Bu, enerji güvenliğini artırarak dışa bağımlılığı azaltır ve enerji arzının sürekliliğini sağlar.

Yenilenebilir enerji projeleri, toplumun çevresel konulardaki farkındalığını artırabilir. Şehir sakinleri, kendi enerji tüketimlerini azaltma ve sürdürülebilir enerji kullanımını teşvik etme konusunda daha bilinçli hale gelebilir.

Bu avantajlar, akıllı şehirlerde uygulanan yenilenebilir enerji uygulamalarının şehirleri daha sürdürülebilir, enerji verimli ve çevresel olarak dost bir şekilde dönüştürmesini sağlar.

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

• Güçlü Yönler:

- Güneş, rüzgâr, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları tükenmediğinden dolayı sürekli olarak sürdürülebilir bir kaynak sunar.
- Yenilenebilir enerji kaynakları, yandığında ortaya büyük miktarlarda karbon salınımı çıkaran fosil yakıtlara kıyasla daha düşük karbon salınımıyla temiz bir enerji üretir.
- Fosil yakıtların ithalatına bağımlı olmak yerine, yerel ve çevre dostu enerji kaynaklarının kullanımıyla enerji üretimi ve tüketimi kontrol edilebilir, enerji güvenliği sağlanabilir.
- Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, yeni iş fırsatları oluşturur, yerel ekonomiyi canlandırır ve teknolojik inovasyonu teşvik eder.
- Temiz bir enerji sağlar, hava kalitesini iyileştirir ve toplum sağlığını korur.

- **Zayıf Yönler:**

- **Değişkenlik:** Güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları doğal olarak değişkendir. Güneş enerjisi, geceleri veya bulutlu havalarda azalırken, rüzgâr enerjisi dalgalanabilir. Bu değişkenlik, enerji arzının istikrarını etkileyebilir ve enerji şebekelerinin yönetimini zorlaştırabilir.
- **Depolama Zorlukları:** Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin depolanması ve istenilen zamanda kullanılması önemlidir. Ancak, büyük ölçekte etkili enerji depolama teknolojileri henüz tam olarak geliştirilmemiştir. Bu nedenle, enerjinin depolanması ve kullanılabilirliği konusunda bazı zorluklar yaşanabilir.
- **Maliyet:** Yenilenebilir enerji teknolojileri, geleneksel enerji kaynaklarına kıyasla genellikle daha yüksek maliyetlidir. Yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımların geri dönüş süreleri uzun olabilir. Ancak, bu maliyetler zamanla düşmektedir ve teknolojik ilerlemeler ile rekabetçi hale gelmektedir.
- **Altyapı ve Entegrasyon:** Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı sistemlerin mevcut enerji altyapısıyla entegrasyonu bazı zorluklar ortaya çıkarabilir. Özellikle, enerji şebekesinin güvenli ve istikrarlı bir şekilde yenilenebilir enerji kaynaklarına uyum sağlaması ve yönetimi gereklidir.
- **Çevresel Etkiler:** Bazı Yenilenebilir Enerji Uygulamaları da çevresel etkilere sahip olabilir. Örneğin, hidroelektrik santralleri doğal yaşam alanlarını etkileyebilir veya biyoenerji üretimi için tarım alanlarının kullanılması gıda üretimini etkileyebilir. Bu nedenle, Yenilenebilir Enerji Uygulamalarının planlanması ve hayata geçirilmesi sürdürülebilirlik ve çevresel etkiler açısından dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir.

Bu zayıf yönler, Yenilenebilir Enerji Uygulamalarının yaygınlaşması ve daha etkin hale gelmesi için yapılacak teknolojik gelişmeler, politika düzenlemeleri ve yatırımlarla aşılabılır.

2.5. Talep Analizi

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

Bu projede, belirtilen pilot uygulama bölgesinde konut binalarının çatılarına orta ölçekli bir alternatif enerji sistemi olarak çatı üstü fotovoltaik sistemlerin kurulması planlanmaktadır. Son bir yılda enerji tüketim bölgelerinde fotovoltaik sistem kurulumunda büyük bir ivme yaşanmıştır, ancak özellikle endüstriyel tesislerde daha yaygındır. Sürdürülebilir şehirlerin oluşturulması hedefiyle konut alanlarında bu tür uygulamaların yaygınlaşması önemlidir. Bakanlıklar, TOKİ/Emlak Konut, Belediyeler gibi karar vericiler ve uygulayıcıların rolü büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, çatı üstü fotovoltaik

sistemlerin konut alanlarında yaygınlaşması, akıllı ve sürdürülebilir şehircilik anlayışının gelişimi için önemli bir örnek teşkil edecektir. Proje kapsamında, uygulama alanı koşullarının dikkate alınarak çözüm uygulamasının ön fizibilitesi yapılmalı ve detaylı projelendirme öncesinde genel teknik ve ekonomik değerlendirme sunulmalıdır.

Bu sistemlerin kurulması için talebi belirleyen temel etkenler ve göstergeler şunlardır:

- Hükümet politikaları ve teşvikler
- Enerji fiyatları
- Net enerji ölçümü sistemi
- Teknolojik gelişmeler
- Bilinçlendirme ve eğitim
- Çevresel farkındalık

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 proje kapsamında ne kadarlık bir alanın enerjisinin karşılanacağı ve üretilmek istenen enerji miktarı ile ilgilidir.

Kapasitenin Belirlenmesi

Yenilenebilir Enerji Uygulamaları için kapasitenin belirlenmesindeki kriterler aşağıda verilmiştir:

- Fotovoltaik sistemlerin kurulacağı alanlar için yüksek güneşe maruziyet, güneş ışığının engellenmeden gelmesi, uygun çatı yapıları ve dayanıklılık gereklilikleri konularına dikkat edilmelidir. Kurulum yapılacak alanlar, mümkün olduğunca güneşe açık, gölgeliklerden uzak ve çatı yapılarıyla uyumlu olmalıdır. Aynı zamanda çatının dayanıklılığı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Yapısal Proje Gereksinimleri

Yenilenebilir Enerji Uygulamaları için yapısal proje gereksinimleri şunlardır:

- **Güneş Enerjisi (Fotovoltaik) Sistemleri:**
 - Uygun çatı veya arazi alanı: Fotovoltaik panellerin kurulumu için yeterli güneşe maruz kalabilecek ve gölgelenme olasılığı düşük olan uygun alanlar gereklidir.

- Mekanik dayanıklılık: Panellerin ağırlığını taşıyabilecek ve rüzgâr, kar, yağmur gibi doğal etkilere dayanıklı yapılar gereklidir.
- Elektrik bağlantısı: Üretilen elektriğin sisteme aktarılabilmesi için panellerin elektrik bağlantılarının ve invertörlerin düzgün bir şekilde entegre edilmesi gereklidir.
- **Rüzgâr Enerjisi Sistemleri:**
 - Rüzgâr kaynaklarına yakınlık: Rüzgâr türbinlerinin yerleştirileceği alanlarda yeterli ve sürekli bir rüzgâr kaynağı bulunması gereklidir.
 - Yapısal dayanıklılık: Rüzgâr türbinlerinin ağırlığını taşıyabilecek ve rüzgâr yüklerine karşı dayanıklı yapılar gereklidir.
 - Elektrik bağlantısı: Rüzgâr türbinlerinden üretilen elektriğin sisteme entegre edilebilmesi için elektrik bağlantıları ve güç dönüştürücülerin düzgün bir şekilde yapıya entegre edilmesi gereklidir.
- **Hidroelektrik Sistemleri:**
 - Su kaynaklarına yakınlık: Hidroelektrik santrallerinin kurulacağı yerlerde yeterli su kaynaklarının bulunması gereklidir.
 - Baraj veya su tutma yapıları: Hidroelektrik santralleri için baraj veya su tutma yapıları gibi suyun kontrol altında tutulabileceği yapıların inşa edilmesi gereklidir.
 - Su kanalları ve türbin odası: Su akışını yönlendirecek kanalların ve türbin odasının yapısal olarak tasarlanması gereklidir.
 - Elektrik üretim ve iletim sistemleri: Elektrik üretim birimlerinin ve enerji iletim hatlarının yapıya entegre edilmesi gereklidir.
- **Biyokütle ve Biyogaz Sistemleri:**
 - Biyokütle kaynaklarına yakınlık: Biyokütle veya biyogaz üretimi için uygun biyokütle kaynaklarının bulunduğu alanlarda tesislerin kurulması gereklidir.
 - Yakma ve gazlaştırma üniteleri: Biyokütle veya biyogazın enerjiye dönüştürüleceği ünitelerin yapısal olarak tasarlanması gereklidir.
 - Enerji üretim ve iletim sistemleri: Üretilen enerjinin sisteme aktarılabilmesi için elektrik üretim birimlerinin ve enerji iletim hatlarının yapıya entegre edilmesi gereklidir.

