T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

SÜRDÜRÜLEBİLİR KAMU YAPILARI İÇİN YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: KONYAALTI ÖRNEĞİ

Sena Zeliha TAŞKAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2026

ANTALYA

T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

SÜRDÜRÜLEBİLİR KAMU YAPILARI İÇİN YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: KONYAALTI ÖRNEĞİ

Sena Zeliha TAŞKAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2026

ANTALYA

T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR KAMU YAPILARI İÇİN YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: KONYAALTI ÖRNEĞİ

Sena Zeliha TAŞKAN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2026

ÖZET

SÜRDÜRÜLEBİLİR KAMU YAPILARI İÇİN YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: KONYAALTI ÖRNEĞİ

Sena Zeliha TAŞKAN

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üye Ahmet ÇOŞGUN

Ocak 2026; 92 sayfa

Bu tez çalışması, Antalya ili Konyaaltı ilçesinde yer alan Konyaaltı Belediyesi hizmet binasında yenilenebilir enerji sistemleri ve sürdürülebilir su yönetimi uygulamalarının fizibilitesini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında fotovoltaik sistemler, rüzgar enerjisi potansiyeli ve yağmur suyu hasadı sistemleri incelenmiştir.

Araştırmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) ve Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) verileri kullanılmıştır. Fotovoltaik sistem tasarımı PV*SOL Premium simülasyon yazılımı ile gerçekleştirilmiş, yağmur suyu hasadı potansiyeli DIN 1989 standardına uygun olarak analiz edilmiştir.

Bulgular, 1.512,8 m² toplam çatı alanının 700 m²'sinin (%46,3) fotovoltaik panel kurulumuna uygun olduğunu göstermiştir. N-tipi TOPCon monokristal panel teknolojisi ile 122,13 kWp kurulu güç kapasitesinde tasarlanan sistem, yıllık 163.596 kWh enerji üretimi ve %68,97 sistem kullanım oranı ile binanın 931.657,86 kWh'lik yıllık elektrik tüketiminin %17,6'sını karşılayabilecektir. Gölgelemeden kaynaklanan kayıp %15,0 olarak hesaplanmış olup, sistemin yıllık 71,0 ton CO_2 emisyonunu önleyeceği tespit edilmiştir. Rüzgar enerjisi değerlendirmesinde, bölgedeki ortalama rüzgar hızının (3-4 m/s) ekonomik üretim için gerekli minimum değerlerin (6-7 m/s) altında kalması nedeniyle uygulamanın uygun olmadığı belirlenmiştir. Yağmur suyu hasadı analizinde ise yıllık 1.039,8 mm yağış potansiyeli ile 991,0 m³ net yağmur suyu toplanabileceği hesaplanmıştır. DIN 1989 yöntemine göre 60 m³ kapasiteli optimal depolama sistemiyle yıllık 923 m³ yağmur suyu değerlendirilerek içme suyu gerektirmeyen talebin %16,4'ünün, toplam su tüketiminin ise %11,5'inin karşılanabileceği tespit edilmiştir.

Çalışma, Akdeniz iklim kuşağında yer alan Antalya için güneş enerjisinin optimal yenilenebilir enerji kaynağı olduğu, yağmur suyu hasadının ise su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine önemli katkı sağlayacağı ortaya konmuştur. Bu çalışma, kamu binalarının sürdürülebilir dönüşümü için referans model niteliği taşımaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Akdeniz iklimi, Fotovoltaik sistem, Kamu binaları, Sürdürülebilir su yönetimi, Yağmur suyu hasadı, Yenilenebilir enerji

JÜRİ: Dr. Öğr. Üyesi. Ahmet ÇOŞGUN

ABSTRACT

EVALUATION OF RENEWABLE ENERGY SYSTEMS FOR SUSTAINABLE PUBLIC BUILDINGS: THE CASE OF KONYAALTI

Sena Zeliha TAŞKAN

Master's Degree, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ahmet COSGUN

January 2026; 92 **pages**

This thesis study aims to evaluate the technical and economic feasibility of renewable energy systems and sustainable water management applications in the Konyaaltı Municipality service building located in the Konyaaltı district of Antalya province. Within the scope of the study, photovoltaic systems, wind energy potential, and rainwater harvesting systems were examined.

The research utilized data from the Turkish State Meteorological Service, Solar Energy Potential Atlas (GEPA), and Wind Energy Potential Atlas (REPA). The photovoltaic system design was performed using PV*SOL Premium simulation software, while the rainwater harvesting potential was analyzed in accordance with the DIN 1989 standard.

The findings indicated that 700 m² (46.3%) of the total 1,512.8 m² roof area is suitable for photovoltaic panel installation. The system, designed with N-type TOPCon monocrystalline panel technology at an installed capacity of 122.13 kWp, will generate 163,596 kWh of energy annually with a system utilization rate of 68.97%, capable of meeting 17.6% of the building's annual electricity consumption of 931,657.86 kWh. Shading losses were calculated at 15.0%, and it was determined that the system would prevent 71.0 tons of CO_2 emissions annually. In the wind energy assessment, it was determined that the application is not feasible due to the average wind speed in the region (3-4 m/s) falling below the minimum values required for economic production (6-7 m/s). In the rainwater harvesting analysis, it was calculated that 991.0 m³ of net rainwater could be collected with an annual precipitation potential of 1,039.8 mm. According to the DIN 1989 method, with an optimal storage system of 60 m³ capacity, 923 m³ of rainwater could be utilized annually, meeting 16.4% of the non-potable water demand and 11.5% of the total water consumption.

The study demonstrated that solar energy is the optimal renewable energy source for Antalya, located in the Mediterranean climate zone, and that rainwater harvesting will make a significant contribution to the sustainable management of water resources. This study serves as a reference model for the sustainable transformation of public buildings.

KEYWORDS: Photovoltaic system, Mediterranean climate, Public buildings, Rainwater harvesting, Renewable energy, Sustainable water management

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. Ahmet ÇOŞGUN

ÖNSÖZ

Günümüzde iklim değişikliğinin etkileri her geçen gün daha belirgin hale gelmekte ve sürdürülebilir kaynak yönetimi konusu tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de giderek artan bir önem kazanmaktadır. Yerel yönetimlerde görev yapan bir mühendis olarak, kamu binalarının enerji ve su tüketiminin azaltılması konusunda somut adımlar atılması gerektiğine olan inancım, bu tez çalışmasının temel motivasyon kaynağı olmuştur.

Antalya gibi güneş enerjisi potansiyeli yüksek bir coğrafyada yaşıyor olmamıza rağmen, kamu binalarında yenilenebilir enerji uygulamalarının yeterince yaygınlaşmamış olması dikkatimi çeken önemli bir eksiklik olarak karşıma çıkmıştır. Bu çalışma ile hem akademik literatüre katkı sağlamayı hem de görev yaptığım kurumda uygulanabilir çözümler üretmeyi hedefledim. Teorik bilginin pratiğe dönüştürülmesi sürecinde yaşadığım deneyimler, mühendislik mesleğinin topluma olan sorumluluğunu bir kez daha hatırlattı.

Çalışmamın her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, akademik titizliği ve sabrıyla her zaman yanımda olan değerli tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Coşgun' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans sürecimde her türlü desteği sağlayan Birim Müdürü Dr. Bülent Cangir'e içten teşekkürlerimi borç bilirim.

Son olarak, bu zorlu süreçte her an yanımda olan, fedakârlıklarıyla beni destekleyen ve motivasyonumu hiç kaybettirmeyen sevgili eşime minnettarım. Onun anlayışı ve desteği olmadan bu çalışmayı tamamlamam mümkün olmazdı.

Bu tezin, kamu binalarında sürdürülebilirlik uygulamalarının yaygınlaştırılmasına ve yerel yönetimlerin çevre dostu politikalar geliştirmesine katkı sağlamasını temenni ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
İÇİNDEKİLER iv
AKADEMİK BEYAN viii
ŞEKİLLER DİZİNİ x
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
1. GİRİŞ 1
1.1. Türkiye'nin Enerji ve Su Kaynakları Perspektifi 1
1.2. Binalarda Yenilenebilir Enerji ve Su Yönetimi Yaklaşımları 1
1.3. Kamu Binalarının Sürdürülebilir Dönüşümdeki Stratejik Rolü 2
1.4. Çalışma Alanı: Antalya ve Konyaaltı 2
1.5. Araştırmanın Amacı 3
1.6. Araştırmanın Kapsamı 3
1.7. Araştırmanın Sınırlılıkları 3
1.8. Araştırmanın Özgün Değeri ve Beklenen Katkıları 4
2. KAYNAK TARAMASI 5
2.1. Fotovoltaik Sistemler ve Kamu Binalarında Uygulamaları 5
2.1.1. Fotovoltaik Hücre Teknolojisi 5
2.1.2. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri ve Verim 6
2.1.3. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri 7
2.1.4. Kamu Binalarında Fotovoltaik Uygulamalar 8
2.2. Rüzgar Enerjisi Sistemleri ve Kamu Binalarında Uygulamaları 9
2.2.1. Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretme Yöntemleri 9
2.2.2. Rüzgar türbini çeşitleri 10
2.2.3. Rüzgar Enerji Sistemi Bileşenleri 12
2.2.3.1. Jeneratör ve Şanzıman Sistemleri 12
2.2.3.2. Kule ve Temel Yapıları 13
2.2.3.3. Kontrol ve Güç Elektroniği Sistemleri 13
2.2.4. Kamu Binalarında Rüzgar Enerjisi Uygulamaları 14
2.3. Sürdürülebilir Su Yönetimi Sistemleri ve Kamu Binalarında Uygulamaları 15
2.3.1. Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri 15

2.3.2. Yağmur Suyu Hasadı Sistem Bileşenleri 16
2.3.3 Yağmur suyu kalitesi ve arıtma yöntemleri 18
2.4. Bibliyometrik Yöntem 20
2.4.1. Kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi üzerine küresel araştırma eğilimleri 22
2.4.2. Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Su Yönetimi Üzerine En Fazla Çalışma Bulunan Alanlar 24
2.4.3. Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Su Yönetimi Üzerine En Fazla Çalışma Bulunan Yayın Türleri 26
2.4.4. Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Su Yönetimi En Fazla Çalışma Yayınlayan Yayınevleri 27
2.4.5 Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Su Yönetimi Yıllara Göre Dağılımı 28
2.4.6. Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Su Yönetimi Üzerine İncelenen Zaman Aralığında En Çok Atıf Alan Yayınlar 30
2.4.7. Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Su Yönetimi Üzerine Bibliyometrik Haritalama 32
2.4.7.1 Ülkelerin Atıf Analizi 32
2.4.7.2 Ortak Yazar Analizi 35
2. 4.7.3 Yazarların Atıf Analizi 36
2.4.7.4 Kurumların Atıf Analizi 38
2.4.7.5 Anahtar Kelime Analizi 40
2.4.7.6 Belgelerin Bibliyografik Eşleşme Analizi 42
2.4.7.7 Yazarların Bibliyografik Eşleşme Analizi 44
2.4.7.8 Yazarların Ortak Atıf Analizi 47
3. MATERYAL VE YÖNTEM 51
3.1. Çalışma Alanının Tanımı 51
3.1.1. Coğrafi ve İklimsel Özellikler 51
3.1.2. Araştırma Kapsamındaki Bina 52
3.2. Veri Kaynakları ve Seçim Kriterleri 52
3.2.1. Güneş Enerjisi Veri Kaynakları 52
3.2.2. Rüzgar Enerjisi Veri Kaynakları 53

3.2.3. Yağmur Suyu Yönetimi Veri Kaynakları 54
3.3. Materyal 54
3.3.1. Bina Verileri 54
3.3.2. Enerji Tüketim Verileri 54
3.3.3. Su Tüketim Verileri 54
3.3.4. Yazılım ve Analiz Araçları 54
3.4. Yöntem 54
3.4.1. Mevcut Durum Analizi 55
3.4.2. Fotovoltaik Sistem Değerlendirmesi 55
3.4.3. Rüzgar Enerjisi Sistem Değerlendirmesi 55
3.4.4. Sürdürülebilir Su Yönetimi 55
3.4.5. Çevresel Etki ve Veri Analizi 55
3.4.6 Araştırma Kısıtlılıkları 55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 56
4.1. Mevcut Durum Analizi Bulguları 56
4.1.1. Bina Karakteristikleri 56
4.1.2. Enerji Tüketim Profili 57
4.2. Fotovoltaik Sistem Bulguları 59
4.2.1. Çatı Alanı Analizi ve Kurulum Kapasitesi 59
4.2.2. Fotovoltaik Panel Türleri Karşılaştırması ve Seçim Gerekçesi 59
4.2.3. Optimal Eğim Açısı ve Yönlendirme Analizi 60
4.2.4. PV*SOL Simülasyon Yazılımı ile Detaylı Analiz 60
4.2.5. Gölgelenme Analizi 62
4.2.6. Modül Alan Konfigürasyonu 62
4.2.7. İnvertör Konfigürasyonu 63
4.2.8. PV*SOL Simülasyon Sonuçları 63
4.3. Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Değerlendirmesi 65
4.3.1. Bina Konumunda Rüzgar Enerjisi Uygunluk Analizi 65
4.3.2. Antalya İli Rüzgar Potansiyeli Genel Değerlendirmesi 67
4.3.3. Alternatif Konum Değerlendirmesi 68
4.3.4. Güneş ve Rüzgar Enerjisi Karşılaştırması 68
4.4. Su Tüketim Profili 69

4.4.1 Yağmur Suyu Hasadı Sistemi Bulguları 69
4.4.1.1. Hidrolojik Analiz ve Yağış Karakteristikleri 70
4.4.1.2. Yağış Şiddeti ve Tasarım Yağışı Hesabı 70
4.4.2. Yağmur Suyu Toplama Sistemi Tasarımı 71
4.4.2.1. Toplama Alanı ve Akış Katsayısı 71
4.4.2.2. Teorik Yağmur Suyu Toplama Potansiyeli 71
4.4.2.3 Hidrolik Sistem Tasarımı 72
4.4.2.3.1. Yağmur Oluğu ve İniş Borusu Boyutlandırması 72
4.4.2.3.2. İlk Yıkama (First Flush) Sistemi Tasarımı 73
4.4.2.3.4. Pompa Seçimi ve Hidrofor Sistemi 75
4.4.3.1. Yağmur Suyu Hasadı Sistemi Değerlendirmesi 75
5. SONUÇLAR 76
5.1.1. Mevcut Durum Analizi 76
5.1.2. Fotovoltaik Sistem Sonuçları 76
5.1.3. Rüzgar Enerjisi Potansiyeli 77
5.1.4. Yağmur Suyu Hasadı Sistemi 77
5.1.5. Bilimsel ve Uygulamalı Katkılar 77
5.1.6. Araştırma Kısıtlılıkları 77
5.2. Öneriler 78
6. KAYNAKLAR 79
ÖZGEÇMİŞ

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "**Sürdürülebilir Kamu Yapıları İçin Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Değerlendirilmesi: Konyaaltı Örneği**" adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