Yazılım ve Donanım Gereksinimleri

Yenilenebilir Enerji Uygulamaları için yazılım ve donanım gereksinimleri şunlardır:

- **İzleme ve Kontrol Sistemleri:**

- Veri toplama ve izleme sistemleri: Enerji üretimi, tüketimi, depolama durumu gibi verileri toplayan ve takip eden sistemler gereklidir.
- Otomasyon ve kontrol sistemleri: Enerji üretim ve dağıtımını optimize etmek için enerji akışını kontrol eden ve sistemler arasındaki iletişimi sağlayan otomasyon sistemleri gereklidir.
- **Veri Analizi ve Yönetim Sistemleri:**
 - Veri analizi yazılımları: Enerji üretim ve tüketim verilerini analiz ederek verimliliği artırmak ve gelecekteki talepleri tahmin etmek için kullanılan yazılımlar gereklidir.
 - Enerji yönetim sistemleri: Enerji üretimini, tüketimini ve depolamasını optimize etmek için veri analizi sonuçlarını kullanarak kararlar veren sistemler gereklidir.
- **Güç Dönüştürme ve Dağıtım Sistemleri:**
 - İnvvertörler: Fotovoltaik sistemlerde üretilen doğru akımı alternatif akıma dönüştüren ve sisteme uygun hale getiren invertörler gereklidir.
 - Şebeke bağlantı sistemleri: Üretilen enerjiyi şebekeye bağlayarak enerji dağıtımını sağlayan sistemler gereklidir.
 - Akü ve enerji depolama sistemleri: Üretilen enerjinin depolanmasını ve gerektiğinde kullanılmasını sağlayan akü ve enerji depolama sistemleri gereklidir.
- **İletişim ve Uzaktan İzleme Sistemleri:**
 - Uzaktan izleme ve kontrol sistemleri: Enerji sistemlerinin uzaktan izlenebilmesi ve kontrol edilebilmesi için haberleşme altyapısı ve yazılım sistemleri gereklidir.
 - Veri paylaşım ve raporlama sistemleri: Enerji verilerinin paylaşılması, raporlanması ve gerektiğinde paydaşlarla iletişim sağlanması için yazılım sistemleri gereklidir.
- **Güvenlik ve Yedekleme Sistemleri:**
 - Sistem güvenliği yazılım ve donanım sistemleri: Enerji sistemlerinin siber saldırılardan korunması için güvenlik sistemleri gereklidir.
 - Yedekleme ve acil durum sistemleri: Enerji kesintileri veya acil durumlarda enerji sağlayabilen yedekleme sistemleri gereklidir.

Alternatif teknolojiler nelerdir? Karşılaştırma yapınız.

Projede kullanılacak donanımların projenin başarılı ya da başarısız olmasında önemli bir yeri vardır. Alternatif teknolojilerin sahip oldukları avantajlar ve dezavantajlar değerlendirilerek uygun olan tercih

edilmelidir. Kurulumun zor olduğu ve operasyon maliyetlerinin yüksek olduğu alternatifler seçilirse beklenen avantajlar ve tasarruflar gerçekleştirilemeyebilir. Bu nedenle, var olan teknolojiler için detaylı inceleme yapıldıktan sonra en uygunu seçilmelidir. Teknolojik gelişme süreçlerinin hızla gerçekleşmesi sebebiyle, yakın gelecekte farklı teknolojiler ve çözümlerin de ortaya çıkacağı düşünülerek yeni teknolojilerle entegre çalışacak sistemin varlığı önemli hususlardandır. Yenilenebilir enerji kaynaklı üretim yapılacak tesislerde hem güvenlik hem de üretim aşamaları ile ilgili herhangi bir sorun yaşanmaması için gerekli denetimler de detaylı bir şekilde gerçekleştirilmelidir.

- **Rüzgâr Enerjisi:** Rüzgâr türbinleri aracılığıyla rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren rüzgâr enerjisi teknolojisi, genellikle rzgrlı bölgelerde tercih edilir.
- **Hidroelektrik Enerji:** Su kaynaklarından elde edilen hidroelektrik enerji, barajlar ve su türbinleri kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülür.
- **Biyoenjerji:** Biyoktle, biyogaz ve biyoyakıt gibi biyolojik kaynaklardan elde edilen enerji kaynaklarını kullanarak enerji üretimi sağlayan biyoenjerji teknolojileri tercih edilebilir.
- **Jeotermal Enerji:** Yer altından elde edilen sıcak su veya buhar ile jeotermal enerji üretimi yapılır. Jeotermal enerji, ısı pompaları aracılığıyla ısıtma ve soğutma sistemlerinde de kullanılabilir.
- **Gel-git Enerjisi:** Deniz seviyesinin yükselmesi ve alçalmasıyla oluşan gel-git akıntılarında enerji üretimi sağlayan gel-git enerjisi teknolojileri kullanılabilir.
- **Yakıt Hücreleri:** Yakıt hücreleri, hidrojen ve oksijenin kimyasal reaksiyonundan elektrik enerjisi üreten teknolojilerdir. Yakıt hücreleri çeşitli kaynaklardan hidrojen üretiminde kullanılabilir.
- **Deniz Dalgası Enerjisi:** Deniz dalgalarının hareketinden elde edilen enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren deniz dalgası enerjisi teknolojileri, kıyı bölgelerinde kullanılabilir.
- **Güneş Termal Enerji:** Güneş enerjisini kullanarak ısı üretimi sağlayan güneş termal enerji sistemleri, ısınma, sıcak su temini veya endüstriyel süreçler için kullanılabilir.

Teknoloji seçiminin dayandığı kriterler nelerdir? Açıklayınız.

- 1) Teknoloji yeni mi?
- 2) Teknoloji yerli mi?
- 3) Teknoloji yerli değilse yerleştirilebilir mi?
- 4) Maliyet
- 5) Tesisin/enerji toplayan cihazların sürdürülebilirliği
- 6) Uyumluluk ve entegre edilebilirlik
- 7) Bölgesel ve yerel faktörler

8) Teknoloji olgunluğu

9) Ölçek ve kapasite

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

Aşağıda bahsedilmekte olan proje adımları, projenin karmaşıklığına ve özelliklerine göre değişebilmektedir. Özellikle büyük ölçekli projelerde daha ayrıntılı planlama, analiz ve denetim gerekebilir. Teknik tasarım süreci, projenin başarılı bir şekilde uygulanmasını ve enerji üretim hedeflerine ulaşılmasını sağlar. Bu sürecin iyi anlaşılması için teknik tasarım süreçleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

1. İhtiyaç Analizi
 - Projenin amaçlarının, hedeflerinin ve enerji talepleri gibi ihtiyaçların belirlenmesi
 - İhtiyaç analizi, projenin ölçeği, enerji gereksinimi ve diğer teknik gereksinimlerin tespiti
2. Kaynak Potansiyeli Değerlendirmesi
 - Rüzgâr, güneş, hidro ve biyokütle gibi enerji kaynaklarının miktarı, kalitesi ve kullanılabilirliğinin ölçülerek potansiyellerinin değerlendirilmesi
3. Teknoloji Seçimi
 - İhtiyaçlar ve kaynak potansiyeli doğrultusunda uygun teknolojilerin seçimi
4. Sistem Tasarımı
 - Panel, rüzgâr türbini, jeneratör gibi bileşenlerin yerleşimi, bağlantı şeması, enerji depolaması, güç elektroniği ve kontrol sistemleri detaylarının tasarımı
5. Performans Hesaplamaları
 - Tasarlanan sistemin verimlilik, enerji üretimi, kapasite faktörü, enerji depolama verimliliği gibi parametreler üzerinden performansının hesaplanması
6. Teknik Çizimler ve Spesifikasyonlar
 - Proje bileşenlerinin teknik özelliklerini, bağlantıları ve montaj detaylarını içeren proje teknik çizimleri, şemaları ve spesifikasyonlarının hazırlanması
7. İşletme ve Bakım Planı
 - Proje için bir işletme ve bakım planı oluşturulması
 - Sistem bakımı, izleme, arıza onarımı, periyodik bakım gibi süreçlerin planlanması
8. Maliyet ve Yatırım Analizi
 - Proje maliyeti ve yatırım geri dönüş süresi gibi ekonomik analizler yapılması
 - Maliyet tahminleri, finansal değerlendirme ve proje ekonomisinin değerlendirilmesi
9. İzinler ve Uyumluluk

- Projenin yerel düzenlemelere, çevresel standartlara ve izinlere uygunluğun sağlanması
- İlgili izinlerin alınması ve gerektiğinde projenin yerel ve ulusal gerekliliklere uygun olduğunu belgeleyen raporların hazırlanması

10. İnşaat ve Kurulum

- Bileşenlerin monte edilip, bağlantıların yapılması ve sistemin devreye alınmasıyla inşaat ve kurulum sürecinin başlaması

4. Finansal Analiz

Yatırım bütçesinin planlanmasında aşağıdaki maliyet kalemleri göz önüne alınmalıdır.

Aşağıdaki örnekte PVSOL programı ile hesaplanan meteorolojik verilere yer verilmektedir [24]. Bir bölgedeki konutların çatılarına kurulacak olan fotovoltaik enerji sistemlerinin hesaplamaları yapılacağı zaman, projenin uygulanacağı bölgenin kendi ışınım ve sıcaklık değerleri göz önünde bulundurulması önemli bir husustur.

Örnek vaka için fotovoltaik üretim sistemi finansal analizinde ilgili bölgeye ait PVSOL programından alınan meteorolojik veriler kullanılabilir [24]. Eşitlik (1) ve (2)'de ise bir fotovoltaik panelin herhangi bir sıcaklık ve ışınım değeri altında çıkış gücünün hesaplanmasına yardımcı olacak doğrusal bir model yer almaktadır [25]:

$$P_{max@T} = \frac{(T - 25^{\circ}C) \times Temp. \text{coef} f_{P_{max}} + 100}{100} \times P_{@25^{\circ}C} \quad (1)$$

$$P_{PV_ACT@T} = \frac{I_{ACT}}{I_{REF}} \times P_{max@T} \quad (2)$$

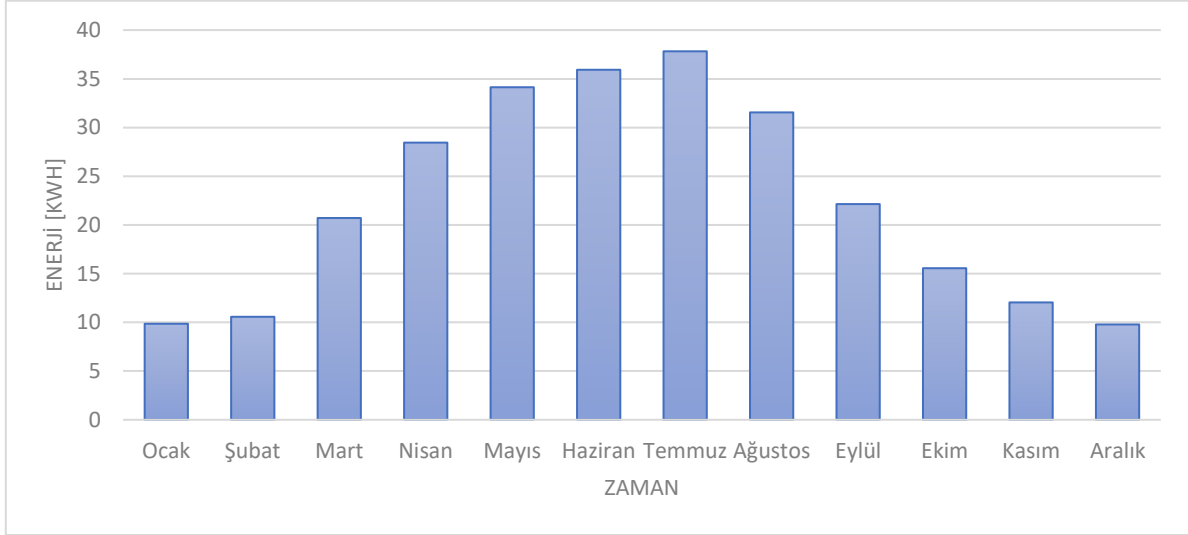
Burada,

| | |
|---------------------------------|--|
| $P_{max@T}$ | T sıcaklığındaki azami çıkış gücü [W] |
| $P_{@25^{\circ}C}$ | $25^{\circ}C$ 'lik referans sıcaklık durumundaki çıkış gücü [W] |
| $P_{PV_ACT@T}$ | T sıcaklığındaki gerçek çıkış gücü [W] |
| T | Fotovoltaik panel yüzey sıcaklığı [$^{\circ}C$] |
| $Temp. \text{coef} f_{P_{max}}$ | Azami çıkış gücü için sıcaklık düzeltme katsayısı [$\%/^{\circ}C$] |
| I_{ACT} | Işınım değeri [W/m^2] |
| I_{REF} | Fotovoltaik paneller için referans ışınım değeri [W/m^2] |

şeklindedir.

Verilen aylık ortalama meteorolojik veriler ve bir model kullanılarak, ilgili fotovoltaik (PV) sistemin aylık ortalama çıkış gücü ve buna bağlı olarak enerji üretimi değeri bulunmaktadır. Bu hesaplamalar, bir yerli fotovoltaik panel üreticisine ait 270 W nominal güce sahip bir panelin elektriksel özellikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir [26]. Panelin aylık enerji üretimi değişimi, ilgili bölgede 270 W'lık bir panel için Şekil

1'de sunulan verilere göre elde edilmektedir. İnce film, monokristal, polikristal gibi çeşitli fotovoltaik panel teknolojileri bulunmaktadır. Bu durumda en yaygın kullanılanlardan biri olan polikristal panel tercih edilmiştir. Bu bağlamda, tek bir panelden elde edilen toplam enerji üretimi değeri, kilowatt (kW) başına oranlanmış ve ilgili bölgede yıllık yaklaşık 994,66 kWh enerji üretimi olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 1. 270 W'lık yerli üretim bir panelin dikkate alınan bölgeye ait meteorolojik koşullar altında aylık enerji üretimi değişimi [33]

Tablo 1. Arazi alanından fotovoltaik sistem kurulu gücü hesabına geçiş için uygulanan yaklaşıma göre bir örnek çalışma [33]

| | | |
|--|-----------|-------------------|
| Arazi alanı (Konut + TİCK) | 2.811.266 | m ² |
| Taban Alanı Katsayısı (TAKS) | 0,20 | |
| Taban Alanı | 562.253 | m ² |
| Kullanışlı çatı alanı yüzdesi | %70 | |
| Kullanışlı çatı alanının ne kadarı PV kurulumu için tahsis edilsin? | %20 | |
| Toplam konut sayısı | 65.000 | |
| Kullanılabilir çatı alanı | 73.871 | m ² |
| m² başına kurulabilir yaklaşık PV gücü | 0,14 | kW/m ² |
| Toplam PV kurulu gücü | 10.696 | kW |

Çatı üstü fotovoltaik sistemlerin boyutunu hesaplamak için, hem konut hem de konut+ticari alanlar dikkate alınmıştır. Bu hesaplama için Taban Alanı Katsayısı (TAKS) değeri 0,2 olarak kabul edilmiştir. Toplam taban alanına bağlı olarak, çatı alanında parapetler, asansör mekanik dairesi gibi yapılarla olası gölgeleme etkilerini sınırlayan faktörler göz önünde bulundurularak kullanılabilir çatı alanı yüzdesi %70 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, dizi aralarında gölgeleme nedeniyle bırakılması gereken boşluklar ve panel eğimleri gibi faktörler de değerlendirilerek, örnek bir çatı üstü alan için m² başına yaklaşık 0,145 kW gücünde fotovoltaik sistem kurulabileceği kabul edilmiştir. Son olarak, tesis edilebilecek azami çatı

alanının yüzdesine göre fotovoltaik sistem kurulu gücü belirlenerek, toplam sistem gücü hesaplanmıştır.

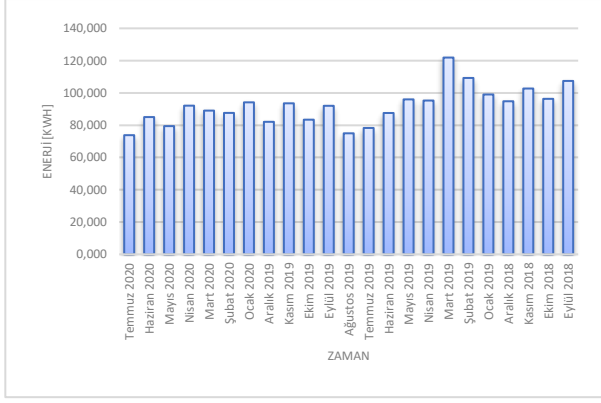
Burada, birim fotovoltaik sistem maliyeti, elektrik birim fiyatı, yaklaşık yıllık değişim yüzdesi, fırsat maliyeti, bakım maliyeti oranı (yatırım maliyetine bağlı olarak), parite ve paritedeki yıllık artış gibi faktörleri dikkate alınarak, faturada enerji bedeli dışındaki vergi ve diğer bileşenlerin etkisini içeren işletim maliyeti oranıyla ilgili maliyet ve kazançların net bugünkü değerlerini hesaplamak için bir değerlendirme yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yaklaşım, Tablo 2’de gösterildiği gibi yapılmıştır.

Tablo 2. Fotovoltaik sistem kurulum fizibilitesi için uygulanan yaklaşıma göre bir örnek çalışma [33]

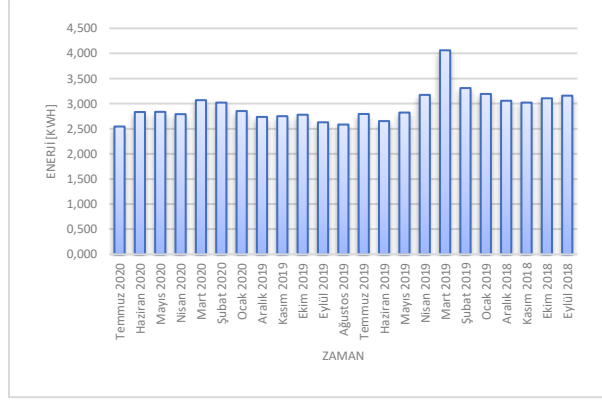
| | | |
|--|------------|--------|
| kW başına enerji üretimi | 995 | kWh/kW |
| PV sistem gücü | 10.696 | kW |
| Toplam enerji üretimi | 10.639.224 | kWh |
| Birim yatırım bedeli | 500 | \$/kW |
| Yatırım maliyeti (Döviz) | 5.348.172 | \$ |
| Yatırım maliyeti (TL) | 39.041.654 | TL |
| İşletme bedeli oranı | 1% | |
| Yıllık işletme maliyeti | 53.482 | \$ |
| Dolar/TL paritesi | 7 | |
| Fırsat maliyeti | 7% | |
| Elektrik birim fiyatı | 0,57 | TL |
| Fatura enerji tüketimi/toplam bedel oranı (vergi, vb. hususlar) | 0,81 | |
| Elektrik birim fiyatının yıllık artışı | 5% | |
| Dolar/TL paritesi yıllık artışı | 2% | |

Bu durumda, fotovoltaik sistemin asansör ve merdiven otomatığında kullanılması planlanan ortak alan enerji kullanımına yönelik bir bina için hesaplanacak olan enerji tüketimi, proje alanında bulunacağı varsayılan 11 dairelik örnek bir apartmanın ortak alan faturasındaki tüketim değerlerinden elde edilen daire başına düşen enerji tüketimi değerlerine dayandırılarak hesaplanmıştır. Apartmanın asansör ve merdiven otomatığı için faturada belirtilen enerji tüketim ve birim enerji tüketim değerleri ile aylara göre değişen enerji birim fiyatı Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 ile gösterilmiştir. Vergi ve diğer faktörler nedeniyle enerji tüketimine dayalı maliyetin toplam fatura bedeli içinde yaklaşık %81'lik bir oranı olduğu görülmektedir ve değerlendirmede bu oran dikkate alınmalıdır.