01/01/2026

Sena Zeliha TAŞKAN

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

BIPV	Binaya Entegre Fotovoltaik
BIWT	Binaya Entegre Rüzgar Türbini
CdTe	Kadmiyum Tellür
CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
CIGS	Bakır İndiyum Galyum Selenid
DC	Doğru Akım
DHI	Yaygın Yatay Işınım
DNI	Doğrudan Normal Işınım
EUI	Enerji Tüketim Yoğunluğu
GHI	Global Yatay Işınım
GWA	Global Rüzgar Atlası
HAWT	Yatay Eksenli Rüzgar Türbini
IDF	Şiddet-Süre-Frekans
kWh	Kilowatt-saat
kWp	Kilowatt-peak
LCCA	Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takibi
PERC	Pasifleştirilmiş Emitör Arka Hücre
PR	Performans Oranı
PV	Fotovoltaik
PV/T	Fotovoltaik/Termal
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	Rüzgar Enerji Santrali
RWH	Yağmur Suyu Hasadı
TDH	Toplam Dinamik Basınç Yüksekliği
TDS	Toplam Çözünmüş Katı Madde
TMY	Tipik Meteorolojik Yıl
TOPCon	Tünel Oksit Pasifleştirilmiş Kontakt
VAWT	Dikey Eksenli Rüzgar Türbini
WUI	Su Tüketim Yoğunluğu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.1. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı 6
Şekil 2.1.2. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri 8
Şekil 2.2.1. Rüzgardan Elektrik Üretim Şeması 10
Şekil 2.2.2. Başlıca Rüzgar Türbini Türleri 11
Şekil 2.2.3. Rüzgar Türbini Sistem Bileşenleri 13
Şekil 2.3.1. Dünyadaki Suyun Dağılım Şeması 16
Şekil 2.3.2. Yağmur Suyu Hasadı Bileşenleri 16
Şekil 2.4. Metodolojinin Çerçevesi 21
Şekil 2.4.1. Yayın Dergilerine Göre Yayın Sayıları (2001-2025) 22
Şekil 2.4.2. Konuda En Fazla Çalışma Bulunan Yayınlar 24
Şekil 2.4.3. Araştırma Alanlarına Göre Yayın Sayıları 25
Şekil 2.4.4. Konuda En Fazla Çalışma Bulunan Alanlar 25
Şekil 2.4.5. Doküman Türlerine Göre Yayın Sayıları (2001-2025) 26
Şekil 2.4.6. Konuda En Fazla Çalışma Bulunan Yayın Türleri 27
Şekil 2.4.7. Yayıncılara Göre Yayın Sayıları 27
Şekil 2.4.8. Konuda En Fazla Çalışma Yayınlayan Yayınevleri 29
Şekil 2.4.9. Konu Hakkında Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı 30
Şekil 2.4.10. Ülkelerin Yıllara Göre Çalışma Yoğunlukları 33
Şekil 2.4.11. Ülke Yoğunluk Haritası 34
Şekil 2.4.12. Yazarlar Arasındaki İşbirliğini Gösteren Ortak Yazar Bağlantıları 35
Şekil 2.4.13. Yazar Atıf Analizi 37
Şekil 2.4.14. Kurumsal Atıf Analizi 38
Şekil 2.4.15. Anahtar Kelime Analizi 41
Şekil 2.4.16. Belgelerin Bibliyografik Eşleşme Analizi 43
Şekil 2.4.17. Araştırmacılar Arasında Ortak Atıf Analizi 45
Şekil 2.4.18. Yazarların Ortak Atıf Analizi 48
Şekil 3.1. Konyaaltı İlçesi Konumu 52
Şekil 3.2 GEPA Güneş Işınım Verileri: Antalya 54
Şekil 3.3 REPA Rüzgar Haritası : Türkiye 54
Şekil 4.1 Konyaaltı Belediyesi 58
Şekil 4.2. PV SOL Projeye Genel Bakış – 3D Tasarım Görünümü 62

Şekil 4.3. PV*SOL Gölgelenme Haritası - Kuş Bakışı Görünüm a) Başkanlık Binası, b) Ana Hizmet Binası 63
Şekil 4.4. Mevsimsel Enerji Üretim Profili 65
Şekil 4.5. Antalya ilçelerinde ortalama rüzgar hızı karşılaştırması 66
Şekil 4.6. Antalya İli Rüzgar Hızı Dağılımı 67
Şekil 4.7. Yağmur Hasadı Akış Şeması 74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 1.1. Antalya'nın Yenilenebilir Enerji ve Su Potansiyeli 2
Tablo 2.1.1. Fotovoltaik Hücre Tiplerinin Verimlilik Karşılaştırması 7
Tablo 2.1.2. Dünya genelinde kamu binalarında fotovoltaik uygulama örnekleri 9
Tablo 2.2.1. Rüzgar Türbini Tiplerinin Karşılaştırmalı Özellikleri 12
Tablo 2.2.2. Kamu Binalarında Rüzgar Enerjisi Uygulama Özellikleri 15
Tablo 2.3.1. Yağmur Suyu Kalite Parametreleri ve Kirletici Kaynakları 18
Tablo 2.3.2 Yağmur Suyu Arıtma Yöntemleri Karşılaştırması 19
Tablo 2.4.1 Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Su Yönetimi Üzerine İncelenen Zaman Aralığında En Çok Atıf Alan Yayınlar 30
Tablo 2.4.2 Ortak Yazarlık Ağ Analizinde Öne Çıkan Yazarlar 36
Tablo 2.4.3 Atıf Ağı Analizinde Öne Çıkan Yazarlar 37
Tablo 2.4.4 Kurumsal Atıf Ağı Analizinde Öne Çıkan Kurumlar 39
Tablo 2.4.5 Anahtar Kelime Oluşum Analizi 42
Tablo 2.4.6 Bibliyografik Eşleşme Analizinde Öne Çıkan Belgeler 44
Tablo 2.4.7 Yazarların Bibliyografik Eşleşme Analizinde Öne Çıkan Araştırmacılar 46
Tablo 2.4.8 Yazarların Ortak Atıf Analizi 48
Tablo 3.4 Yağmur Suyu Toplama Formülü 56
Tablo 4.1. Binanın Yıllık Elektrik Tüketimi (Kasım 2024-Ekim 2025) 58
Tablo 4.2. PV*SOL Simülasyon Parametreleri 63
Tablo 4.3. Modül Alan Konfigürasyonu 64
Tablo 4.4. PV Sistem Temel Performans Göstergeleri 64
Tablo 4.5. Enerji Üretim ve Dağıtım Değerleri 65
Tablo 4.6 Bina Konumu Rüzgar Uygunluk Kriterleri 67
Tablo 4.7 Antalya İli Mevcut ve Planlanan Rüzgar Santralleri 68
Tablo 4.8. Antalya İçin Güneş ve Rüzgar Enerjisi Karşılaştırması 69
Tablo 4.9. Binanın Su Tüketimi 70
Tablo 4.10. Antalya İli Aylık Meteorolojik Veriler (MGM, 1930-2020) 71
Tablo 4.11. Çatı Alanları ve Akış Katsayıları 72
Tablo 4.12. Aylık Yağmur Suyu Toplama Potansiyeli Hesabı 73

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca medeniyetlerin yükselişi ve çöküşü, büyük ölçüde doğal kaynakları yönetme becerisiyle şekillenmiştir. Antik Mezopotamya'nın sulama kanallarından Roma'nın su kemerlerine, enerji ve suyun kontrolü her zaman toplumsal gelişimin temel taşı olmuştur. Günümüzde ise bu kadim mücadele, iklim değişikliği ve hızlı kentleşmenin yarattığı benzeri görülmemiş baskılarla yeni bir boyut kazanmıştır. 21. yüzyılın ilk çeyreğinde dünya, enerji ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi konusunda kritik bir kavşakta bulunmaktadır. Küresel ısınmanın etkileri artık teorik projeksiyonlar olmaktan çıkmış, gündelik yaşamın somut gerçekleri haline gelmiştir. Uzayan kuraklık dönemleri, şiddetlenen hava olayları ve değişen yağış rejimleri, geleneksel kaynak yönetimi anlayışının yetersizliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Bu küresel tablo içerisinde binalar, enerji tüketiminin ve sera gazı emisyonlarının en önemli kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Özellikle kamu binaları hem enerji yoğunlukları hem de topluma örnek olma sorumlulukları nedeniyle sürdürülebilir dönüşümün başlangıç noktası olmaya adaydır. Paris İklim Anlaşması ve Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi uluslararası taahhütler, bu dönüşümün artık bir tercih değil, zorunluluk olduğunu açıkça ortaya koymaktadır

1.1. Türkiye'nin Enerji ve Su Kaynakları Perspektifi

Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla hem büyük fırsatlar hem de ciddi kırılganlıklar barındıran bir ülkedir. Bir yandan Avrupa'nın en yüksek güneş enerjisi potansiyellerinden birine sahipken, öte yandan enerji ithalatına olan bağımlılığı ekonomik ve stratejik açıdan önemli bir zafiyet oluşturmaktadır. Benzer şekilde, su kaynakları açısından zengin gibi görünen ülke, aslında kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı bakımından "su stresi" eşiğinde yer almaktadır.

TUİK verileri ile ülkedeki 25.329.833 adet binanın kayda değer sayısı, enerji verimliliği açısından günümüz standartlarının gerisinde kalmaktadır. Bu binaların 11.014.393 adeti 1980 öncesi ve 1980-2000 yılları arasında inşa edilmiş olup, yetersiz yalıtım, eski ısıtma-soğutma sistemleri ve verimsiz aydınlatma nedeniyle optimum düzeyin çok üzerinde enerji tüketmektedir. Ancak bu durum, aynı zamanda büyük bir dönüşüm potansiyelini de işaret etmektedir. (TUİK, 2024)

Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları açısından sahip olduğu potansiyel dikkat çekicidir. Yıllık ortalama 2.741 saatlik güneşlenme süresi ve 1527,46 kWh/m^2 düzeyindeki ışınım şiddeti, fotovoltaik ve güneş termal sistemleri için son derece elverişli koşullar sunmaktadır. Buna ek olarak, özellikle kıyı bölgelerinde rüzgar enerjisi ve ülke genelinde yaygın hidroelektrik potansiyeli, çeşitlendirilmiş bir yenilenebilir enerji portföyü oluşturma imkanı vermektedir. (ETKB, 2024)

1.2. Binalarda Yenilenebilir Enerji ve Su Yönetimi Yaklaşımları

Binalarda sürdürülebilirlik, yalnızca enerji verimliliğini artırmakla sınırlı kalmayıp, yenilenebilir enerji üretimi ve akıllı su yönetimini de kapsayan bütüncül bir yaklaşımı gerektirmektedir.

Fotovoltaik sistemler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürerek binaların enerji bağımsızlığına önemli katkı sağlamaktadır. Özellikle çatı üstü uygulamalar, mevcut yapı stokunun ek arazi ihtiyacı olmaksızın enerji üretim merkezlerine dönüştürülmesine olanak tanımaktadır. Güneş kolektörleri ise termal enerji üretimi yoluyla sıcak su ve mekan ısıtması ihtiyaçlarını karşılayarak, özellikle yüksek sıcak su talebi olan kamu binalarında ekonomik ve çevresel faydalar sağlamaktadır.

Su yönetimi perspektifinden bakıldığında, yağmur suyu hasadı ve gri su geri dönüşümü sistemleri, konvansiyonel su kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmanın ötesinde, su-enerji bağlantısını (water-energy nexus) optimize eden stratejiler olarak öne çıkmaktadır. Yağmur suyu hasadı, özellikle Akdeniz ikliminin karakteristik özelliği olan yoğun kış yağışlarının depolanarak kurak yaz aylarında kullanılmasına olanak tanımaktadır

1.3. Kamu Binalarının Sürdürülebilir Dönüşümdeki Stratejik Rolü

Kamu binaları, sürdürülebilir enerji ve su yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılmasında benzersiz bir konuma sahiptir. Bu binalar yalnızca enerji ve su tüketimi açısından önemli bir paya sahip olmakla kalmayıp, aynı zamanda topluma örnek olma ve farkındalık oluşturma işlevi de üstlenmektedir. Bir belediye binasında veya okulda uygulanan yenilenebilir enerji sistemi, vatandaşların bu teknolojilerle doğrudan temas etmesini sağlayarak toplumsal kabulü hızlandırmaktadır. Kamu binalarının fonksiyonel çeşitliliği, farklı enerji ve su tüketim profillerini beraberinde getirmektedir. Hafta içi mesai saatlerinde yoğun kullanılan idari binalar, mevsimsel değişkenlik gösteren eğitim yapıları, etkinlik bazlı talep yaratan kültür-spor tesisleri ve kesintisiz hizmet veren sağlık tesisleri, her biri kendine özgü gereksinimler ortaya koymaktadır. Bu çeşitlilik, tek tip çözümler yerine, her bina tipine özel optimizasyon stratejileri geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

1.4. Çalışma Alanı: Antalya ili ve Konyaaltı ilçesi

Akdeniz havzası, iklim değişikliğinin etkilerinin en belirgin şekilde hissedildiği bölgelerden biridir. Sıcak ve kurak yazlar ile ılık ve yağışlı kışlarla karakterize edilen bu iklim kuşağı, hem yenilenebilir enerji sistemleri hem de su yönetimi stratejileri açısından özgün fırsatlar ve zorluklar sunmaktadır. Yüksek güneş radyasyonu ve uzun güneşlenme süreleri fotovoltaik ve güneş termal sistemlerin verimli çalışmasını sağlarken, yağışların kış aylarına konsantre olması yağmur suyu hasadı için stratejik planlama gerektirmektedir. Antalya, Türkiye'nin güney kıyısında konumlanan ve 2,6 milyonu aşan nüfusuyla ülkenin en dinamik metropoliten alanlarından birini oluşturmaktadır. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre, yıllık 2.741 saatlik güneşlenme süresi ve 1527,46 kWh/m² düzeyindeki güneş radyasyonu ile Türkiye ortalamasının belirgin şekilde üzerinde bir yenilenebilir enerji potansiyeline sahiptir. Aynı zamanda yıllık 1039.8 mm'lik yağış miktarı, etkin bir yağmur suyu hasadı sistemi için gerekli kaynağı sağlamaktadır. **(MGM,2024)**

Tablo 1.1 Antalya'nın Yenilenebilir Enerji ve Su Potansiyeli

Parametre	Değer
Yıllık ortalama sıcaklık	18,9°C

Parametre	Değer
Yıllık güneşlenme süresi	2.741 saat
Yıllık güneş radyasyonu	1527,46 kWh/m²
Yıllık toplam yağış	1039.8 mm

Bu çalışmanın odak noktası olan Konyaaltı ilçesi, Antalya'nın batısında konumlanan ve 562,4 km² yüzölçümü ile yaklaşık 200.000 nüfusa sahip, şehrin en dinamik gelişim gösteren bölgelerinden birini oluşturmaktadır. Merkezi konumu, sahil şeridine uzanan coğrafyası ve yoğun kentsel dokusu, ilçeyi hem yerleşim hem de kamu hizmetleri açısından stratejik bir alan haline getirmektedir. **(Konyaaltı Kaymakamlığı, 2024).**

1.5. Araştırmanın Amacı

Bu tez çalışması, Antalya'nın Konyaaltı ilçesindeki seçilen kamu yapılarında yenilenebilir enerji sistemleri ile sürdürülebilir su yönetimi sistemlerinin uygulanabilirliğini kapsamlı bir şekilde değerlendirmeyi ve bütünleşmiş bir kaynak yönetimi modeli geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu temel hedef doğrultusunda aşağıdaki alt amaçlar belirlenmiştir:

- Konyaaltı'ndaki bir kamu yapısının detaylı envanterinin oluşturulması ve mevcut enerji-su tüketim profillerinin sistematik analizi
- Bölgenin yenilenebilir enerji potansiyelinin ve su hasadı olanaklarının kapsamlı değerlendirilmesi
- Pilot bina uygulaması için detaylı sistem tasarımının gerçekleştirilmesi

1.6. Araştırmanın Kapsamı

Araştırma, coğrafi, teknik ve analitik boyutlarıyla kapsamlı bir çerçeve içinde yürütülmüştür. Teknik kapsam, yenilenebilir enerji sistemleri olarak fotovoltaik sistemler ve rüzgar; su yönetimi sistemleri olarak yağmur suyu hasadı uygulamalarını içermektedir. Analitik çerçeve, son yıla ait enerji ve su tüketim verilerinin profillemesini, uzun dönem meteorolojik veri analizini, sistem boyutlandırma ve performans simülasyonlarını ve çevresel etki değerlendirmelerini kapsamaktadır.