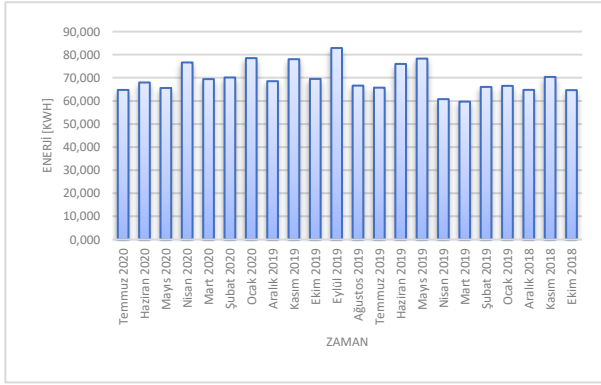
Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6: 11 dairelik örnek bir apartman için ortak alan enerji tüketimine yönelik faturaya esas bilgilerin faturalandırma dönemine göre değişimi [33]



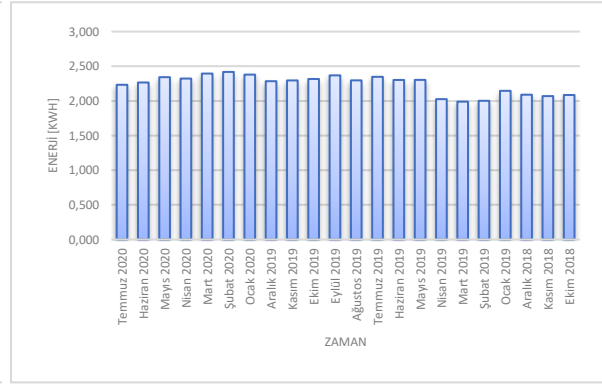
Şekil 2. (a) Fatura dönemine göre asansör sayacı tarafından ölçülen enerji tüketimi



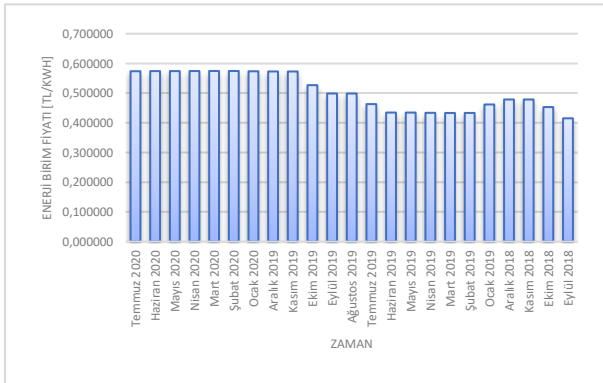
Şekil 3. (b) Fatura dönemine göre asansör sayacı tarafından ölçülen günlük ortalama enerji tüketimi



Şekil 4. (c) Fatura dönemine göre merdiven otomatığı sayacı tarafından ölçülen enerji tüketimi



Şekil 5. (d) Fatura dönemine göre merdiven otomatığı sayacı tarafından ölçülen günlük ortalama enerji tüketimi



Şekil 6. (e) Fatura dönemine göre enerji birim fiyatının değişimi

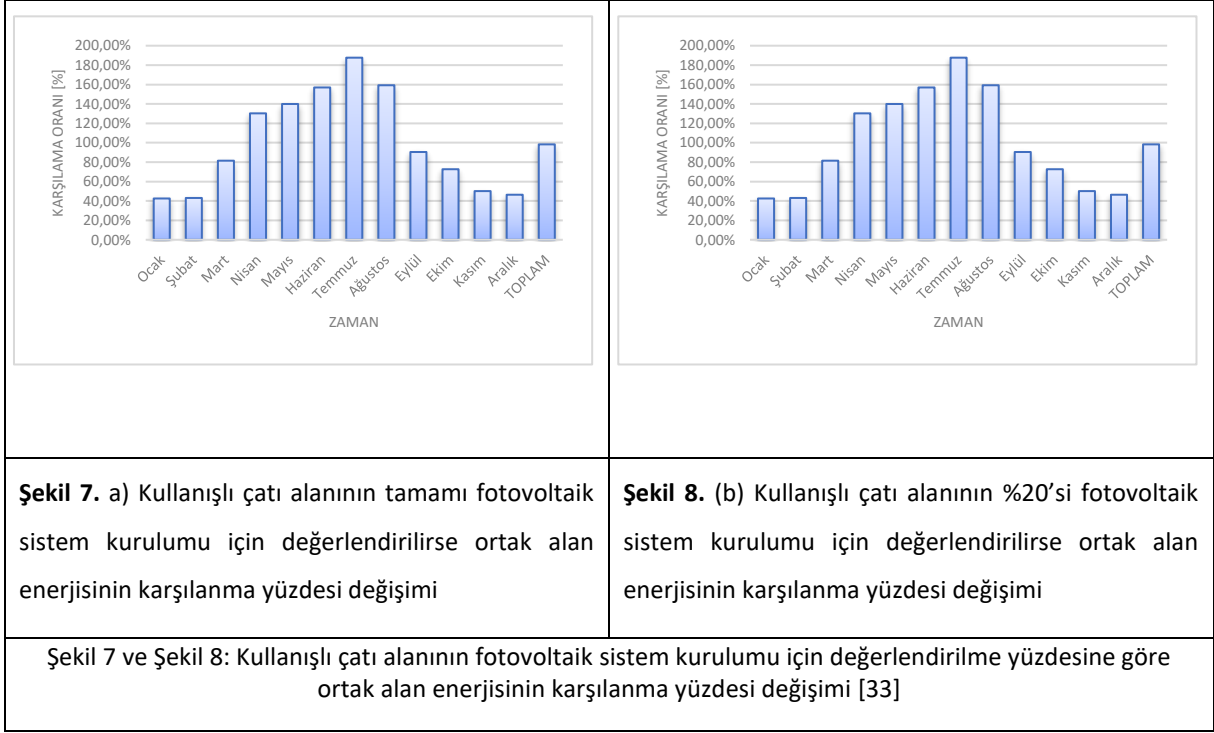
Tablo 3. Fotovoltaik sistem tarafından enerji ile ortak alan enerji tüketimi arasındaki oranın hesabına geçiş için uygulanan yaklaşıma göre bir örnek çalışma [33]

| Ay | Enerji üretimi [kWh] | Ortak alan toplam tüketimi [kWh] | PV/Tüketim yüzdesi |
|---------------|----------------------|----------------------------------|--------------------|
| Ocak | 390.468 | 917.856 | 42,54% |
| Şubat | 418.808 | 972.185 | 43,08% |
| Mart | 820.491 | 1.006.927 | 81,48% |
| Nisan | 1.127.120 | 865.246 | 130,27% |
| Mayıs | 1.352.304 | 966.539 | 139,91% |
| Haziran | 1.423.342 | 906.926 | 156,94% |
| Temmuz | 1.498.457 | 798.557 | 187,65% |
| Ağustos | 1.249.969 | 785.048 | 159,22% |
| Eylül | 877.136 | 969.922 | 90,43% |
| Ekim | 616.366 | 848.016 | 72,68% |
| Kasım | 477.198 | 951.561 | 50,15% |
| Aralık | 387.565 | 835.201 | 46,40% |
| TOPLAM | 10.639.224 | 10.823.984 | 98,29% |

Tablo 3'te sunulan değişimlerden yola çıkarak aylık toplam ortak alan enerji tüketimleri ve buna bağlı olarak daire başına düşen ortalama ortak alan enerji tüketimine katkı değeri değişimleri verilmiştir. Bu değerlere göre uygulama bölgesindeki 65.000 konut için ölçeklendirme yapılarak, fotovoltaik sistemin aylara göre ilgili ortak alan enerji tüketimini karşılama yüzdesi hesaplanmıştır.

Karşılaştırmalı Değerlendirme Sonuçları:

Fotovoltaik sistemin kurulumu, çeşitli parametrelerin etkisini değerlendiren analizlerle incelenmiştir. Öncelikle kullanışlı çatı alanının fotovoltaik sistem için ayrılmasına yönelik kararın farklı etkileri değerlendirilmiştir. Kullanışlı alanın tamamının göz önüne alındığı veya %20'sinin dikkate alındığı durumlar için karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar Şekil 7 ve Şekil 8 ile gösterilmektedir. Şekil 7'de görüldüğü gibi, kullanışlı çatı alanlarının tamamı fotovoltaik sistem kurulumu için kullanılırsa, toplamda ortak alan enerji tüketiminin üzerinde bir enerji üretimi gerçekleştirilecektir. Eğer kullanışlı çatı alanlarının yaklaşık %20'si fotovoltaik sistem için ayrılırsa, farklı aylarda bu oran değişmekle birlikte, toplam yıllık enerji tüketiminin %98.29'u, yani neredeyse tamamı, çatı üstü fotovoltaik sistem tarafından karşılanabilecektir. Bu aşamadan sonra yapılacak ekonomik analizlerde, %20'lik kullanışlı çatı alanının değeri de dikkate alınmıştır. Ekonomik veriler ve net bugünkü değerler göz önüne alınarak yapılan nakit akışı Tablo 4 ile gösterilmiştir. Bu bağlamda, güneş enerjisi sistemi için birim fiyat verileri olarak yerli bir panel üreticisinden elde edilen veriler kullanılmıştır.



Tablo 4. Baz durum için ekonomik değerlendirme [33]

| | | |
|--|------------|--------|
| kW başına enerji üretimi | 995 | kWh/kW |
| PV sistem gücü | 10.696 | kW |
| Toplam enerji üretimi | 10.639.224 | kWh |
| Birim yatırım bedeli | 500 | \$/kW |
| Yatırım maliyeti (Döviz) | 5.348.172 | \$ |
| Yatırım maliyeti (TL) | 39.041.654 | TL |
| İşletme bedeli oranı | %1 | |
| Yıllık işletme maliyeti | 53.482 | \$ |
| Dolar/TL paritesi | 7 | |
| Fırsat maliyeti | %7 | |
| Elektrik birim fiyatı | 0,57 | TL |
| Fatura enerji tüketimi/toplam bedel oranı (vergi, vb. hususlar) | 0,81 | |
| Elektrik birim fiyatının yıllık artışı | %5 | |
| Dolar/TL paritesi yıllık artışı | %2 | |

Tablo 5. Baz durum için ekonomik değerlendirme [33]

| Yıl | PV panel verimi | Enerji üretimi (kW) | Elektrik birim fiyatı | Kazanç | İşletme gideri | İşletme gideri net bugünkü değeri | Net bugünkü kazanç | Net bugünkü maliyet-gelir farkı |
|-----|-----------------|---------------------|-----------------------|----------------|----------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 1 | %100 | 10.639.224 | 0,574 | \$7.539.401,03 | \$53.481,72 | \$49.982,91 | \$7.046.169,18 | \$32.045.467,70 |
| 2 | %99 | 10.532.832 | 0,603 | \$7.837.207,37 | \$54.551,35 | \$47.647,26 | \$6.845.320,44 | \$25.247.794,52 |

| | | | | | | | | |
|----|-----|------------|-------|-----------------|-------------|-------------|----------------|-------------------------|
| 3 | %98 | 10.426.440 | 0,633 | \$8.145.945,84 | \$55.642,38 | \$45.420,76 | \$6.649.518,29 | \$18.643.696,99 |
| 4 | %97 | 10.320.048 | 0,664 | \$8.465.965,14 | \$56.755,23 | \$43.298,29 | \$6.458.644,27 | \$12.228.351,01 |
| 5 | %96 | 10.213.655 | 0,698 | \$8.797.621,51 | \$57.890,33 | \$41.275,01 | \$6.272.582,55 | \$5.997.043,47 |
| 6 | %95 | 10.107.263 | 0,733 | \$9.141.278,60 | \$59.048,14 | \$39.346,27 | \$6.091.219,91 | -\$54.830,17 |
| 7 | %94 | 10.000.871 | 0,769 | \$9.497.307,34 | \$60.229,10 | \$37.507,66 | \$5.914.445,70 | -\$5.931.768,21 |
| 8 | %93 | 9.894.479 | 0,808 | \$9.866.085,76 | \$61.433,68 | \$35.754,96 | \$5.742.151,74 | -\$11.638.164,99 |
| 9 | %92 | 9.788.086 | 0,848 | \$10.247.998,76 | \$62.662,36 | \$34.084,17 | \$5.574.232,32 | -\$17.178.313,14 |
| 10 | %91 | 9.681.694 | 0,890 | \$10.643.437,84 | \$63.915,60 | \$32.491,45 | \$5.410.584,09 | -\$22.556.405,78 |
| 11 | %90 | 9.575.302 | 0,935 | \$11.052.800,84 | \$65.193,92 | \$30.973,16 | \$5.251.106,06 | -\$27.776.538,68 |
| 12 | %89 | 9.468.910 | 0,982 | \$11.476.491,54 | \$66.497,79 | \$29.525,82 | \$5.095.699,49 | -\$32.842.712,36 |
| 13 | %88 | 9.362.518 | 1,031 | \$11.914.919,30 | \$67.827,75 | \$28.146,10 | \$4.944.267,91 | -\$37.758.834,16 |
| 14 | %87 | 9.256.125 | 1,082 | \$12.368.498,62 | \$69.184,30 | \$26.830,87 | \$4.796.717,01 | -\$42.528.720,31 |
| 15 | %86 | 9.149.733 | 1,136 | \$12.837.648,57 | \$70.567,99 | \$25.577,09 | \$4.652.954,62 | -\$47.156.097,84 |
| 16 | %85 | 9.043.341 | 1,193 | \$13.322.792,26 | \$71.979,35 | \$24.381,90 | \$4.512.890,68 | -\$51.644.606,63 |
| 17 | %84 | 8.936.949 | 1,253 | \$13.824.356,21 | \$73.418,94 | \$23.242,56 | \$4.376.437,14 | -\$55.997.801,21 |
| 18 | %83 | 8.830.556 | 1,316 | \$14.342.769,56 | \$74.887,32 | \$22.156,45 | \$4.243.507,97 | -\$60.219.152,73 |
| 19 | %82 | 8.724.164 | 1,381 | \$14.878.463,37 | \$76.385,06 | \$21.121,11 | \$4.114.019,10 | -\$64.312.050,73 |
| 20 | %81 | 8.617.772 | 1,450 | \$15.431.869,63 | \$77.912,76 | \$20.134,14 | \$3.987.888,36 | -\$68.279.804,95 |

Tablo 5'te görüldüğü gibi, baz senaryoda yatırımın 6. yıl içinde kendini geri ödediği görülmektedir. Bu durumda, yaklaşık 65.000 konut alanında bulunan binaların çatılarına kurulacak olan 10,7 MW kapasiteli fotovoltaik sistemin başlangıçta 5,4 milyon dolarlık bir yatırım gerektirdiği belirlenmiştir. Bundan sonra, aşağıda verilen senaryo analizleriyle sistemin farklı girdilere duyarlılığı değerlendirilecektir.

- Durum-1: Elektrik birim fiyatının yıllık artışının %5 yerine %10 olması durumu
- Durum-2: Dolar/TL paritesi yıllık artışının %2 yerine %5 olması durumu
- Durum-3: Dolar/TL paritesi yıllık artışının %2 yerine %10 olması durumu
- Durum-4: Paranın zamana bağlı değerinin değişimine tekabül eden fırsat maliyeti oranının %7 yerine %12 olması durumu

Belirtilen durum analizlerinde, her durumun baz senaryoya göre farklı olduğu ve analizlerin birbirinden tamamen bağımsız olarak değerlendirildiği vurgulanmalıdır. Örneğin, Durum-2 için Dolar/TL paritesi farklılığı dikkate alınırken, Durum-1'de ele alınan elektrik birim fiyatı baz senaryodaki gibi değerlendirilmiştir.

Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9 ilgili durumlara göre nakit akışları ve ekonomik değerlendirmeleri göstermektedir. Durum-1'de sistem ekonomisi olumlu bir durumu temsil ederken, yatırımın geri ödemesi 6. yıl içinde gerçekleşmektedir. Durum-2, Durum-3 ve Durum-4 ise ekonomik olarak olumsuzluklar içermekte olup yatırımın geri ödemesi sırasıyla 6, 6 ve 8. yıllarda gerçekleşmektedir. Bununla birlikte, birçok parametreden etkilenmesine rağmen sistem için yapılan yatırımın geri ödemesinin her durumda makul bir süreye denk geldiği görülmektedir.

Tablo 6. Durum-1 için ekonomik değerlendirme [33]

| Yıl | PV panel verimi | Enerji üretimi (kW) | Elektrik birim fiyatı | Kazanç | İşletme gideri | İşletme gideri net bugünkü değeri | Net bugünkü kazanç | Net bugünkü maliyet-gelir farkı |
|-----|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------------|----------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 1 | 100% | 10.639.224 | 0,574 | \$7.539.401,03 | \$53.481,72 | \$49.982,91 | \$7.046.169,18 | \$32.045.467,70 |
| 2 | 99% | 10.532.832 | 0,631 | \$8.210.407,72 | \$54.551,35 | \$47.647,26 | \$7.171.288,08 | \$24.921.826,88 |
| 3 | 98% | 10.426.440 | 0,695 | \$8.940.221,74 | \$55.642,38 | \$45.420,76 | \$7.297.884,02 | \$17.669.363,62 |
| 4 | 97% | 10.320.048 | 0,764 | \$9.733.894,48 | \$56.755,23 | \$43.298,29 | \$7.425.941,50 | \$10.286.720,41 |
| 5 | 96% | 10.213.655 | 0,840 | \$10.596.899,56 | \$57.890,33 | \$41.275,01 | \$7.555.442,93 | \$2.772.552,49 |
| 6 | 95% | 10.107.263 | 0,924 | \$11.535.166,71 | \$59.048,14 | \$39.346,27 | \$7.686.368,64 | -\$4.874.469,88 |
| 7 | 94% | 10.000.871 | 1,017 | \$12.555.118,29 | \$60.229,10 | \$37.507,66 | \$7.818.696,68 | -\$12.655.658,90 |
| 8 | 93% | 9.894.479 | 1,119 | \$13.663.708,52 | \$61.433,68 | \$35.754,96 | \$7.952.402,76 | -\$20.572.306,70 |
| 9 | 92% | 9.788.086 | 1,230 | \$14.868.465,62 | \$62.662,36 | \$34.084,17 | \$8.087.460,15 | -\$28.625.682,68 |
| 10 | 91% | 9.681.694 | 1,353 | \$16.177.537,05 | \$63.915,60 | \$32.491,45 | \$8.223.839,51 | -\$36.817.030,74 |
| 11 | 90% | 9.575.302 | 1,489 | \$17.599.738,11 | \$65.193,92 | \$30.973,16 | \$8.361.508,79 | -\$45.147.566,37 |
| 12 | 89% | 9.468.910 | 1,638 | \$19.144.604,01 | \$66.497,79 | \$29.525,82 | \$8.500.433,13 | -\$53.618.473,69 |
| 13 | 88% | 9.362.518 | 1,801 | \$20.822.445,71 | \$67.827,75 | \$28.146,10 | \$8.640.574,69 | -\$62.230.902,27 |
| 14 | 87% | 9.256.125 | 1,982 | \$22.644.409,71 | \$69.184,30 | \$26.830,87 | \$8.781.892,50 | -\$70.985.963,91 |
| 15 | 86% | 9.149.733 | 2,180 | \$24.622.542,05 | \$70.567,99 | \$25.577,09 | \$8.924.342,36 | -\$79.884.729,18 |
| 16 | 85% | 9.043.341 | 2,398 | \$26.769.856,76 | \$71.979,35 | \$24.381,90 | \$9.067.876,66 | -\$88.928.223,95 |
| 17 | 84% | 8.936.949 | 2,638 | \$29.100.409,00 | \$73.418,94 | \$23.242,56 | \$9.212.444,24 | -\$98.117.425,63 |
| 18 | 83% | 8.830.556 | 2,901 | \$31.629.373,12 | \$74.887,32 | \$22.156,45 | \$9.357.990,20 | -\$107.453.259,38 |
| 19 | 82% | 8.724.164 | 3,191 | \$34.373.125,96 | \$76.385,06 | \$21.121,11 | \$9.504.455,76 | -\$116.936.594,03 |
| 20 | 81% | 8.617.772 | 3,511 | \$37.349.335,65 | \$77.912,76 | \$20.134,14 | \$9.651.778,07 | -\$126.568.237,97 |