1.7. Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu tez çalışması, belirli kısıtlar çerçevesinde yürütülmüş olup, bulguların yorumlanmasında ve genellenmesin de aşağıdaki sınırlılıkların dikkate alınması gerekmektedir: Araştırma, Antalya ili Konyaaltı ilçesindeki tek bir kamu binası (Konyaaltı Belediyesi hizmet binası) ile sınırlıdır. Elde edilen bulgular, Akdeniz iklim kuşağındaki benzer özelliklere sahip kamu binaları için yol gösterici nitelikte olmakla birlikte, farklı iklim bölgeleri ve bina tipolojileri için doğrudan genellenemez. Enerji ve su tüketim analizleri, 2024-2025 dönemini kapsayan tek yıllık veriye dayanmaktadır. Yıllar arası iklimsel değişkenlik, olağanüstü hava koşulları veya kullanım paternlerindeki değişimler, uzun vadeli performans tahminlerini etkileyebilir.

1.8. Araştırmanın Özgün Değeri ve Beklenen Katkıları

Bu çalışma, literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Türkiye'de kamu binaları özelinde enerji ve su yönetimini entegre bir perspektifle ele alan ilk kapsamlı çalışma olma özelliği taşımaktadır. Mevcut araştırmaların büyük çoğunluğu ya yalnızca enerji verimliliğine ya da yalnızca su yönetimine odaklanmakta, bu iki kritik kaynağın sinerjik yönetimi göz ardı edilmektedir.

Metodolojik açıdan çalışma, Akdeniz iklim koşullarına özgü tasarım parametreleri ve performans göstergeleri geliştirmekte, çok kriterli karar verme yaklaşımıyla sistem seçimi ve önceliklendirmesi için sistematik bir çerçeve sunmaktadır. Bilimsel katkı boyutunda, gerçek saha verileriyle desteklenen kapsamlı envanter ve tüketim profilleme çalışması, benzer iklim kuşaklarındaki diğer bölgeler için de uyarlanabilir bir referans oluşturacaktır. Uygulama perspektifinden, yerel yönetimler için pratik tasarım ve işletme kılavuzu, performans izleme araçları ve maliyet-fayda analiz modelleri geliştirilecektir. Politika boyutunda ise sürdürülebilir kaynak yönetimi için yasal ve kurumsal çerçeve önerileri ile teşvik mekanizması tavsiyeleri sunulacaktır. Bu özgün değerleriyle çalışma, hem akademik literatüre hem de uygulamaya önemli katkılar sunarak, Türkiye'de kamu binalarının sürdürülebilir dönüşümü için referans bir model oluşturmayı hedeflemektedir. Elde edilecek bulgular, Konyaaltı özelinde somut faydalar sağlarken, ulusal ve uluslararası sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasında da katkı sağlayacaktır.

2. KAYNAK TARAMASI

Kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi konusu üzerine yapılan çalışmalar, son 15 yılda dünya genelinde ciddi artış göstermiş olup, farklı iklim bölgelerinde ve yapı tiplerinde kapsamlı saha çalışmaları, modelleme analizleri ve yaşam döngüsü değerlendirmeleri üretilmiştir. Bu bölümde, tez çalışmasının temelini oluşturan yenilenebilir enerji sistemleri ve sürdürülebilir su yönetimi konularındaki literatür, sistem bazında ve bibliyometrik olarak ele alınarak incelenmektedir.

2.1. Fotovoltaik Sistemler ve Kamu Binalarında Uygulamaları

Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürerek kamu binalarında enerji verimliliğinin artırılması ve karbon emisyonlarının azaltılması açısından stratejik öneme sahiptir. Bu sistemlerin uygulanması, fosil yakıtlara olan bağımlılığı minimize ederek binaların enerji bağımsızlığını sağlamaktadır **(Harani, 2022)**. Kamu binalarında fotovoltaik sistemlerin en belirgin avantajı, enerji maliyetlerini önemli ölçüde azaltma potansiyelidir; örneğin güneş otoparkı uygulamalarında yıllık enerji maliyetlerinin %99 oranında düşürülebildiği ve önemli miktarda CO_2 emisyonunun önlenebildiği tespit edilmiştir **(Sezen, 2024)**.

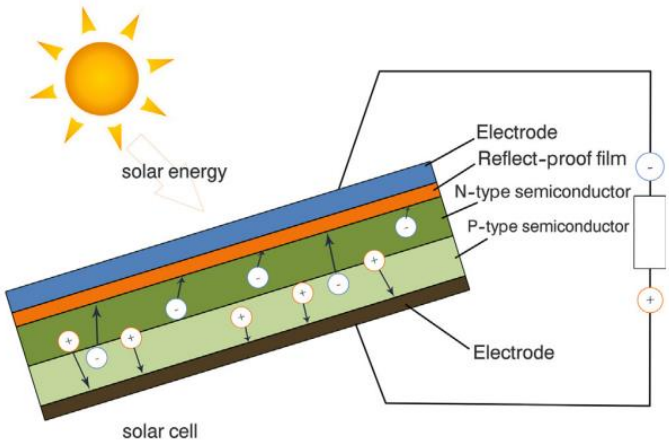
2.1.1. Fotovoltaik Hücre Teknolojisi

Fotovoltaik hücreler, güneş ışığını yarı iletken malzemeler aracılığıyla doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Bu hücrelerin yapısı ve çalışma prensibi, güneş enerjisinin elektriğe dönüşüm verimliliğini belirleyen temel faktörlerdir. Fotovoltaik hücrelerin temel yapısı, yarı iletken malzeme katmanı, elektron taşıyıcı katman (ETL) ve delik taşıyıcı katman (HTL) olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır.

Yarı iletken malzeme katmanı, hücrenin çekirdek yapısını oluşturmakta olup genellikle silisyum, organik bileşenler veya perovskitlerden üretilmektedir. Silisyum bazlı hücrelerde, bor gibi üç değerlikli elementlerle katkılanan p-tipi bölge ile fosfor gibi beş değerlikli elementlerle katkılanan n-tipi bölgenin bir araya gelmesiyle p-n eklem yapısı oluşturulmaktadır **(Hussain vd. 2018).** Elektron-delik çifti ayrımı p-n eklemindeki elektrik alan tarafından sağlanır, ETL elektronları toplar. Silisyum hücrelerde doğal olarak oluşan elektrik alan bu işlevi üstlenirken, perovskit ve organik hücrelerde titanyum dioksit (TiO_2) veya çinko oksit (ZnO) gibi malzemeler elektron taşıyıcı olarak kullanılmaktadır **(Hussain vd. 2018).** Delik taşıyıcı katman ise elektronların ters yönünde hareket eden boşlukları toplayarak hücredeki yük dengesini sağlamakta ve genel dönüşüm verimliliğini artırmaktadır.

Fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi, fotovoltaik etki olarak adlandırılan fiziksel olguya dayanmaktadır. Bu süreç üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, güneş ışığındaki fotonlar yarı iletken malzeme tarafından absorbe edilmekte ve foton enerjisi valans bandındaki elektronlara aktarılmaktadır. Foton enerjisinin malzemenin bant aralığına eşit veya büyük olması durumunda, elektronlar iletkenlik bandına yükselerek serbest hale gelmekte ve geride pozitif yüklü boşluklar (delikler) bırakmaktadır **(Kojima vd. 2009)**. İkinci aşamada, p-n eklem bölgesindeki dahili elektrik alan, oluşan elektron-delik çiftlerini ayırarak elektronları n-tipi bölgeye, delikleri ise p-tipi bölgeye yönlendirmektedir. Bu yük ayrımı, hücrenin uçları arasında potansiyel fark

oluşturarak elektrik akımının temelini oluşturmaktadır **(Bourdoucen vd. 2000)**. Üçüncü aşamada, ayrılan yük taşıyıcıları metal kontaklar aracılığıyla toplanmakta ve harici devre üzerinden elektrik akımı olarak kullanıma sunulmaktadır. Üretilen doğru akım (DC), inverter sistemleri vasıtasıyla alternatif akıma (AC) dönüştürülerek şebeke ile uyumlu hale getirilmektedir.



Şekil 2.1.1. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı (Kaynak: Husain vd 2018).

2.1.2. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri ve Verim

Fotovoltaik hücreler, kullanılan malzeme ve üretim teknolojisine göre çeşitli kategorilerde sınıflandırılmaktadır. Temel sınıflandırma; kristal silikon hücreler (monokristal ve polikristal), ince film hücreler (amorf silikon, kadmiyum tellürid, CIGS) ve yeni nesil hücreler (organik, perovskit, çok eklemli) şeklinde yapılmaktadır. Her hücre tipinin kendine özgü verim değerleri, üretim maliyetleri ve uygulama alanları bulunmaktadır.

Fotovoltaik hücrelerde verimlilik, güneş ışığının elektrik enerjisine dönüştürülme oranını ifade etmekte olup hücre tasarımı, malzeme seçimi ve çalışma koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Verimlilik değerlendirmesinde içsel kuantum verimliliği (IQE) ve dışsal kuantum verimliliği (EQE) olmak üzere iki temel metrik kullanılmaktadır. IQE, absorbe edilen fotonların elektrik yüküne dönüşüm oranını ifade ederken, EQE belirli dalga boylarındaki ışığın elektrik akımına dönüşüm kapasitesini göstermektedir **(Wang vd. 2016; Er-raji vd. 2023)**. Fotovoltaik hücre verimliliğini etkileyen başlıca faktörler; malzeme özellikleri, hücre yapısı, ışık yönetimi teknikleri ve yüzey mühendisliği olarak sıralanmaktadır. Anti-reflektif kaplamalar, ışık tuzağı stratejileri ve yüzey pasivasyonu gibi teknikler optik ve elektriksel kayıpları minimize ederek verimlilik artışına katkı sağlamaktadır **(Wang vd. 2016; Zhou vd. 2014).**

Tablo 2.1.1. Fotovoltaik hücre tiplerinin verimlilik karşılaştırması

Hücre Tipi	Laboratuvar Verimliliği (%)	Ticari Verimlilik (%)	Teorik Limit (%)
Monokristal Silisyum	26.7	22-24	29.4

Hücre Tipi	Laboratuvar Verimliliği (%)	Ticari Verimlilik (%)	Teorik Limit (%)
Polikristal Silisyum	23.3	18-20	29.4
Perovskit	28.8	15-18*	33.0
CIGS (İnce Film)	23.4	14-16	33.0
CdTe (İnce Film)	22.1	12-14	33.0
Organik	18.2	8-12	23.0
Tandem (Perovskit/Si)	33.9	-	42.0*

**Laboratuvar değerleri, ticari üretim aşamasında*

Kaynak: Zhou vd., 2014; Wang vd., 2016; Mao vd., 2022; Zeng vd., 2023.

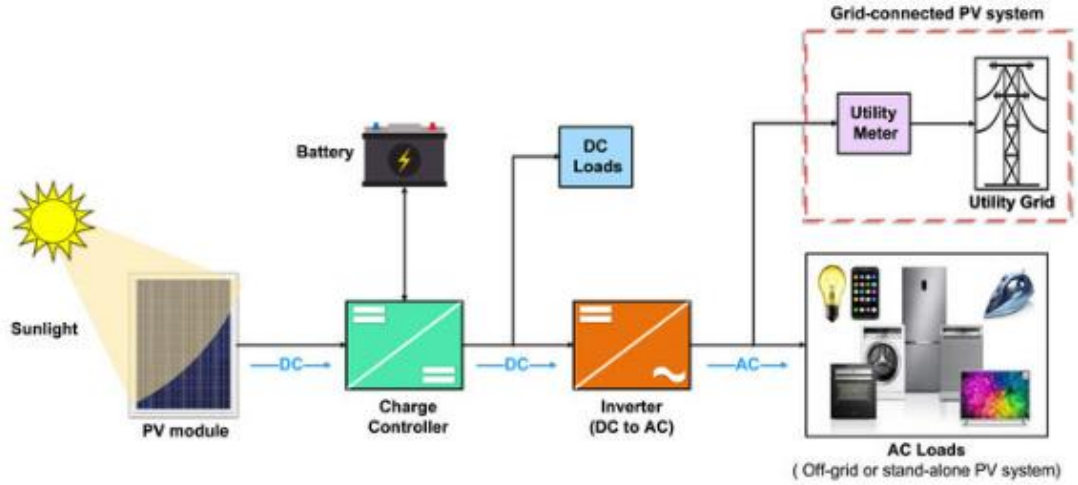
2.1.3. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

PV modüller, birden fazla fotovoltaik hücrenin elektrik üretimi için bir araya getirilmesiyle oluşturulan ve koruyucu cam ile kaplanan yapılardır. Standart modüller 60-72 hücreden oluşmakta ve 250-400 Wp güç aralığında üretilmektedir. Yarım hücre teknolojisiyle modern modüllerde hücre sayısı 120-144'e çıkarılarak verimlilik artışı sağlanmaktadır **(Tablada vd. 2018; Sun vd. 2018).** Modül dizilimi, sistemin gerilim ve akım özelliklerini belirleyen kritik bir tasarım parametresi olup, seri bağlantılarla gerilim artırılırken paralel bağlantılarla akım yükseltilmektedir. Optimal eğim açısı coğrafi konuma göre belirlenmekte olup, kış döneminde enlem +15°, yaz döneminde enlem -15° ve yıl boyu performans için enlem açısına eşit eğim önerilmektedir **(Sun vd. 2018).**

İnverter sistemleri, PV modüllerden gelen doğru akımı (DC) şebeke uyumlu alternatif akıma (AC) dönüştüren ve %96-98 verim aralığında çalışan bileşenlerdir. Maksimum güç noktası takibi (MPPT) özelliği ile değişen ışınım koşullarında optimal çalışma noktasını belirlemektedirler **(Alsadi ve Khatib, 2018)**. Kamu binalarında kullanılan inverter tipleri; orta ölçekli sistemlerde tercih edilen string inverterler, büyük kapasiteli (>100 kW) sistemlerde kullanılan merkezi inverterler ve her modül için bağımsız dönüşüm sağlayarak gölgelenme kayıplarını minimize eden mikro-inverterler olarak sınıflandırılmaktadır **(Koutroulis ve Blaabjerg, 2012; Durusu ve Erduman, 2017).**