Tablo 7. Durum-2 için ekonomik değerlendirme [33]

| Yıl | PV panel verimi | Enerji üretimi (kW) | Elektrik birim fiyatı | Kazanç | İşletme gideri | İşletme gideri net bugünkü değeri | Net bugünkü kazanç | Net bugünkü maliyet-gelir farkı |
|-----|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------------|----------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 1 | 100% | 10.639.224 | 0,574 | \$7.539.401,03 | \$53.481,72 | \$49.982,91 | \$7.046.169,18 | \$32.045.467,70 |
| 2 | 99% | 10.532.832 | 0,603 | \$7.837.207,37 | \$56.155,80 | \$49.048,65 | \$6.845.320,44 | \$25.249.195,91 |
| 3 | 98% | 10.426.440 | 0,633 | \$8.145.945,84 | \$58.963,59 | \$48.131,86 | \$6.649.518,29 | \$18.647.809,48 |
| 4 | 97% | 10.320.048 | 0,664 | \$8.465.965,14 | \$61.911,77 | \$47.232,20 | \$6.458.644,27 | \$12.236.397,40 |
| 5 | 96% | 10.213.655 | 0,698 | \$8.797.621,51 | \$65.007,36 | \$46.349,35 | \$6.272.582,55 | \$6.010.164,21 |
| 6 | 95% | 10.107.263 | 0,733 | \$9.141.278,60 | \$68.257,73 | \$45.483,01 | \$6.091.219,91 | -\$35.572,69 |
| 7 | 94% | 10.000.871 | 0,769 | \$9.497.307,34 | \$71.670,62 | \$44.632,86 | \$5.914.445,70 | -\$5.905.385,53 |
| 8 | 93% | 9.894.479 | 0,808 | \$9.866.085,76 | \$75.254,15 | \$43.798,60 | \$5.742.151,74 | -\$11.603.738,67 |
| 9 | 92% | 9.788.086 | 0,848 | \$10.247.998,76 | \$79.016,86 | \$42.979,93 | \$5.574.232,32 | -\$17.134.991,06 |
| 10 | 91% | 9.681.694 | 0,890 | \$10.643.437,84 | \$82.967,70 | \$42.176,57 | \$5.410.584,09 | -\$22.503.398,58 |
| 11 | 90% | 9.575.302 | 0,935 | \$11.052.800,84 | \$87.116,08 | \$41.388,22 | \$5.251.106,06 | -\$27.713.116,42 |
| 12 | 89% | 9.468.910 | 0,982 | \$11.476.491,54 | \$91.471,89 | \$40.614,61 | \$5.095.699,49 | -\$32.768.201,30 |
| 13 | 88% | 9.362.518 | 1,031 | \$11.914.919,30 | \$96.045,48 | \$39.855,46 | \$4.944.267,91 | -\$37.672.613,75 |
| 14 | 87% | 9.256.125 | 1,082 | \$12.368.498,62 | \$100.847,76 | \$39.110,50 | \$4.796.717,01 | -\$42.430.220,26 |
| 15 | 86% | 9.149.733 | 1,136 | \$12.837.648,57 | \$105.890,14 | \$38.379,46 | \$4.652.954,62 | -\$47.044.795,42 |
| 16 | 85% | 9.043.341 | 1,193 | \$13.322.792,26 | \$111.184,65 | \$37.662,09 | \$4.512.890,68 | -\$51.520.024,01 |
| 17 | 84% | 8.936.949 | 1,253 | \$13.824.356,21 | \$116.743,88 | \$36.958,12 | \$4.376.437,14 | -\$55.859.503,03 |
| 18 | 83% | 8.830.556 | 1,316 | \$14.342.769,56 | \$122.581,08 | \$36.267,32 | \$4.243.507,97 | -\$60.066.743,69 |
| 19 | 82% | 8.724.164 | 1,381 | \$14.878.463,37 | \$128.710,13 | \$35.589,42 | \$4.114.019,10 | -\$64.145.173,37 |
| 20 | 81% | 8.617.772 | 1,450 | \$15.431.869,63 | \$135.145,64 | \$34.924,20 | \$3.987.888,36 | -\$68.098.137,52 |

Tablo 8. Durum-3 için ekonomik değerlendirme [33]

| Yıl | PV panel verimi | Enerji üretimi (kW) | Elektrik birim fiyatı | Kazanç | İşletme gideri | İşletme gideri net bugünkü değeri | Net bugünkü kazanç | Net bugünkü maliyet-gelir farkı |
|-----|-----------------|---------------------|-----------------------|----------------|----------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 1 | 100% | 10.639.224 | 0,574 | \$7.539.401,03 | \$53.481,72 | \$49.982,91 | \$7.046.169,18 | \$32.045.467,70 |
| 2 | 99% | 10.532.832 | 0,603 | \$7.837.207,37 | \$58.829,89 | \$51.384,30 | \$6.845.320,44 | \$25.251.531,56 |
| 3 | 98% | 10.426.440 | 0,633 | \$8.145.945,84 | \$64.712,88 | \$52.824,99 | \$6.649.518,29 | \$18.654.838,26 |
| 4 | 97% | 10.320.048 | 0,664 | \$8.465.965,14 | \$71.184,17 | \$54.306,06 | \$6.458.644,27 | \$12.250.500,05 |
| 5 | 96% | 10.213.655 | 0,698 | \$8.797.621,51 | \$78.302,58 | \$55.828,66 | \$6.272.582,55 | \$6.033.746,16 |

| | | | | | | | | |
|----|-----|------------|-------|-----------------|--------------|-------------|----------------|------------------|
| 6 | 95% | 10.107.263 | 0,733 | \$9.141.278,60 | \$86.132,84 | \$57.393,95 | \$6.091.219,91 | -\$79,80 |
| 7 | 94% | 10.000.871 | 0,769 | \$9.497.307,34 | \$94.746,13 | \$59.003,13 | \$5.914.445,70 | -\$5.855.522,37 |
| 8 | 93% | 9.894.479 | 0,808 | \$9.866.085,76 | \$104.220,74 | \$60.657,42 | \$5.742.151,74 | -\$11.537.016,69 |
| 9 | 92% | 9.788.086 | 0,848 | \$10.247.998,76 | \$114.642,81 | \$62.358,09 | \$5.574.232,32 | -\$17.048.890,92 |
| 10 | 91% | 9.681.694 | 0,890 | \$10.643.437,84 | \$126.107,09 | \$64.106,45 | \$5.410.584,09 | -\$22.395.368,56 |
| 11 | 90% | 9.575.302 | 0,935 | \$11.052.800,84 | \$138.717,80 | \$65.903,83 | \$5.251.106,06 | -\$27.580.570,79 |
| 12 | 89% | 9.468.910 | 0,982 | \$11.476.491,54 | \$152.589,58 | \$67.751,60 | \$5.095.699,49 | -\$32.608.518,68 |
| 13 | 88% | 9.362.518 | 1,031 | \$11.914.919,30 | \$167.848,54 | \$69.651,18 | \$4.944.267,91 | -\$37.483.135,42 |
| 14 | 87% | 9.256.125 | 1,082 | \$12.368.498,62 | \$184.633,39 | \$71.604,01 | \$4.796.717,01 | -\$42.208.248,41 |
| 15 | 86% | 9.149.733 | 1,136 | \$12.837.648,57 | \$203.096,73 | \$73.611,60 | \$4.652.954,62 | -\$46.787.591,44 |
| 16 | 85% | 9.043.341 | 1,193 | \$13.322.792,26 | \$223.406,41 | \$75.675,48 | \$4.512.890,68 | -\$51.224.806,63 |
| 17 | 84% | 8.936.949 | 1,253 | \$13.824.356,21 | \$245.747,05 | \$77.797,22 | \$4.376.437,14 | -\$55.523.446,55 |
| 18 | 83% | 8.830.556 | 1,316 | \$14.342.769,56 | \$270.321,75 | \$79.978,45 | \$4.243.507,97 | -\$59.686.976,07 |
| 19 | 82% | 8.724.164 | 1,381 | \$14.878.463,37 | \$297.353,93 | \$82.220,84 | \$4.114.019,10 | -\$63.718.774,34 |
| 20 | 81% | 8.617.772 | 1,450 | \$15.431.869,63 | \$327.089,32 | \$84.526,10 | \$3.987.888,36 | -\$67.622.136,60 |