Montaj sistemleri, PV modüllerin bina yapısına güvenli ve optimal açıda sabitlenmesini sağlayan yapısal elemanlardır. Balast tipi sistemler çatı membranına delik açmadan beton bloklar kullanarak sabitleme sağlarken, penetrasyon tipi sistemler çatı yapısına doğrudan bağlantı ile daha güvenli montaj imkanı sunmaktadır **(Öztürk vd. 2018)**. BIPV uygulamalarında modüller yapı kabuğunun bir parçası olarak tasarlanarak hem yapısal hem de enerji üretim işlevini üstlenmekte ve toplam maliyeti düşürmektedir **(Mohamed vd. 2022).**

İzleme ve kontrol sistemleri, fotovoltaik sistemin performansını gerçek zamanlı olarak takip etmek, arıza tespiti yapmak ve verimlilik analizi gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Bu sistemler üretim verilerini (kWh), anlık gücü (kW), sistem gerilimi, akımı ve inverter durumunu sürekli izleyerek kaydetmektedir **(Tamoor vd. 2022).** IoT destekli izleme sistemleri, bulut tabanlı veri depolama ve analiz platformlarıyla entegre çalışarak uzaktan erişim, otomatik raporlama ve prediktif bakım imkanları sunmakta, böylece kamu binalarında enerji yönetimi verimliliğini artırmakta ve operasyonel maliyetleri düşürmektedir **(Haripriya vd. 2023).**



Şekil 2.1.2 Fotovoltaik Sistem Bileşenleri (Kaynak: El Hammoumi vd. 2022)

2.1.4. Kamu Binalarında Fotovoltaik Uygulamalar

Kamu binalarında fotovoltaik sistemlerin uygulanması, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasında stratejik öneme sahiptir. Bu sistemler, çevresel faydaları ve ekonomik avantajlarıyla binalarda yenilenebilir enerji üretiminde yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Fotovoltaik sistemlerin kamu binalarına entegrasyonu, dünya genelinde çeşitli yenilikçi projelerle desteklenmektedir. İspanya'daki LUCIA projesi, nZEB (Neredeyse Sıfır Enerji Binası) konseptinin başarılı bir örneği olup, PV sistemler elektrik, soğutma ve ısıtma ihtiyaçlarını karşılamak için entegre edilmiştir. Bu tür projeler hem enerji tasarrufu sağlamakta hem de karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır **(Rey-Hernández vd. 2018)**. Malezya'da 2005 yılında başlatılan MBIPV projesi ise finansman mekanizmalarıyla güneş panellerinin benimsenmesini teşvik etmiş ve binalarda enerji üretimini artırma hedefini desteklemiştir **(Tang vd. 2022).**

Agrivoltaik sistemler, tarımsal alanlarla enerji üretimini birleştiren yenilikçi bir uygulama olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemlerin sağladığı serinletici etkiler, DC üretimde %3'lük verimlilik artışı sağlamakta ve hem tarımsal üretkenliği hem de enerji verimliliğini artırmaktadır **(Othman vd. 2023)**. Coğrafi bilgi sistemleri (GIS) ise potansiyel kurulum alanlarının tespitinde ve yerel enerji ihtiyaçlarının analizinde önemli bir araç olarak kullanılmaktadır **(Cieślak ve Eźlakowski, 2023)**. Bununla birlikte, PV sistemlerin yaygınlaşması kamu politikaları ve sektörel farkındalıkla doğrudan ilişkilidir.

Tablo 2.1.2 Dünya genelinde kamu binalarında fotovoltaik uygulama örnekleri

Ülke	Proje/Uygulama	Sistem Tipi	Temel Özellikler	Kaynak
İspanya	LUCIA nZEB	Çatı üstü PV	Elektrik, soğutma ve ısıtma entegrasyonu; karbon emisyon azaltımı	Rey-Hernández vd. 2018
Malezya	MBIPV Projesi	BIPV	EMI finansman modeli; teşvik mekanizmaları	Tang vd. 2022
Suudi Arabistan	Kamu binaları	Çatı üstü PV	Politika geliştirme; sektörel farkındalık artırma	Khan vd. 2017

Kamu binalarındaki fotovoltaik uygulamalar teknoloji, politika ve sektörel farkındalık gibi faktörlerle şekillenen dinamik bir alan oluşturmaktadır. Türkiye'nin yüksek güneş enerjisi potansiyeli göz önüne alındığında, kamu binalarında PV sistemlerin yaygınlaştırılması enerji bağımsızlığı ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kritik rol oynamaktadır.

2.2. Rüzgar Enerjisi Sistemleri ve Kamu Binalarında Uygulamaları

Rüzgar enerjisi, güneş enerjisinden sonra en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynağı olup, rüzgarın kinetik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilmektedir. Kamu binalarında rüzgar enerjisi uygulamaları, özellikle küçük ölçekli ve binaya entegre türbin sistemleri aracılığıyla gerçekleştirilmekte ve enerji bağımsızlığına katkı sağlamaktadır. Bu bölümde rüzgar enerjisinin temel prensipleri, türbin teknolojileri, sistem bileşenleri ve kamu binalarındaki uygulamaları kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır.

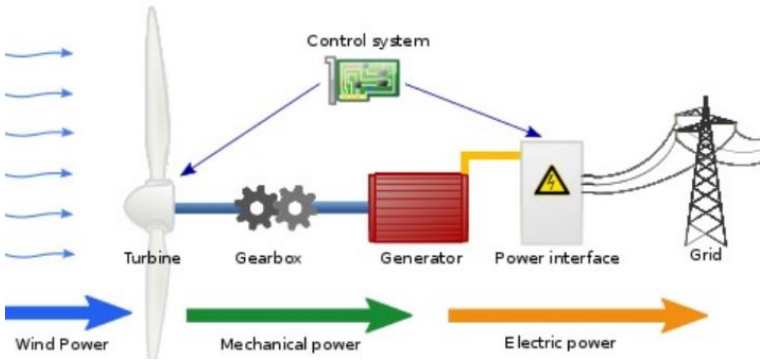
2.2.1. Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretme Yöntemleri

Rüzgar türbinleri, rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye, ardından elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu dönüşüm süreci, aerodinamik prensipler, mekanik aktarım ve elektromanyetik indüksiyon olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır (Li vd. 2022).

Rüzgar enerjisinin mekanik enerjiye dönüşümü, türbin kanatlarının aerodinamik tasarımına dayanmaktadır. Rüzgar, rotor kanatlarına çarptığında kaldırma kuvveti oluşturarak kanatları döndürmektedir. Kanat profilleri, uçak kanatlarına benzer şekilde tasarlanmış olup, rüzgarın üst ve alt yüzeylerden farklı hızlarda akması sonucu oluşan basınç farkından yararlanmaktadır. Rotorun dönüş hareketi, genellikle bir dişli kutusu (şanzıman) aracılığıyla jeneratöre iletilmekte ve mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Liu vd. 2020). Bu süreçte rüzgar hızı kritik bir parametre olup, rüzgar enerjisi hızın küpüyle orantılı olarak değişmektedir; dolayısıyla rüzgar hızındaki küçük artışlar bile enerji üretiminde önemli değişikliklere yol açmaktadır (Li vd. 2022; Su, 2018).

Türbin verimliliği, rotor tasarımı ile doğrudan ilişkilidir. Kanat profili, kanat sayısı ve uç hız oranı (tip speed ratio), aerodinamik performansı belirleyen temel parametrelerdir. Doğru tasarlanmış rotor kanatları, güç katsayısını (Cp) %40-45 seviyelerine çıkarabilmektedir (Muhsen vd. 2019; Decker vd. 2024). Teorik maksimum verimlilik, Betz limiti olarak bilinen %59.26 değeriyle sınırlı olup, bu limit rüzgarın enerjisinin tamamının yakalanmasının fiziksel olarak mümkün olmadığını göstermektedir. Enerji aktarım kayıplarının minimize edilmesi ve mekanik darboğazların giderilmesine yönelik tasarım optimizasyonları, toplam sistem verimliliğini artırmaktadır (You ve Chai, 2022; Mujahid vd. 2021).

Modern rüzgar türbinleri, sabit veya değişken hızda çalışabilen gelişmiş kontrol sistemleriyle donatılmıştır. Bu sistemler, rüzgar hızını sürekli izleyen sensörler aracılığıyla türbin hızını ve kanat açısını (pitch kontrolü) otomatik olarak ayarlamaktadır. Değişken hızlı türbinler, geniş rüzgar hızı aralığında optimal çalışma noktasını koruyarak enerji üretimini maksimize etmektedir. Ayrıca aşırı rüzgar koşullarında güvenlik amaçlı durdurma ve fırtına koruması gibi fonksiyonlar da kontrol sistemleri tarafından yönetilmektedir (You ve Chai, 2022; Zhang vd. 2006). Rüzgar türbinlerinin çalışma prensibi, rüzgarın kinetik enerjisinin aerodinamik kuvvetler aracılığıyla mekanik enerjiye ve ardından elektromanyetik indüksiyon yoluyla elektrik enerjisine dönüştürülmesine dayanmaktadır. Türbin tasarımı, aerodinamik verimlilik ve akıllı kontrol sistemleri, rüzgar enerjisinin etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Bu alandaki teknolojik gelişmeler, türbin verimliliklerini artırırken maliyetleri düşürmekte ve rüzgar enerjisinin kamu binalarında uygulanabilirliğini geliştirmektedir (Liu vd. 2020; Muhsen vd. 2019; Su, 2018).



Şekil 2.2.1 Rüzgardan Elektrik Üretim Şeması (Kaynak: Arslan, 2023, ICCI Konferansı)

2.2.2. Rüzgar türbini çeşitleri

Rüzgar türbinleri, dönme ekseni yönüne göre yatay eksenli (HAWT - Horizontal Axis Wind Turbine) ve dikey eksenli (VAWT - Vertical Axis Wind Turbine) olmak üzere iki ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Her türbin tipi, farklı verimlilik karakteristiklerine, avantajlara ve uygulama alanlarına sahip olup, seçim yerel rüzgar koşulları ve kurulum gereksinimlerine göre yapılmaktadır.

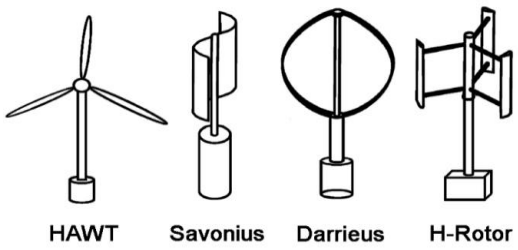
Yatay eksenli rüzgar türbinleri, dönme ekseni yere paralel olan ve rüzgar yönüne dik konumlandırılan türbinlerdir. Bu türbinler, dünya genelinde kurulu rüzgar

kapasitesinin %95'inden fazlasını oluşturmakta olup, yüksek verimlilik değerleriyle öne çıkmaktadır. HAWT'ların tipik verimliliği %45-50 arasında değişmekte, optimal koşullarda Betz limitine (%59.3) yaklaşan değerlere ulaşabilmektedir (Mirzaeian vd. 2025; Kumar vd. 2018). Üç kanatlı tasarımlar, aerodinamik verimlilik, yapısal denge ve estetik açıdan optimal çözüm olarak kabul edilmektedir. Rüzgar yönüne göre konumlanma için yaw (sapma) mekanizması kullanılmakta ve kanat açısı kontrolü (pitch control) değişken rüzgar hızlarında optimal performans sağlamaktadır. HAWT'lar, yüksek kapasiteli rüzgar santrallerinde ve rüzgar hızının yüksek olduğu açık alanlarda yaygın olarak tercih edilmektedir (Hilewit vd. 2019).

Dikey eksenli rüzgar türbinleri, dönme ekseni yere dik olan ve rüzgar yönünden bağımsız çalışabilen türbinlerdir. Bu özellik, türbülanslı ve değişken yönlü rüzgar koşullarının yaygın olduğu kentsel alanlarda önemli avantaj sağlamaktadır. VAWT'ların iki ana tipi bulunmaktadır: Darrieus ve Savonius türbinleri.

Darrieus türbinleri, aerodinamik kanat profilleriyle kaldırma kuvvetinden yararlanmakta ve %35-50 arasında güç katsayısı (Cp) elde edebilmektedir. Yüksek verimlilik sunmakla birlikte, kendi kendine başlatma yetenekleri sınırlıdır ve değişken rüzgar hızlarında yardımcı başlatma sistemi gerektirebilmektedir (Joo vd. 2015; Mortel vd. 2020). H-rotor (Giromill) tasarımı, Darrieus türbinlerinin geliştirilmiş bir versiyonu olup düz kanat profilleriyle üretim kolaylığı ve kentsel uygulamalarda estetik uyum sağlamaktadır.

Savonius türbinleri, yarım silindir şeklindeki kanatlarla sürükleme (drag) kuvvetinden yararlanarak çalışmaktadır. Verimlilik değerleri %15-25 aralığında olup Darrieus türbinlerine göre düşüktür; ancak üstün kendi kendine başlatma yeteneği ve düşük rüzgar hızlarında (2-3 m/s) çalışabilme kapasitesiyle öne çıkmaktadır (Ung vd. 2022; Mortel vd. 2020). Basit yapıları ve düşük maliyetleri nedeniyle küçük ölçekli uygulamalarda tercih edilmektedir. Son dönemde, Darrieus ve Savonius türbinlerinin avantajlarını birleştiren hibrit sistemler geliştirilmektedir. Bu sistemlerde Savonius bileşeni düşük rüzgar hızlarında başlatma torku sağlarken, Darrieus bileşeni yüksek hızlarda verimli enerji üretimi gerçekleştirmektedir (Susilo vd. 2022; Ghafoorian vd. 2025). Hibrit Darrieus-Savonius türbinleri, geniş rüzgar hızı aralığında tutarlı performans sunarak kentsel ve bina uygulamalarında potansiyel oluşturmaktadır (Pan vd. 2024; Pouransari ve Behzad, 2023).



Şekil 2.2.2. Başlıca rüzgar türbini türleri; pervane tipi yatay eksenli rüzgar türbini sürükleme tabanlı Savonius tasarımı ve kaldırma kuvveti tabanlı Darrieus ile H-rotor dikey eksenli rüzgar türbinleri (Eriksson, 2008)

Rüzgar türbini seçimi yerel rüzgar koşulları, kurulum alanı, gürültü kısıtlamaları ve estetik gereksinimler dikkate alınarak yapılmalıdır. Yatay eksenli türbinler yüksek verimlilik gerektiren açık alanlarda, dikey eksenli türbinler ise türbülanslı kentsel ortamlarda ve kamu binalarında avantaj sağlamaktadır. Hibrit sistemler, her iki teknolojinin faydalarını birleştirerek gelecekte daha geniş uygulama alanı bulma potansiyeline sahiptir (Jung vd. 2017; Kumar vd. 2019; Sun vd. 2016).