Tablo 9. Durum-4 için ekonomik değerlendirme [33]

| Yıl | PV panel verimi | Enerji üretimi (kW) | Elektrik birim fiyatı | Kazanç | İşletme gideri | İşletme gideri net bugünkü değeri | Net bugünkü kazanç | Net bugünkü maliyet-gelir farkı |
|-----|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------------|----------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 1 | 100% | 10.639.224 | 0,574 | \$7.539.401,03 | \$53.481,72 | \$47.751,53 | \$6.731.608,06 | \$32.357.797,44 |
| 2 | 99% | 10.532.832 | 0,603 | \$7.837.207,37 | \$54.551,35 | \$43.488,00 | \$6.247.773,73 | \$26.153.511,71 |
| 3 | 98% | 10.426.440 | 0,633 | \$8.145.945,84 | \$55.642,38 | \$39.605,15 | \$5.798.123,35 | \$20.394.993,51 |
| 4 | 97% | 10.320.048 | 0,664 | \$8.465.965,14 | \$56.755,23 | \$36.068,97 | \$5.380.273,90 | \$15.050.788,59 |
| 5 | 96% | 10.213.655 | 0,698 | \$8.797.621,51 | \$57.890,33 | \$32.848,53 | \$4.992.006,71 | \$10.091.630,41 |
| 6 | 95% | 10.107.263 | 0,733 | \$9.141.278,60 | \$59.048,14 | \$29.915,62 | \$4.631.256,22 | \$5.490.289,81 |
| 7 | 94% | 10.000.871 | 0,769 | \$9.497.307,34 | \$60.229,10 | \$27.244,59 | \$4.296.099,52 | \$1.221.434,87 |
| 8 | 93% | 9.894.479 | 0,808 | \$9.866.085,76 | \$61.433,68 | \$24.812,03 | \$3.984.746,57 | -\$2.738.499,66 |
| 9 | 92% | 9.788.086 | 0,848 | \$10.247.998,76 | \$62.662,36 | \$22.596,67 | \$3.695.531,09 | -\$6.411.434,08 |
| 10 | 91% | 9.681.694 | 0,890 | \$10.643.437,84 | \$63.915,60 | \$20.579,11 | \$3.426.902,13 | -\$9.817.757,09 |
| 11 | 90% | 9.575.302 | 0,935 | \$11.052.800,84 | \$65.193,92 | \$18.741,69 | \$3.177.416,12 | -\$12.976.431,52 |
| 12 | 89% | 9.468.910 | 0,982 | \$11.476.491,54 | \$66.497,79 | \$17.068,33 | \$2.945.729,53 | -\$15.905.092,73 |
| 13 | 88% | 9.362.518 | 1,031 | \$11.914.919,30 | \$67.827,75 | \$15.544,37 | \$2.730.591,98 | -\$18.620.140,34 |
| 14 | 87% | 9.256.125 | 1,082 | \$12.368.498,62 | \$69.184,30 | \$14.156,48 | \$2.530.839,87 | -\$21.136.823,73 |
| 15 | 86% | 9.149.733 | 1,136 | \$12.837.648,57 | \$70.567,99 | \$12.892,51 | \$2.345.390,40 | -\$23.469.321,62 |

| | | | | | | | | |
|----|-----|-----------|-------|-----------------|-------------|-------------|----------------|------------------|
| 16 | 85% | 9.043.341 | 1,193 | \$13.322.792,26 | \$71.979,35 | \$11.741,39 | \$2.173.236,01 | -\$25.630.816,24 |
| 17 | 84% | 8.936.949 | 1,253 | \$13.824.356,21 | \$73.418,94 | \$10.693,05 | \$2.013.439,25 | -\$27.633.562,44 |
| 18 | 83% | 8.830.556 | 1,316 | \$14.342.769,56 | \$74.887,32 | \$9.738,32 | \$1.865.127,88 | -\$29.488.952,00 |
| 19 | 82% | 8.724.164 | 1,381 | \$14.878.463,37 | \$76.385,06 | \$8.868,82 | \$1.727.490,43 | -\$31.207.573,60 |
| 20 | 81% | 8.617.772 | 1,450 | \$15.431.869,63 | \$77.912,76 | \$8.076,96 | \$1.599.772,00 | -\$32.799.268,64 |

Üretilcek ek gelirler ve daha verimli çalışma sayesinde sağlanan tasarruflar:

Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, sistemde yerinde üretim ve kullanıma, enerji tüketimindeki dağıtım sistemi kayıplarının azalmasına ve buna bağlı olarak ülke ekonomisine katkı sağlamaya yöneliktir. Ayrıca, yerinde üretim birimlerinin ortak alan enerji tüketimini karşılaması, konut sahiplerinin aidat giderlerinin azaltılmasına olanak sağlayacaktır.

Diğer olası uygulamalar:

Fotovoltaik sistemler dışında, peyzaj içinde yer alan yatay eksenli rüzgâr türbinleri, çatı veya peyzaj içinde yer alan dikey eksenli rüzgâr türbinleri, ev içinde kullanılan sayaç arkası enerji depolama sistemleri ve konutlarda kullanılan ısı pompaları gibi alternatif enerji çözümleri de projede değerlendirilebilecek seçenekler arasındadır. Bununla birlikte, yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin binalar arasında yüksek türbülans nedeniyle verimliliğinin azalması, dikey eksenli türbinlerin düşük verimlilik oranları, sayaç arkası enerji depolama sistemlerinin mevcut maliyetleri ve dinamik fiyatlandırmanın henüz perakende olarak uygulanmaması gibi nedenlerle, konut alanlarında Yenilenebilir Enerji Uygulamaları için farklı yaklaşımları öncelikli olarak önerilmelidir. Örneğin, rüzgâr türbinleri için daha küçük boyutlu ve farkındalık oluşturacak şekilde dikey veya yatay eksenli uygulamalar tercih edilebilir. Isı pompaları için ise yaklaşık 100-120 m² büyüklüğündeki bir konutta kullanılacak bir ısı pompasının maliyeti marka ve teknik özelliklere bağlı olarak 20.000-25.000 TL aralığında değişebilmektedir [27].

Enerji üretiminin yanı sıra dekoratif bir amaç taşıyan, 10.8 kW kurulu güce sahip bir rüzgâr ağacının maliyeti yaklaşık 50.000 Euro'dur (Yaklaşık olarak 55.000 \$) [28]. Ayrıca, 2.5 kW kurulu güce sahip bir güneş çiçeğinin maliyeti ise yaklaşık 25.000 \$ olarak belirlenmiştir [29]. Dikey ve yatay eksenli rüzgâr türbinleri ve güneş enerjisiyle çalışan aydınlatma direkleri, güç, marka ve konfigürasyona bağlı olarak 100 ila 1.000 \$ arasında değişmektedir [30]. Küçük ölçekli dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin maliyeti ise marka ve modele bağlı olarak yaklaşık 1.000 dolar civarındadır [31]. Bu nedenle, rüzgâr ağaçları veya güneş çiçekleri gibi diğer sistemlerden sınırlı sayıda satın alınarak peyzajda farkındalık yaratmak için kullanılabilir. Rüzgâr veya güneş enerjisiyle çalışan aydınlatma direkleri de peyzajdaki yürüyüş yollarının aydınlatması için kullanılabilir. Ayrıca, dikey eksenli rüzgâr türbinlerinden bina başına bir veya iki adet kullanılarak enerji üretiminden ziyade farkındalık amacıyla uygulamalar gerçekleştirilebilir.

5. Ekonomik Analiz

Yenilenebilir Enerji Uygulamalarının ekonomik etkileri aşağıdaki gibidir:

- Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik ederek yeni iş fırsatları yaratır. Sektördeki büyüme, istihdam olanaklarının artmasına katkı sağlar.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik, geleneksel enerji kaynaklarına göre daha düşük maliyetli veya hatta ücretsiz olabilir. Bu durum, enerji faturalarında azalmaya ve tüketici tasarruflarına yol açar.
- Yerli enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eder. Bu da enerji ithalatının ve dışa bağımlılığın azaltılması anlamına gelir, ülke ekonomisine olumlu etkiler sağlar.
- Çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji üretimine katkıda bulunur. Bu durum, çevre kirliliği ve doğal kaynak tükenmesi gibi sorunları azaltarak gelecek nesillere daha iyi bir yaşam alanı bırakılmasını sağlar.
- Yenilenebilir enerji sektörü, yatırımcılar ve işletmeler için çeşitli fırsatlar sunar. Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, yeşil finansman, enerji verimliliği hizmetleri, ekipman ve teknoloji sağlayıcıları gibi bir dizi yan sektörün gelişmesine katkıda bulunur.
- Yenilenebilir enerji sektöründeki büyüme, ekonomik büyümeye olumlu katkı sağlar. Yeni işletmelerin açılması, yatırımların artması ve enerji sektöründeki faaliyetlerin çeşitlenmesi ekonomik büyümeyi destekler.
- Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, ülkeler arasındaki dış ticaret dengesini etkileyebilir. Enerji ihracatçısı ülkeler, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak enerji ihracatını artırabilir ve dış ticaret fazlası elde edebilir.

6. Sosyal Etkinin Analizi

Yenilenebilir Enerji Uygulamalarının sosyal etkileri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, yeni iş imkânları yaratır ve istihdam oluşturur. Bu uygulamalar, yerel topluluklarda istihdam fırsatları sağlayarak sosyal refahı artırır.
- Toplulukların bu uygulamalara katılımını teşvik eder. Özellikle yerel enerji kooperatifleri, toplumun enerji üretimine ve yönetimine katkıda bulunmasını sağlar, vatandaşların aktif rol almasına imkân tanır.

- Enerji kaynakları, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik konularında eğitim ve farkındalık oluşturur. Bu sayede toplumun enerji konusunda bilinçlenmesi ve sürdürülebilir yaşam hakkında daha fazla bilgi sahibi olması sağlanır.
- Çevre kirliliğini azaltarak insan sağlığını korur. Fosil yakıt kullanımının azalması, hava kalitesinin iyileşmesine ve insanların sağlıklı bir çevrede yaşamasına katkıda bulunur.
- Yerel ekonomiyi destekler. Proje faaliyetleri için kullanılan malzemelerin ve hizmetlerin yerel olarak tedarik edilmesi, yerel işletmelerin büyümesine ve ekonomik canlanmaya katkı sağlar.
- Enerji yoksulluğu ile mücadelede önemli bir rol oynar. Elektrik enerjisine erişimi olmayan bölgelerde, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisiyle enerji erişimi sağlanır, yaşam standartları yükseltilir.
- İklim değişikliğiyle mücadelede etkilidir. Karbon emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanılması, gelecek nesiller için daha yaşanabilir bir dünya yaratmayı hedefler.
- Bu uygulamaların gerçekleştirileceği bölgelerde, yenilenebilir enerji farkındalığının artırılması için eğitimlerin verilmesi sosyal açıdan da ek katkı sağlayacaktır.

7. Çevresel Etkinin Analizi

Bazı istatistiki veriler ile bu bölümü açıklamak mümkündür. Yenilenebilir enerji tabanlı üretimin fosil yakıt tüketimine ikame edilmesi, emisyon salınımının azaltılması açısından önemli bir rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalara göre, 1 MWh'lik yenilenebilir enerji üretimi yaklaşık 0,7 ton eşdeğer CO₂ salınımını bertaraf edebilmektedir [32]. Bu verileri baz alarak, yaklaşık 10.640 MWh'lik yenilenebilir enerji üretimi yıllık olarak 7.500 ton eşdeğer CO₂ salınımını azaltma potansiyeline sahiptir. Bu, büyükşehirler gibi yoğun nüfuslu bölgelerde Yenilenebilir Enerji Uygulamalarının yaygınlaşmasıyla çevresel sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesinin artması açısından önemli bir katkı sağlar. Güneş enerjisi sistemlerinin en büyük avantajı, işletim süreçlerinde emisyon salınımının olmamasıdır, ancak yaşam döngüsü göz önünde bulundurulduğunda hiçbir enerji kaynağı sıfır emisyonlu değildir.

8. Risk Analizi

Yenilenebilir Enerji Uygulamalarının birden fazla riski olabilir. Aşağıda potansiyel oluşturan tüm risklere yer verilmektedir:

- **Finansal Riskler:**

- Yüksek yatırım maliyetleri
- Fiyat dalgalanmaları ve belirsizlikler
- Finansman sorunları ve yatırımcı ilgisi eksikliği
- Düşük enerji fiyatları ve rekabet
- **Teknolojik Riskler:**
 - Ekipman arızaları ve performans düşüklüğü
 - Hava koşullarına bağlı dalgalanmalar
 - Teknolojik ilerlemeye bağlı hızlı eskime
 - Bakım gereksinimleri ve maliyetleri
- **Politik ve Hukuki Riskler:**
 - Politik istikrarsızlık ve değişen enerji politikaları
 - Hükümet düzenlemeleri ve mevzuat değişiklikleri
 - Tarife yapılarının revizyonu
 - Vergi teşviklerinin azalması veya kaldırılması
- **İşletme ve Bakım Riskleri:**
 - İşletme hataları ve operasyonel sorunlar
 - Enerji verimliliğinde düşüş ve performans sorunları
 - Güvenlik tehditleri ve veri güvenliği riskleri
 - Ekipman arızaları ve onarım maliyetleri
- **Çevresel ve Toplumsal Kabul Riskleri:**
 - Doğal yaşam alanlarına ve ekosisteme etkiler
 - Görsel ve gürültü kirliliği
 - Yerel toplulukların direnişi veya kabul edilebilirlik sorunları
 - Etkilenen bölgelerdeki toplumsal ve kültürel değerlerin ihlali
- **Rüzgâr ve Güneş Kaynaklı Riskler:**
 - Rüzgâr hızı ve güneş ışığı dalgalanmaları
 - İklim değişikliği ve hava koşullarının etkisi
 - Verimlilik tahminlerindeki belirsizlikler
 - Kaynakların bölgesel ve sezonsal dağılımı

9. Genel Değerlendirme ve Sonuç

Bu raporda, farklı ölçeklerdeki şehir içi Yenilenebilir Enerji Uygulamaları incelenmiştir. Örnek vakada 10.000 hektarlık, 200.000 kişinin yaşadığı varsayılan bir yerleşim için bir fizibilite çalışması yapılmıştır ve çatı üstü fotovoltaik üretim sistemi konseptinin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışmanın

sonuçlarına göre, ekonomik zorluklara rağmen bu uygulamanın makul bir geri dönüş süresine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, çevresel ve sosyal etkilerin bu konseptin uygulanmasıyla birlikte ek faydalar sağladığı belirlenmiştir. Gelecekte, ülkemizde pilot bölgelerde olduğu gibi yenilikçi alternatif enerji uygulamalarının tekno-ekonomik olarak analiz edilebileceği çalışmalara odaklanılabilir. Özellikle enerji depolama sistemlerinin, toplu konut alanlarında uygulanması ve elektrikli araçların V2G modunda kullanılması gibi alanlarda öncü rol oynayabilir.

10. Kaynakça

- [1] New World Wind - Wind trees [<https://newworldwind.com/en/>]
- [2] Smart Flower – Solar Flowers [<https://smartflower.com/products/>]
- [3] Pecan Street Initiative [<https://www.pecanstreet.org/>]
- [4] IEEE Smart Village Initiative [<https://smartvillage.ieee.org/>]
- [5] Amsterdam Arena V2G Implementation – Press Release [https://www.mobilityhouse.com/int_en/magazine/press-releases/the-mobility-house-amsterdam-arena-v2g-project.html]
- [6] SEEV4-City –EU EU Interreg North Sea Region Programme Project [<https://www.seev4-city.eu/projects/johan-cruiff-arena/>]
- [7] V2G Applications in Amsterdam [<http://www.amsterdamvehicle2grid.nl/>]
- [8] Tesla PowerPack Product Information [<https://www.tesla.com/powerpack>]
- [9] Tesla PowerPack Australia Implementation Example [https://www.tesla.com/is_IS/blog/tesla-powerpack-enable-large-scale-sustainable-energy-south-australia]
- [10] Tesla PowerWall Product Information [<https://www.tesla.com/powerwall>]
- [11] Soltaro Product Information [<https://soltaro.com/>]
- [12] Pavegen Smart City Applications [<https://pavegen.com/smart-cities/>]
- [13] Innovattech Piezoelectric Implementations [<https://www.israel21c.org/innovattech-of-israel-generates-electricity-from-road-traffic/>]
- [14] Göreme Rüzgâr Enerjisi Uygulaması Haberi [<http://www.fibhaber.com/cevre/goreme-de-ruzgar-panelleri-kaldirildi-h105049.html>]
- [15] İETT Güneş Enerjili Otobüs Durağı Uygulaması Haberi [<https://www.enerjigunlugu.net/iett-den-gunes-enerjili-otobus-duragi-18313h.htm>]
- [16] Gaziantep Güneş Enerjili Otobüs Durağı Uygulaması Haberi [<https://www.solar.ist/gaziantep-otobus-duraklari-gunesten-enerji-uretecek/>]
- [17] Antalya Güneş Enerjili Otobüs Durağı Uygulaması Haberi [<https://www.haberler.com/dunyanin-ilk-gunes-enerjili-klimali-duragi-antalya-3919744-haberi/>]
- [18] İzmir Güneş Enerjili Otobüs Durağı Uygulaması Haberi [<https://www.izmir.bel.tr/tr/Haberler/eshot-tum-elektrik-ihtiyacini-gunesten-saglayacak-41268/156>]

- [19] ELEKTRİK PİYASASINDA LİSANSSIZ ELEKTRİK ÜRETİM YÖNETMELİĞİ [<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190512-1.htm>]
- [20] Gazi Teknopark Gölbaşı Yerleşkesi Mikroşebeke Uygulaması Haberi [<https://www.yenienerji.com/haberler/seas-golbasi-mikro-sebeke-demonstrasyonu-avrupa-daki-son-10-yilin-en-inovatif-projesi-oldu>]
- [21] EPDK Destekli Ar-Ge Projeleri Listesi [<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-138/arge-projeleri>]
- [22] İSTAÇ Çöpgazı Tabanlı Elektrik Üretim Tesisi [<https://www.istac.istanbul/tr/temiz-istanbul/evsel-atik-yonetimi/cogazindan-enerji-uretimi>]
- [23] ELDER E-Bülten [<http://www.elder.org.tr/ebulten/bulten214.html>]
- [24] PVSOL Software – Online [<http://pvsol-online.valentin-software.com/#/>]
- [25] Erdinc, O., Tascikaraoglu, A., Paterakis, N. G., Dursun, I., Sinim, M. C., Catalão, J. P. S., “Comprehensive Optimization Model for Sizing and Siting of DG Units, EV Charging Stations, and Energy Storage Systems”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2018, 9:3871-3882.
- [26] Smart Solar 265-285 W PV Panels [<https://smartsolar.com.tr/wp-content/uploads/2020/02/Premium-Panel-265-285W.pdf>]
- [27] Özmak Mühendislik - Isı Pompası Uygulamaları [<http://www.isipompasi.net.tr/>]
- [28] Wind Tree Costs [<https://newworldwind.com/en/wind-tree/>]
- [29] Solar Flower Costs [<https://www.solar.com/learn/smartflower-solar-comprehensive-review/>]
- [30] Renewable Street Lights – AliBaba [<https://www.alibaba.com/showroom/vertical-wind-turbine-street-lights.html>]
- [31] Vertical Axis Wind Turbines [<https://www.alibaba.com/showroom/vertical-axis-wind-turbine-price.html>]
- [32] Goh, T., Ang, B. W., “Quantifying CO₂ Emission Reductions from Renewables and Nuclear Energy – Some Paradoxes”, *Energy Policy*, 2018, 113:651-662.
- [33] TÜBİTAK- TÜSSİDE. (Ekim 2020). Esenler Belediyesi Akıllı Şehir Uygulamaları Fizibilite Projesi. Yenilenebilir Enerji Uygulamaları Değerlendirme Raporu.