Tablo 2.2.1 Rüzgar türbini tiplerinin karşılaştırmalı özellikleri

Türbin Tipi	Verimlilik (Cp)	Başlama Hızı	Gürültü Seviyesi	Rüzgar Yönü Bağımlılığı	Uygulama Alanı
HAWT (3 kanatlı)	%45-50	3-4 m/s	Orta-Yüksek	Yaw sistemi gerekli	Rüzgar santralleri, açık alan
Darrieus (VAWT)	%35-50	4-5 m/s	Düşük-Orta	Bağımsız	Kentsel alan, bina çatısı
H-Rotor (VAWT)	%30-40	3-4 m/s	Düşük	Bağımsız	BIWT, kamu binaları
Savonius (VAWT)	%15-25	2-3 m/s	Çok Düşük	Bağımsız	Düşük hızlı rüzgar, hibrit
Hibrit (Darrieus-Savonius)	%25-40	2-3 m/s	Düşük	Bağımsız	Kentsel, değişken rüzgar

Kaynak: Kumar vd. 2018; Mortel vd. 2020; Susilo vd. 2022

2.2.3. Rüzgar Enerji Sistemi Bileşenleri

Rüzgar enerji sistemleri, rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye ve ardından elektrik enerjisine dönüştüren çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenlerin uyumlu çalışması, sistem verimliliği ve güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir.

2.2.3.1. Jeneratör ve Şanzıman Sistemleri

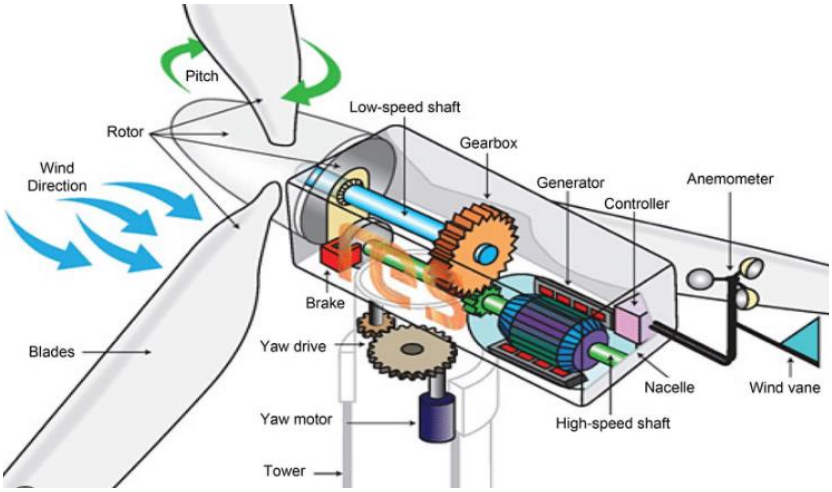
Jeneratör, rüzgar türbininin mekanik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren temel bileşendir. Rüzgar türbinlerinde senkron jeneratörler, asenkron (indüksiyon) jeneratörler ve kalıcı mıknatıslı jeneratörler (PMG) kullanılmaktadır. Asenkron jeneratörler, düşük maliyetleri ve basit yapıları nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Kalıcı mıknatıslı jeneratörler ise yüksek verimlilikleri ve kompakt yapıları nedeniyle özellikle küçük ölçekli türbinlerde kullanılmaktadır (Bulut, 2021). Şanzıman (dişli kutusu), rotorun düşük dönüş hızını jeneratörün gerektirdiği yüksek devir hızına yükselten mekanik bileşendir. Büyük ölçekli türbinlerde rotor genellikle 10-20 rpm hızında dönerken, jeneratör 1000-1500 rpm gerektirmektedir. Son yıllarda doğrudan tahrikli (gearless) sistemlerin popülaritesi artmakta olup, bu sistemler şanzıman kaynaklı mekanik kayıpları ortadan kaldırarak bakım maliyetlerini düşürmekte ve sistem güvenilirliğini artırmaktadır (Öztürk, 2020).

2.2.3.2. Kule ve Temel Yapıları

Kule, türbini yeterli yükseklikte tutarak daha güçlü ve düzenli rüzgarlara erişimi sağlayan yapısal bileşendir. Rüzgar hızı yükseklikle orantılı olarak arttığından, kule yüksekliği enerji üretimini doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. Kuleler genellikle çelik boru, beton veya hibrit (çelik-beton) malzemelerden üretilmekte olup, rüzgar yüklerine dayanacak şekilde tasarlanmaktadır (Çelikdemir ve Özdemir, 2023). Temel yapısı, kuleyi ve türbini güvenli bir şekilde zemine sabitleyen kritik bileşendir. Temel tasarımı, zemin koşulları, türbin kapasitesi ve rüzgar yüklerine göre belirlenmektedir. Güçlü beton veya çelik malzemelerden inşa edilen temeller, türbinin stabilitesini sağlamaktadır. Kamu binalarında çatı üstü türbin uygulamalarında, bina yapısının türbin yüklerini taşıyabilmesi için statik değerlendirme yapılması ve vibrasyon etkilerinin analiz edilmesi gerekmektedir (Adhikari ve Bhattacharya, 2012).

2.2.3.3. Kontrol ve Güç Elektroniği Sistemleri

Kontrol sistemleri, türbinin güvenli ve verimli çalışmasını sağlayan elektronik ve yazılım bileşenlerinden oluşmaktadır. Rüzgar hızı, rüzgar yönü, jeneratör performansı ve sistem sıcaklığı gibi parametreler sürekli izlenmekte ve optimal üretim düzeylerini sağlamak için otomatik ayarlamalar yapılmaktadır. Modern türbinlerde mikroişlemci tabanlı kontrol üniteleri, tüm parametreleri kaydederek analiz etmekte ve olumsuz hava koşullarında türbini koruyarak aşırı ısınma veya yüklenmelerden kaçınmayı sağlamaktadır (Hajiyeva, 2024; Akalın vd. 2017). Güç elektroniği sistemleri, üretilen elektriğin şebeke standartlarına uygun hale getirilmesini sağlamaktadır. AC-DC-AC dönüşümü yapan frekans konvertörleri, değişken rüzgar hızlarında üretilen elektriğin gerilim ve frekansını düzenleyerek şebeke entegrasyonunu mümkün kılmaktadır. Bu sistemler, enerji üretimini optimize ederken güç dalgalanmalarını minimize etmekte ve reaktif güç kontrolü sağlamaktadır (Chavero-Navarrete vd. 2019; Mengi ve Altaş, 2015).



Şekil 2.2.3. Rüzgar Türbini Sistem Bileşenleri

Sonuç olarak, rüzgar enerji sistemi bileşenlerinin doğru tasarımı ve entegrasyonu, toplam sistem performansını belirleyen kritik faktörlerdir. Jeneratör ve şanzıman seçimi enerji dönüşüm verimliliğini, kule yüksekliği rüzgar kaynağına erişimi, kontrol ve güç elektroniği sistemleri ise şebeke uyumluluğunu ve operasyonel güvenliği doğrudan etkilemektedir. Teknolojik gelişmeler, özellikle doğrudan tahrikli jeneratörler ve akıllı

kontrol sistemleri alanında, rüzgar türbinlerinin verimlilik ve güvenilirliğini artırmaya devam etmektedir.

2.2.4. Kamu Binalarında Rüzgar Enerjisi Uygulamaları

Kamu binalarında rüzgar enerjisi uygulamaları, sürdürülebilir enerji yönetimi ve enerji verimliliği hedeflerine ulaşılmasında önemli bir potansiyel sunmaktadır. Rüzgar türbinlerinin binalara entegrasyonu, özellikle küçük ölçekli ve binaya entegre sistemler aracılığıyla, kamu tesislerinin enerji bağımsızlığına katkı sağlamaktadır.

Rüzgar türbinleri, kamu binalarında enerji verimliliğini artırmak ve işletme maliyetlerini düşürmek amacıyla kullanılmaktadır. Büyük şehirlerde ve kentsel alanlarda binaya entegre rüzgar enerji sistemleri (BIWT) ve küçük ölçekli türbinlere yönelik ilgi artmaktadır (Umilia ve Santoso, 2019). Bu sistemler bina çatılarında, köşelerinde veya bitişik alanlarda konumlandırılarak elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Özellikle yüksek kamu binaları, eğitim kampüsleri, hastane kompleksleri ve spor tesisleri, rüzgar türbini uygulamaları için uygun alanlar sunmaktadır. Kentsel alanlarda rüzgar enerjisi üretimi, yapıların rüzgar akışını engellemesi ve türbülanslı rüzgar profilleri oluşturması nedeniyle çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Ancak doğru türbin tasarımı ve stratejik konumlandırma ile bu zorluklar aşılabilmektedir (Tsionas vd. 2024). Dikey eksenli rüzgar türbinleri (VAWT), rüzgar yönünden bağımsız çalışabilme ve türbülanslı koşullara uyum özellikleriyle kentsel alanlarda daha tutarlı performans göstermektedir. Yüksek binaların çatıları ve köşeleri, rüzgar hızının arttığı bölgeler olarak değerlendirilerek türbin yerleşimi için optimize edilebilmektedir (Mostafaeipour vd. 2019).

Dünya genelinde kamu binalarında başarılı rüzgar enerjisi uygulamaları mevcuttur. Surabaya'da kamu binalarına entegre edilen rüzgar türbinleri, güneş enerjisi sistemleriyle birlikte kullanılarak hibrit enerji çözümleri oluşturmuştur. Bu tür sistemler, enerji tasarrufunu artırarak kamu hizmetlerinde önemli iyileştirmeler sağlamıştır (Umilia ve Santoso, 2019). Bahrain Dünya Ticaret Merkezi, iki kule arasına yerleştirilen türbinlerle BIWT uygulamalarının öncü örneklerinden birini oluşturmaktadır. Londra'daki Strata SE1 binası ise çatısına entegre üç türbinle yılda 50 MWh enerji üretmektedir.

Rüzgar türbinlerinin kamu binalarına entegrasyonu, enerji verimliliğini artırmak için büyük potansiyel taşımaktadır. Başarılı uygulamalar için türbin yerleşim yerlerinin CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) simülasyonlarıyla analiz edilmesi, yapısal değerlendirmelerin yapılması ve gürültü etkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir (Tsionas vd. 2024). Aerodinamik tasarımlardaki gelişmeler ve düşük rüzgar hızlarında çalışabilen yeni nesil türbinler, kentsel uygulamaların fizibilitesini artırmaktadır. Hibrit sistemlerde (PV + rüzgar) her iki kaynağın birbirini tamamlayıcı özellikleri, toplam sistem güvenilirliğini yükseltmektedir.

Kamu binalarında rüzgar enerjisi uygulamaları sürdürülebilir enerji yönetiminde önemli fırsatlar sunmaktadır. Sistemlerin etkinliği, doğru teknoloji seçimi, uygun konumlandırma ve destekleyici altyapının sağlanmasıyla doğrudan ilişkilidir. Bu zorlukların aşılması halinde rüzgar enerjisi sistemleri, kamu binalarının enerji bağımsızlığına önemli katkı sağlayacaktır (Deed vd. 2025; Park vd. 2013).

Tablo 2.2.2. Kamu binalarında rüzgar enerjisi uygulama özellikleri

Bina Türü	Önerilen Türbin Tipi	Kapasite Aralığı	Uygulama Şekli	Dikkat Edilecek Hususlar
Yüksek Ofis Binası	VAWT / Kanal tipi	5-50 kW	Çatı, bina köşesi	Yapısal analiz, gürültü, estetik
Üniversite Kampüsü	Küçük HAWT / VAWT	10-100 kW	Açık alan, çatı	Eğitim amaçlı, rüzgar haritası
Hastane Kompleksi	VAWT (düşük gürültü)	5-30 kW	Çatı, park alanı	Gürültü kritik, kesintisiz enerji
Spor Tesisi	HAWT / Hibrit sistem	20-100 kW	Açık alan	PV hibrit uygun, geniş alan
Belediye Binası	VAWT / Mikro HAWT	1-20 kW	Çatı montaj	Sembolik değer, görünürlük
Okul	Mikro VAWT	1-10 kW	Çatı, bahçe	Eğitim, düşük gürültü

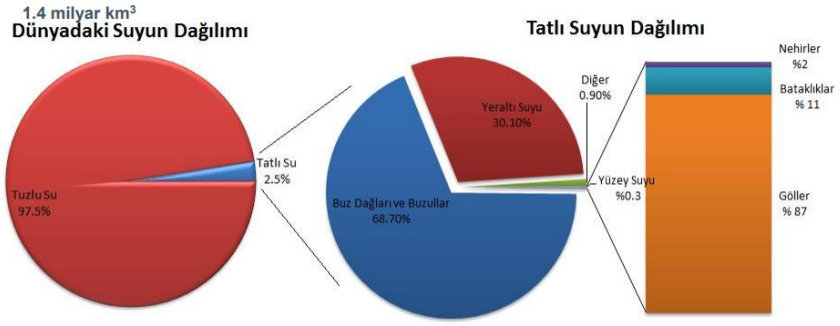
Kaynak: Umilia ve Santoso, 2019; Mostafaeipour vd. 2019; Tsionas vd. 2024

2.3. Sürdürülebilir Su Yönetimi Sistemleri ve Kamu Binalarında Uygulamaları

Su kaynakları, iklim değişikliği, kentleşme ve nüfus artışı baskısı altında giderek kıtlaşmaktadır. Kamu binalarında sürdürülebilir su yönetimi, su tüketiminin azaltılması, alternatif su kaynaklarının değerlendirilmesi ve su verimliliğinin artırılması stratejilerini kapsamaktadır. Bu bölümde yağmur suyu hasadı kamu binalarındaki uygulamaları kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır.

2.3.1. Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri

Sürdürülebilir su yönetimi, mevcut su kaynaklarının gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde korunması ve verimli kullanılması prensibine dayanmaktadır. Dünya genelinde tatlı su kaynaklarının yalnızca %2.5'i kullanılabilir durumda olup, bu kaynakların büyük bölümü buzullarda ve yeraltı sularında bulunmaktadır. İklim değişikliği, yağış düzenlerini değiştirerek su kıtlığı riskini artırmakta ve su yönetimini kritik bir konu haline getirmektedir. Binalarda su tüketimi, toplam kentsel su kullanımının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Kamu binaları; ofisler, okullar, hastaneler, spor tesisleri ve sosyal tesisler gibi çeşitli yapıları kapsayan geniş bir kategoride yer almakta ve yüksek su tüketim profillerine sahiptir. Özellikle hastaneler ve spor tesisleri, 7/24 operasyonları ve yoğun sıcak su ihtiyaçları nedeniyle yüksek su tüketimine sahiptir. Bu binalarda sürdürülebilir su yönetimi uygulamaları, hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlamaktadır.

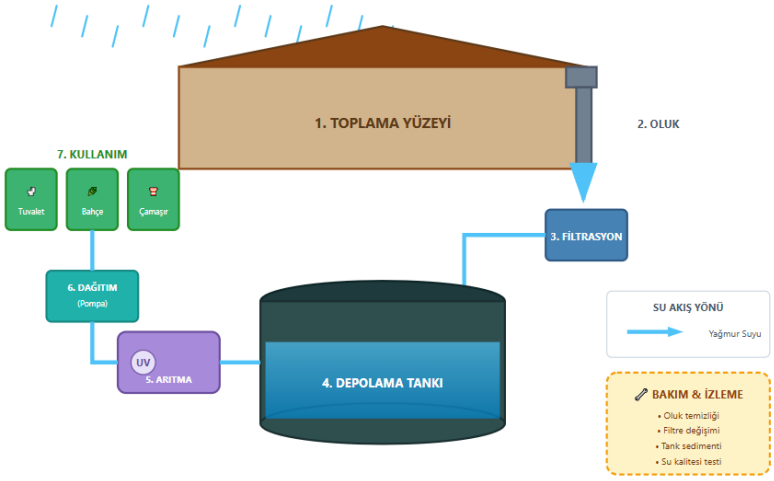


Şekil 2.3.1 Dünyadaki Suyun Dağılım Şeması

Sürdürülebilir su yönetiminin temel stratejileri; su tüketiminin azaltılması (reduce), alternatif su kaynaklarının kullanılması (replace), suyun yeniden kullanımı (reuse) ve su kaynaklarının geri kazanımı (recycle) olarak sıralanmaktadır. Bu stratejiler, entegre su yönetimi yaklaşımıyla birlikte uygulandığında maksimum fayda sağlamaktadır. Yeşil bina sertifikasyon sistemleri (LEED, BREEAM, ÇEDBİK) su verimliliğini önemli bir değerlendirme kriteri olarak kabul etmekte ve sürdürülebilir su yönetimi uygulamalarını teşvik etmektedir (Ghisi ve Ferreira, 2007).

2.3.2. Yağmur Suyu Hasadı Sistem Bileşenleri

Yağmur suyu hasadı (rainwater harvesting), yağış sularının çatı yüzeylerinden veya diğer toplama alanlarından toplanarak depolanması ve çeşitli amaçlarla kullanılması işlemidir. Bu yöntem, binlerce yıldır uygulanan geleneksel bir su temini yöntemi olup, modern teknolojilerle birleştirildiğinde kentsel su yönetiminde önemli katkılar sağlamaktadır. Yağmur suyu toplama sistemleri, suyun toplanması, iletilmesi, depolanması, arıtılması ve dağıtılması işlevlerini yerine getiren entegre bileşenlerden oluşmaktadır. Her bileşenin doğru tasarımı ve uyumu, sistem verimliliği ve su kalitesi açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 2.3.2 Yağmur suyu hasadı bileşenleri

Yağmur suyu hasadı sistemlerinin ilk bileşeni, suyun toplandığı yüzey alanıdır. Çatılar, en yaygın kullanılan toplama yüzeyleri olup, malzeme seçimi toplanan suyun kalitesini doğrudan etkilemektedir. Metal, kil kiremit ve beton çatılar, düşük kirletici salınımı nedeniyle tercih edilen malzemeler arasındadır. Çatı yüzeyinin su geçirmez ve temiz malzemelerden oluşması, toplanan suyun kalitesini korumaktadır (Kusumawardhana vd. 2021; Hamilton vd. 2017). Kamu binalarının geniş çatı alanları, yüksek yağmur suyu toplama potansiyeli sunmaktadır.

Çatı yüzeyinden toplanan suyun depolama tankına yönlendirilmesi, oluk ve iniş boruları aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Oluk koruyucuları, yaprak ve bitki artıkları gibi organik materyallerin sisteme girişini engelleyerek mikrobiyal büyümeyi önlemektedir. İlk yıkama (first-flush) ayrıştırıcıları, çatı yüzeyindeki ilk kirli suyu devre dışı bırakarak depolama tankına ulaşan kirletici yükünü azaltmaktadır. Bu cihazlar, özellikle uzun kuru dönemlerden sonra çatı yüzeyinde biriken toz ve kirliliklerin ayrıştırılmasında kritik rol oynamaktadır (Kusumawardhana vd. 2021; Hamilton vd. 2017).

Depolama tankları, sistemin en kritik ve maliyetli bileşenidir. Tanklar; beton, polietilen, fiberglas veya çelik malzemelerden üretilmekte olup, yeraltı veya yer üstü konumlandırılabilmektedir. Tank tasarımı, suyun kalitesini koruyacak şekilde ışık geçirmez ve hava sirkülasyonunu minimize edecek özelliklerde olmalıdır (Wallace ve Bailey, 2014). Tank boyutlandırması, yağış miktarı, toplama alanı, su talebi ve güvenilirlik hedefine göre belirlenmektedir. Genel tasarım kuralı olarak, kuru dönem süresine ve günlük su talebine göre 2-4 haftalık depolama kapasitesi önerilmektedir. Modüler tank sistemleri, farklı kapasite gereksinimlerine uyum sağlayabilmektedir (Burns vd. 2014).

Su kalitesi kontrolü, yağmur suyunun güvenli kullanımı için kritik öneme sahiptir. Filtrasyon sistemleri, suyun depolama tankına ulaşmadan önce fiziksel kirleticilerden arındırılmasını sağlamaktadır. Kaba filtreler yaprak ve büyük partikülleri tutarken, ince filtreler sediment ve küçük partikülleri gidermektedir. Aktif karbon filtrasyonu, organik bileşiklerin ve kokuların giderilmesinde kullanılmaktadır. Dezenfeksiyon sistemleri olarak UV lambalar, klorlama veya ozonlama yöntemleri uygulanarak mikrobiyal kontaminasyon önlenmektedir (Lee vd. 2021; Ndiritu vd. 2018). Kullanım amacına göre arıtma seviyesi belirlenmekte; tuvalet ve bahçe sulama için temel filtrasyon yeterli iken, çamaşır makinesi kullanımı için ileri arıtma önerilmektedir.

Depolanan suyun kullanım noktalarına iletilmesi, dağıtım sistemleri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Pompa sistemleri, basınçlı su temini sağlarken, yerçekimi beslemeli sistemler enerji tüketimi olmadan çalışmaktadır. Değişken hızlı pompalar, farklı talep koşullarında enerji verimliliği sunmaktadır. Şebeke suyu yedekleme sistemi, yağmur suyu yetersiz kaldığında otomatik geçiş sağlayarak kesintisiz su temini garantilemektedir. Hava boşluğu (air gap) veya geri akış önleyici vanalar, şebeke suyunun kontaminasyonunu engellemektedir (Islam vd. 2014). Dağıtım hattının içme suyu hattından fiziksel olarak ayrılması ve açıkça işaretlenmesi, sağlık güvenliği açısından zorunludur.

Yağmur suyu toplama sistemlerinin etkin çalışması için düzenli bakım ve izleme zorunludur. Olukların temizlenmesi, filtrelerin değiştirilmesi, tank sedimentinin giderilmesi ve pompa bakımı periyodik olarak yapılmalıdır. Su kalitesi parametrelerinin (pH, bulanıklık, mikrobiyal kontaminasyon) izlenmesi, güvenli kullanım için kritik öneme sahiptir. Akıllı izleme sistemleri, tank seviyesi, pompa performansı ve su kalitesini gerçek zamanlı takip ederek bakım gereksinimlerini önceden tespit edebilmektedir (Kus vd. 2010; Fletcher vd. 2008).

Yağmur suyu toplama sistemleri su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve kamu binalarında su güvenliğinin artırılması açısından önemli çözümler sunmaktadır. Sistem bileşenlerinin doğru tasarımı, kaliteli malzeme seçimi ve düzenli bakım, uzun vadeli verimli çalışmayı garanti etmektedir. Kamu binalarının geniş çatı alanları ve yüksek su tüketim profilleri, yağmur suyu hasadı sistemleri için ideal uygulama alanları oluşturmaktadır.

Tablo 2.3.1.Yağmur Suyu Kalite Parametreleri ve Kirletici Kaynakları

Parametre Türü	**Parametreler**	**Kirletici Kaynakları**	**Etkileyen Faktörler**
Fiziksel	Bulanıklık, TDS (Toplam Çözünmüş Katı Madde)	Toz, yaprak, sediment	Kuru dönem süresi, çatı malzemesi
Kimyasal	pH, ağır metaller	Atmosferik kirleticiler, çatı malzemesi bileşenleri	Atmosferik koşullar, çatı malzemesi özellikleri
Biyolojik	E. coli, koliform bakteriler, patojenler	Kuş dışkısı, organik maddeler	Depolama süresi, sıcaklık

Kaynak: Waideman vd. 2020; Zdeb vd. 2021; Rojas vd. 2021

2.3.3 Yağmur suyu kalitesi ve arıtma yöntemleri

Arıtma yöntemlerinin seçimi, suyun nihai kullanım amacına göre belirlenmektedir. Çatı yüzeylerinden toplanan yağmur suyu; toz, yaprak, kuş dışkısı, atmosferik kirleticiler ve çatı malzemesinden kaynaklanan bileşenler içerebilmektedir (Waideman vd. 2020; Zdeb vd. 2021). Su kalitesi parametreleri arasında pH, bulanıklık, toplam çözünmüş katı madde (TDS), ağır metaller ve mikrobiyal kontaminasyon yer almaktadır. Uzun süreli depolama dönemlerinde kirleticilerin türü ve yoğunluğu değişebilmekte, bu durum sağlık riskleri oluşturabilmektedir. Özellikle E. coli ve koliform bakteriler gibi patojenlerin varlığı, arıtma gereksinimini belirleyen kritik göstergelerdir (Zdeb vd. 2021; Rojas vd. 2021). Atmosferik koşullar, çatı malzemesi özellikleri ve kuru dönem süresi, toplanan suyun kalitesini doğrudan etkileyen faktörlerdir.

Yağmur suyu arıtma yöntemleri, kullanım amacına göre farklı seviyelerde uygulanmaktadır. Birincil arıtma aşamasında filtrasyon yöntemiyle büyük partiküller ve

katı maddeler ayrıştırılmaktadır. Kaba filtreler yaprak ve iri partikülleri tutarken, ince filtreler sediment ve küçük partikülleri gidermektedir (Grabowski vd. 2023). İlk yıkama (first-flush) sistemleri, çatı yüzeyindeki ilk kirli suyu ayrıştırarak depolanan suyun kalitesini önemli ölçüde artırmaktadır. Dezenfeksiyon, mikrobiyal kontaminasyonun giderilmesi için kritik bir aşamadır. UV ışınlama, kimyasal kalıntı bırakmadan etkili dezenfeksiyon sağlamakta ve yağmur suyu sistemlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir (Page vd. 2010; Maffei vd. 2005). Klorlama, sodyum hipoklorit kullanılarak uygulanan ekonomik bir dezenfeksiyon yöntemi olup, rezidüel koruma sağlama avantajına sahiptir (Rojas vd. 2021; Biantoro vd. 2025). Ozonlama ise güçlü oksidasyon kapasitesiyle hem dezenfeksiyon hem de organik madde giderimi sağlamaktadır. Biyolojik arıtma yöntemleri, yağmur suyu kalitesinin artırılmasında yenilikçi yaklaşımlar sunmaktadır. Bakteriyofaj uygulamaları, hedeflenmiş bakteri eliminasyonu için potansiyel çözümler arasında değerlendirilmektedir (Obong'o vd. 2024). Aktif karbon filtrasyonu, organik bileşiklerin, koku ve tat problemlerinin giderilmesinde etkili bir yöntemdir.

Tablo 2.3.2 Yağmur Suyu Arıtma Yöntemleri Karşılaştırması

Arıtma Aşaması	Yöntem	İşlevi	Avantajları	Dezavantajları
Birincil Arıtma (Filtrasyon)	Kaba filtreler	Yaprak ve iri partiküllerin tutulması	Düşük maliyet, kolay bakım	Sadece büyük partikülleri tutar
	İnce filtreler	Sediment ve küçük partiküllerin giderimi	Etkili partikül giderimi	Düzenli değişim gerektirir
	İlk yıkama (First-flush)	İlk kirli suyun ayrıştırılması	Kirletici yükünü önemli ölçüde azaltır	Bir miktar su kaybı yaşanır
İkincil Arıtma (Dezenfeksiyon)	UV ışınlama	Mikrobiyal kontaminasyonun giderilmesi	Kimyasal kalıntı bırakmaz, etkili	Rezidüel koruma sağlamaz, enerji gerektirir
	Klorlama	Sodyum hipoklorit ile dezenfeksiyon	Ekonomik, rezidüel koruma sağlar	Kimyasal kalıntı, tat/koku problemi
	Ozonlama	Dezenfeksiyon ve organik madde giderimi	Güçlü oksidasyon kapasitesi	Yüksek maliyet, teknik uzmanlık gerektirir
İleri Arıtma	Aktif karbon filtrasyonu	Organik bileşik, koku ve tat giderimi	Geniş spektrumlu giderim	Periyodik karbon değişimi gerekir

Arıtma Aşaması	Yöntem	İşlevi	Avantajları	Dezavantajları
	Bakteriyofaj uygulamaları	Hedeflenmiş bakteri eliminasyonu	Yenilikçi, spesifik hedefleme	Deneysel aşamada, sınırlı uygulama

Kaynak: Grabowski vd. 2023; Page vd. 2010; Maffei vd. 2005; Rojas vd. 2021; Biantoro vd. 2025; Obong'o vd. 2024

2.4. Bibliyometrik Yöntem

Bu çalışmada, kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi alanındaki bilimsel evrim ve araştırma eğilimlerini incelemek amacıyla kapsamlı bir bibliyometrik yaklaşım benimsenmiştir. Araştırmanın metodolojik çerçevesi üç ana aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada veri toplama ve ön işleme gerçekleştirilmiştir. Veri kaynağı olarak Web of Science (WoS) veri tabanları kullanılmış ve veri toplama işlemi Kasım 2025'te tamamlanmıştır. Arama stratejisi aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir.

((TI=("renewable energy" OR "solar energy" OR "solar panel*" OR "photovoltaic*" OR "PV system*" OR "rooftop solar" OR "wind energy" OR "wind turbine*" OR "geothermal energy" OR "biomass energy")) OR (AB=("renewable energy" OR "solar energy" OR "solar panel*" OR "photovoltaic*" OR "PV system*" OR "rooftop solar" OR "wind energy" OR "wind turbine*" OR "geothermal energy" OR "biomass energy")) OR (AK=("renewable energy" OR "solar energy" OR "solar panel*" OR "photovoltaic*" OR "PV system*" OR "rooftop solar" OR "wind energy" OR "wind turbine*" OR "geothermal energy" OR "biomass energy")))

AND

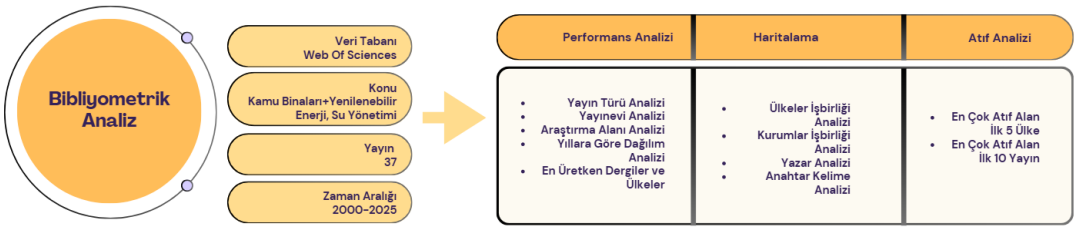
((TI=("public building*" OR "public facilit*" OR "government building*" OR "municipal building*" OR "office building*" OR "school building*" OR "hospital building*")) OR (AB=("public building*" OR "public facilit*" OR "government building*" OR "municipal building*" OR "office building*"OR "school building*" OR "hospital building*")) OR (AK=("public building*" OR "public facilit*" OR "government building*" OR "municipal building*" OR "office building*" OR "school building*" OR "hospital building*")))

AND

((TI=("water management" OR "water efficiency" OR "water conservation" OR "water use" OR "water demand" OR "water consumption" OR "water supply" OR "water harvesting" OR "wastewater management")) OR (AB=("water management" OR "water efficiency" OR "water conservation" OR "water use" OR "water demand" OR "water consumption" OR "water supply" OR "water harvesting" OR OR "wastewater management")) OR (AK=("water management" OR "water efficiency" OR "water conservation" OR "water use" OR "water demand" OR "water consumption" OR "water supply" OR "water harvesting" OR "rainwater" OR " rainwater management")))

Tarama 2000-2025 yıllarını kapsayan bir zaman diliminde gerçekleştirilmiş olup, son 25 yıllık literatür evrimi kapsamlı şekilde incelenmiştir. Tarama kapsamında araştırma

makaleleri, konferans bildirileri, derleme makaleleri ve kitap bölümleri dikkate alınmış, ilk taramada toplam 37 bilimsel yayın elde edilmiştir. Dahil etme kriterleri olarak kamu binaları (belediye binaları, eğitim yapıları, hastaneler, kültür-spor tesisleri) özelinde yenilenebilir enerji sistemleri (fotovoltaik, güneş kolektörleri, rüzgar enerjisi) ve/veya su yönetimi sistemleri konularını ele alan çalışmalar belirlenmiştir.



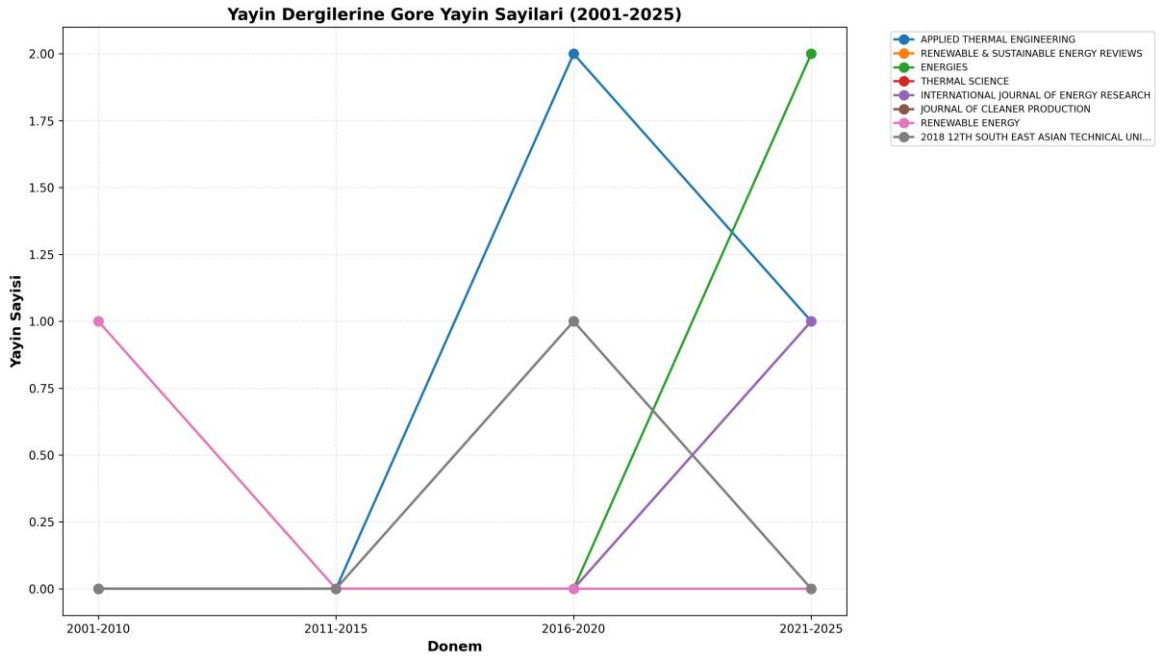
Şekil 2.4. Metodolojinin çerçevesi

İkinci aşamada bibliyometrik analiz, VOSviewer (versiyon 1.6.20) kullanılarak altı temel boyutta yürütülmüştür: yayın analizi (yıllık üretim eğilimleri, doküman türleri, coğrafi dağılım), yazar ve kurum analizi (en üretken yazarlar, kurumsal işbirliği ağları, disiplinler arası yapı), ülkeler arası işbirliği ağlarının analizi dergi analizi, atıf analizine dayalı etki değerlendirmesi (en çok atıf alan yayınlar,) ve anahtar kelime eş-görülme analizi (kavramsal yapı, tematik evrim, gelişen araştırma fronları). Bu çok yönlü analizle, kamu binalarında yenilenebilir enerji ve su yönetimi literatürünün bibliyometrik performansı detaylı şekilde incelenmiş ve alanın küresel görünümü net bir biçimde ortaya konmuştur. Ayrıca teknolojik gelişim aşamaları ve coğrafi odak kaymaları kronolojik olarak haritalanmıştır.

Son aşamada, tematik ve içerik analizine odaklanılmıştır. Bu kapsamda, en az 2 kez tekrarlanan anahtar kelimelere dayalı eş-görülme ağları oluşturulmuş ve kavramsal kümelenme yoluyla araştırma alanındaki temel temalar saptanarak zaman içindeki değişimleri izlenmiştir. Tematik analiz sonucunda beş ana araştırma kümesi belirlenmiştir: (1) fotovoltaik sistemler ve BIPV uygulamaları, (2) güneş termal sistemler ve ısıtma uygulamaları, (3) enerji verimliliği ve bina performansı, (4) yağmur suyu hasadı ve su tasarrufu, Her bir küme için zamansal evrim analizi yapılmış, 2000-2010 arası temel araştırma dönemi, 2010-2020 arası teknolojik gelişim ve yaygınlaşma dönemi, 2020-2025 arası ise entegre sistemler ve akıllı bina yönetimi dönemi olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, veri görselleştirilmelerinde ağ analizi tekniklerinden yararlanılmış, ortalama kümelenme katsayısı, yoğunluk haritaları ve zamansal gelişim haritaları oluşturulmuş, elde edilen bulgular sunulmuştur. Akdeniz iklim kuşağı ve Türkiye özelinde yayın yoğunluğu ayrı bir alt analiz olarak gerçekleştirilmiş, bölgesel boşluklar ve araştırma fırsatları tanımlanmıştır. Benimsenen bu bütüncül metodolojik çerçeve sayesinde, kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi alanındaki entelektüel yapının, araştırma eğilimlerinin, işbirliği örüntülerinin ve gelecek araştırma yönelimlerinin kapsamlı bir şekilde ortaya konması, ayrıca Türkiye ve Akdeniz bölgesi için literatürdeki boşlukların tespit edilmesi hedeflenmiştir.

2.4.1. Kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi üzerine küresel araştırma eğilimleri

Kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi konusunda en fazla çalışma bulunan yayınlar yıllara göre incelendiğinde, Web of Science veri tabanından elde edilen 37 bilimsel yayının bibliyometrik analizi kapsamlı bir perspektif sunmaktadır. 2001-2025 yılları arasını kapsayan bu dönemde, araştırma faaliyetlerinin belirli akademik dergilere yöneldiği ve bu yönelimin zaman içinde önemli değişiklikler gösterdiği tespit edilmiştir. Dört farklı zaman diliminde (2001-2010, 2011-2015, 2016-2020, 2021-2025) yapılan analiz, enerji, çevre ve sürdürülebilirlik temalarının akademik üretimde giderek daha fazla yer bulduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 2.4.1 Yayın Dergilerine Göre Yayın Sayıları (2001-2025)

Yayın dergilerine göre yayın sayılarını gösteren çizgi grafiği yukarıda görüntülenmektedir. Bu grafik, 2001-2025 yılları arasında kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi alanında en çok yayın yapılan dergilerin zaman içindeki değişimini göstermektedir.

1. Bu çalışmada incelenen 2001-2025 dönemi yayın verileri, araştırma faaliyetlerinin belirli akademik dergilere yöneldiğini ve bu yönelimin zaman içinde önemli değişiklikler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Dört farklı zaman diliminde yapılan analiz, enerji verimliliği, sürdürülebilir mimari ve yeşil bina uygulamalarının akademik üretimde giderek daha fazla yer bulduğunu göstermektedir.

2. En dikkat çekici bulgulardan biri, Applied Thermal Engineering dergisinin istikrarlı performansıdır. Bu dergide yapılan yayın sayısı 2001-2010 döneminde herhangi bir yayın bulunmazken, 2016-2020 aralığında 2, 2021-2025 döneminde ise 1 yayın ile toplamda 3 yayına ulaşmış ve kamu binalarında ısıl sistemler ve enerji verimliliği araştırmalarının önemini vurgulamıştır.

3. Benzer şekilde, Renewable & Sustainable Energy Reviews dergisinde 2001-2010 döneminde 1 yayın bulunurken, 2021-2025 döneminde yeniden 1 yayın yapılarak toplamda 2 yayına ulaşılmıştır. Bu dergi, yenilenebilir enerji sistemlerinin kamu binalarına entegrasyonu konusunda kapsamlı derleme çalışmalarına ev sahipliği yapmaktadır.

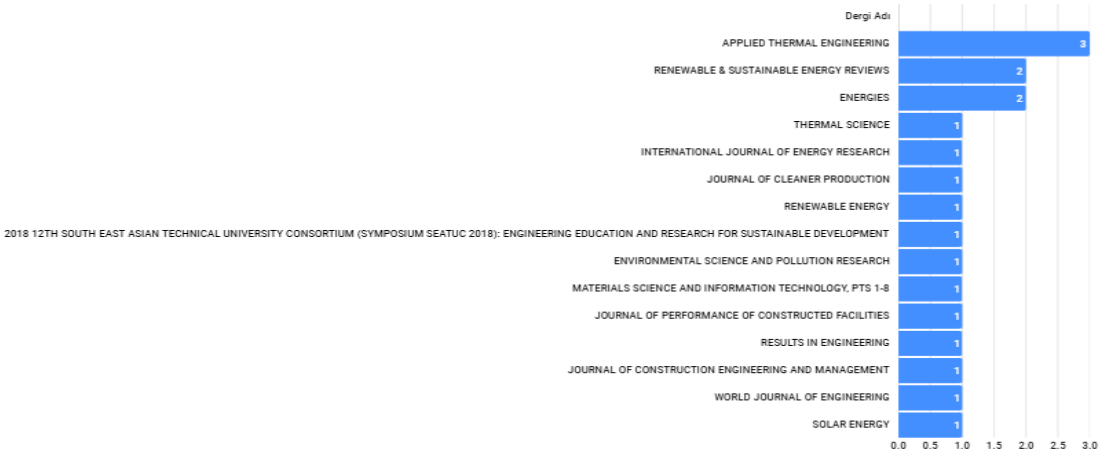
4. Energies dergisi, açık erişim politikası ve disiplinler arası yapısı sayesinde özellikle son dönemde öne çıkmaktadır. 2021-2025 döneminde 2 yayın ile kamu binalarında enerji yönetimi konusunda artan akademik ilginin göstergesi olmuştur.

5. Renewable Energy, Journal of Cleaner Production ve Solar Energy gibi prestijli dergiler, her biri 1 yayın ile kamu binalarında yenilenebilir enerji uygulamalarının çeşitli yönlerini ele alan önemli çalışmalara platform sağlamıştır.

6. Journal of Performance of Constructed Facilities, Journal of Construction Engineering and Management gibi mühendislik odaklı dergiler, kamu binalarının inşaat ve işletme performansı açısından sürdürülebilirlik uygulamalarını değerlendiren çalışmalara yer vermiştir.

7. Environmental Science and Pollution Research dergisi, kamu binalarının çevresel etkilerini ve su yönetimi uygulamalarını inceleyen araştırmalara katkıda bulunmuştur.

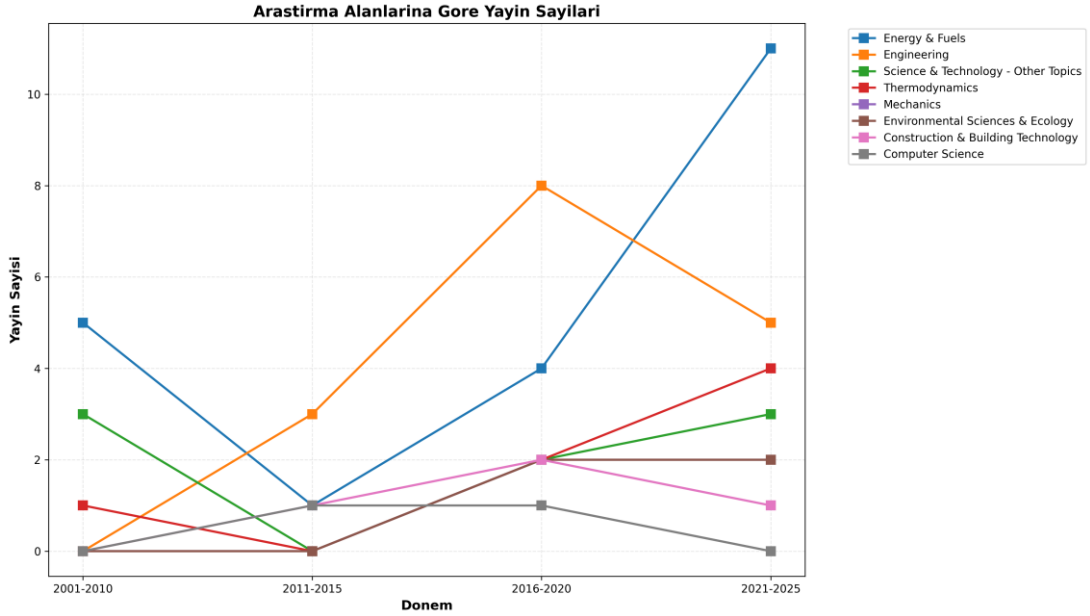
Genel olarak incelendiğinde, bilimsel yayınların dergilere göre dağılımı, kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi gibi çok disiplinli bir alandaki araştırma dinamiklerini anlamak açısından önemli içgörüler sunmaktadır. Yapılan bibliyometrik analiz, bu alanda en fazla tercih edilen yayın organlarını ve konuya yönelik akademik yoğunluğu ortaya koymaktadır. Analiz sonuçlarına göre, Applied Thermal Engineering 3 yayınla kamu binalarında enerji sistemleri alanındaki araştırmaların başlıca yayım organı olmuştur. Bunu 2 yayınla Renewable & Sustainable Energy Reviews ve Energies dergileri takip etmektedir. Energies, enerji sistemlerinin dijitalleşmesi, bina performansı optimizasyonları ve yenilenebilir enerji uygulamalarına odaklanan makalelere ev sahipliği yaparak çok disiplinli yaklaşımıyla dikkat çekmektedir. Sürdürülebilirlik temelli yayınlarıyla Solar Energy, Journal of Cleaner Production, Renewable Energy ve International Journal of Energy Research dergileri, alanın teknik, çevresel ve sürdürülebilirlik boyutlarını birlikte ele alan başlıca kaynaklar arasında yer almaktadır.



Şekil 2.4.2 Konuda En Fazla Çalışma Bulunan Yayınlar

2.4.2. Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Su Yönetimi Üzerine En Fazla Çalışma Bulunan Alanlar

Kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi üzerine en fazla çalışma bulunan alanlar yıllara göre incelendiğinde, disiplinler arası bir araştırma yapısı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.4.3 Araştırma Alanlarına Göre Yayın Sayıları

Araştırma alanlarına göre yayın sayılarını gösteren çizgi grafiği yukarıda görüntülenmektedir. Bu grafik, 2001-2025 yılları arasında farklı araştırma alanlarındaki yayın sayılarının değişimini göstermektedir.

1. Energy & Fuels alanı, araştırma alanları arasında en yüksek yayın sayısına sahiptir. 2001-2010 döneminde 5 yayınla başlayıp, 2011-2015de 1, 2016-2020de 4 ve

2021-2025 döneminde ise 11 yayına ulaşarak toplamda 21 yayın ile zirvede yer almaktadır. Bu alan özellikle son dönemde istikrarlı bir büyüme yaşamıştır.

2. Engineering alanı, istikrarlı ve güçlü bir gelişim modeli sergilemiştir. 2011-2015 döneminde 3 yayınla başlayıp, 2016-2020de 8 yayına, 2021-2025 döneminde 5 yayına ulaşarak toplamda 16 yayın ile ikinci sırada yer almaktadır.

3. Science & Technology - Other Topics alanı, tüm dönemlerde çeşitli katkılar sunmuştur. 2001-2010da 3, 2016-2020de 2 ve 2021-2025te 3 yayın ile toplamda 8 yayına ulaşarak üçüncü sırayı almıştır.

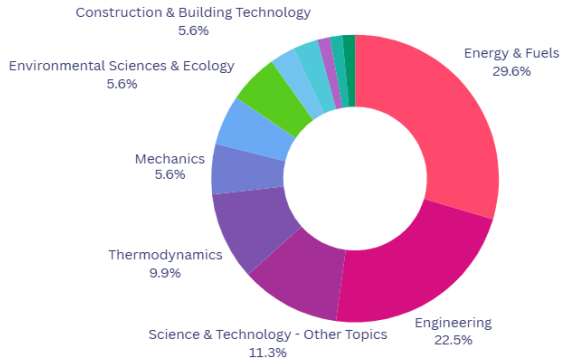
4. Thermodynamics alanı, özellikle son dönemlerde artış göstermiştir. 2001-2010da 1 yayından başlayarak, 2016-2020de 2, 2021-2025te ise 4 yayına ulaşmış ve toplamda 7 yayınla dördüncü sırada yer almıştır.

5. Mechanics ve Environmental Sciences & Ecology alanları, her biri 4 yayın ile eşit düzeyde temsil edilmektedir. Bu durum, kamu binalarında enerji verimliliği ve su yönetiminin hem teknik hem de çevresel boyutlarının önemini vurgulamaktadır.

6. Construction & Building Technology alanı, 4 yayın ile inşaat sektöründeki sürdürülebilirlik uygulamalarının araştırmalardaki yerini göstermektedir.

7. Computer Science (2 yayın) ve Water Resources (2 yayın) alanları, dijital teknolojilerin ve su kaynaklarının yönetiminin kamu binalarında artan önemini yansıtmaktadır.

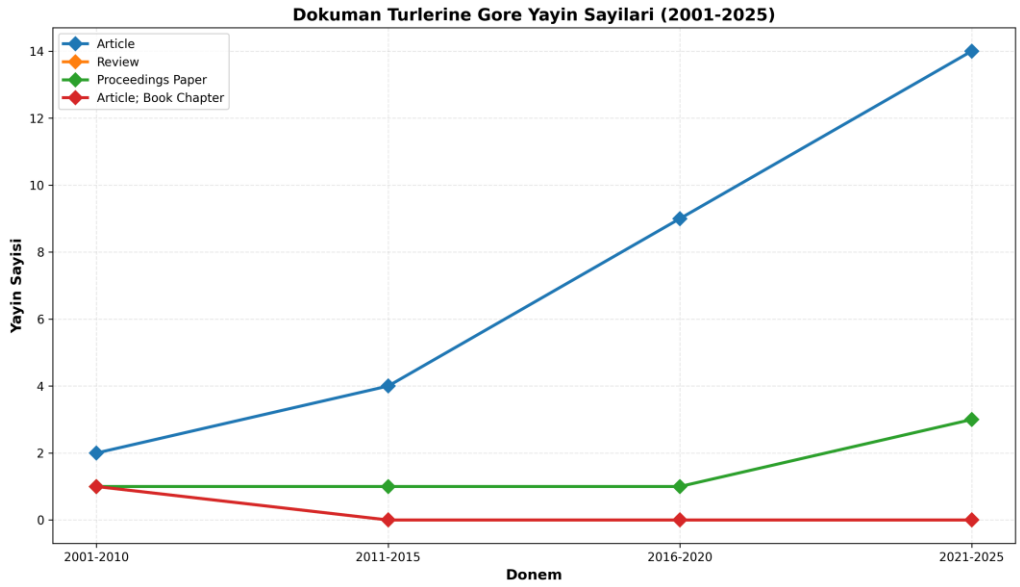
Bu analiz, verilen tablodaki gerçek sayıları temel alarak hazırlanmıştır ve araştırma alanlarının zaman içindeki gelişimini daha doğru şekilde yansıtmaktadır. Araştırma alanlarının disiplinler arası dağılımı, konunun çok boyutlu yapısını açıkça ortaya koymaktadır. Sunulan veriler, bu alandaki çalışmaların geniş bir akademik yelpazede gerçekleştirildiğini göstermektedir. Energy & Fuels alanı 21 yayınla öncü konumdadır. Bunu 16 yayınla Engineering takip etmektedir. Science & Technology kategorisi 8 yayınla üçüncü sırada yer alırken, Thermodynamics alanındaki 7 yayın, enerji sistemlerinin optimizasyonunda temel bilimlerin rolünü göstermektedir.



Şekil 2.4.3. Konuda En Fazla Çalışma Bulunan Alanlar

2.4.3. Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Su Yönetimi Üzerine En Fazla Çalışma Bulunan Yayın Türleri

Kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi konusunda yayın türleri incelendiğinde, akademik literatürün çeşitli formatlarda üretildiği görülmektedir.



Şekil 2.4.4. Doküman Türlerine Göre Yayın Sayıları (2001-2025)

Bu veriler, akademik yayın trendlerindeki değişimi göstermektedir. Makaleler (Article): 2001-2010 döneminde 2, 2011-2015 döneminde 4 olan makale sayısı, 2016-2020de 9a, 2021-2025 döneminde ise 14'e ulaşarak belirgin bir artış göstermiştir. Toplam 29 makale ile bu kategori, alandaki araştırma üretiminin %78.4ünü oluşturmaktadır.

1. Konferans Bildirileri (Proceeding Paper): 2001-2010 döneminde 1 bildiri ile başlayan süreç, 2011-2015te 1, 2016-2020de 1 ve 2021-2025te 3 bildiri ile toplamda 6 yayına ulaşmıştır. Bu durum, alanın konferans platformlarında da tartışıldığını göstermektedir.

2. Derleme Makaleleri (Review Article): 2001-2010 döneminde 1 derleme makale yayımlanmış olup, bu tür çalışmalar alanın sistematik değerlendirmesine katkı sağlamıştır.

3. Kitap Bölümü (Article; Book Chapter): 2001-2010 döneminde 1 adet yayın, alanın akademik kitaplarda da ele alındığını göstermektedir.

Özellikle 2021-2025 döneminde makalelerin sayısındaki belirgin artış, araştırma alanının olgunlaşmasını ve derinleşmesini yansıtmaktadır. Toplam 37 yayın arasında makalelerin dominant konumu (%78.4 pay) ve diğer yayın türlerinin çeşitliliği, alanın hem yeni araştırma üretimi hem de bilgi paylaşımı açısından dengeli bir gelişim gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Genel anlamda, araştırmaların yayın türlerine göre dağılımı, alandaki bilimsel iletişim tercihlerini detaylı olarak sunmaktadır. En yaygın yayın türü 29 yayın (%78.4)

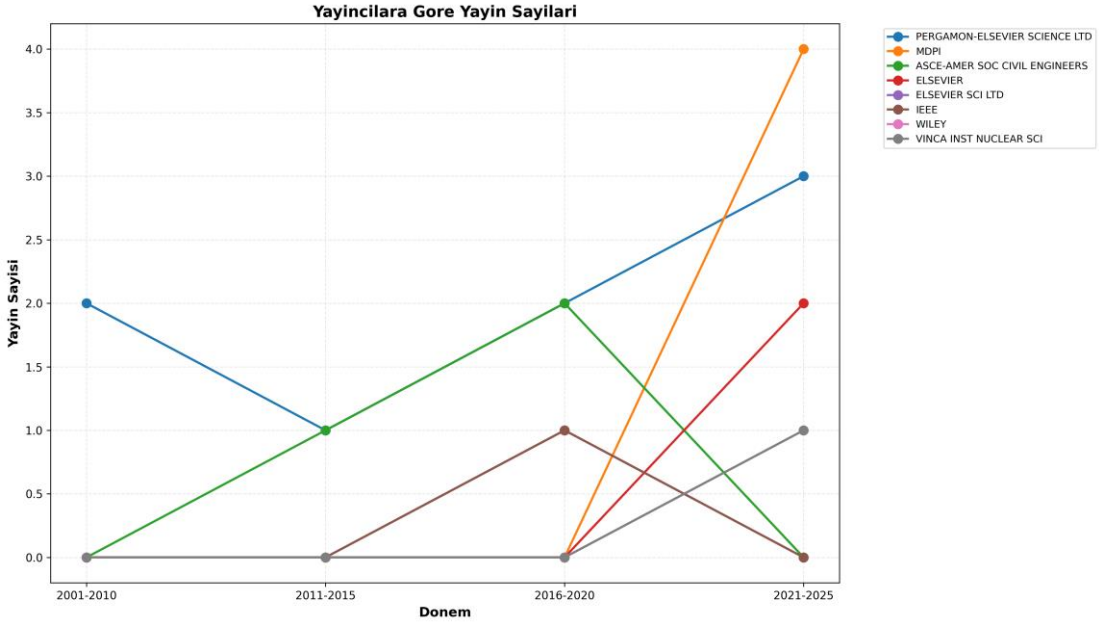
ile akademik makaleler olup, bu sayı alandaki bilimsel araştırmaların yoğunluğunu ve orijinal çalışmaların önemini göstermektedir. Konferans bildiri makaleleri (Proceeding Paper) 6 yayınla (%16.2) ikinci sırada yer almakta, bu da akademik toplantıların ve konferansların bilgi paylaşım platformu olarak kullanıldığını göstermektedir.



Şekil 2.4.5. Konuda En Fazla Çalışma Bulunan Yayın Türleri

2.4.4. Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Su Yönetimi En Fazla Çalışma Yayınlayan Yayınevleri

Yıllara göre kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi konusunda yayıncılar incelendiğinde, akademik yayıncılık ekosisteminin çeşitliliği ve dinamikleri net bir şekilde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.4.6 Yayıncılara Göre Yayın Sayıları

Yayıncılara göre yayın sayılarını gösteren çizgi grafiği yukarıda görüntülenmektedir. Bu grafik, 2001-2025 yılları arasında farklı yayıncıların yayın sayılarındaki değişimi göstermektedir.

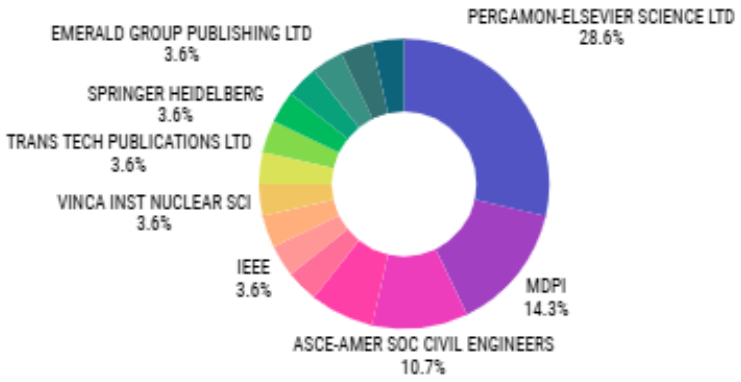
1. Pergamon-Elsevier Science Ltd: 2001-2010 döneminde 2, 2011-2015 döneminde 1 olan yayın sayısı, 2016-2020de 2ye, 2021-2025 döneminde ise 3e ulaşarak toplam 8 yayın ile lider konumdadır. Bu durum, Elsevierin alandaki dominant pozisyonunu göstermektedir.

2. MDPI: 2021-2025 döneminde 4 yayın ile açık erişim yayıncılığının hızla gelişmesi ve araştırmacıların erişilebilir yayın platformlarına yönelmesini yansıtmaktadır.

3. ASCE-Amer Soc Civil Engineers: 2011-2015 döneminde 1 yayınla başlayıp 2016-2020de 2 yayına çıkarak toplam 3 yayın ile inşaat mühendisliği alanındaki özel pozisyonunu güçlendirmiştir.

4. Elsevier: 2021-2025 döneminde 2 yayın ile farklı markalar altında varlığını sürdürmektedir.

Özellikle 2021-2025 döneminde yayıncı sayısının artması, akademik yayıncılık pazarının çeşitliliğini ve demokratikleşmesini yansıtmaktadır. Toplam 37 yayın arasında Pergamon-Elsevier Science Ltdnin dominant konumu (%21.6 pay) sürerken, MDPInin güçlü yükselişi (%10.8 pay) ve yeni yayıncıların katılımı, pazarın hem kaliteli hem de erişilebilir yayın seçenekleri açısından dengeli bir gelişim gösterdiğini ortaya koymaktadır.

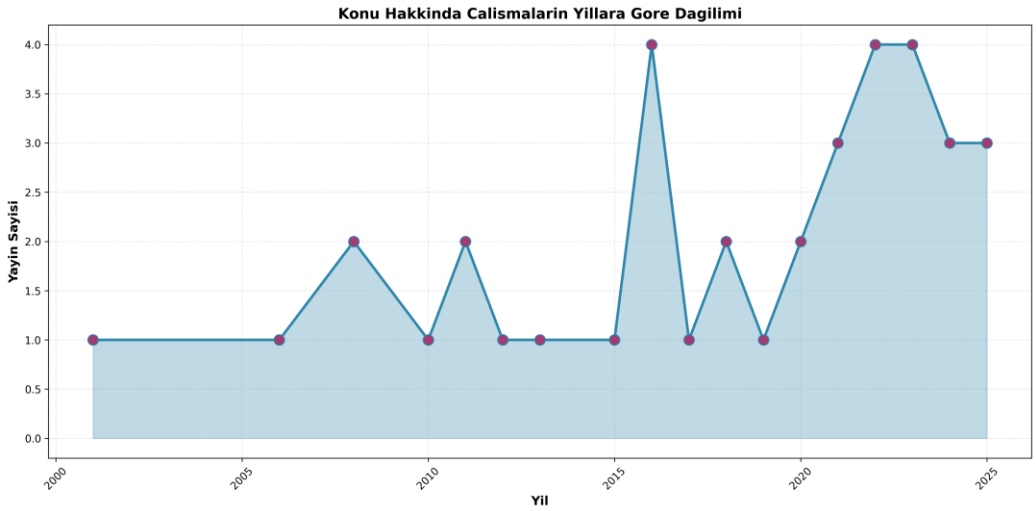


Şekil 2.4.7 Konuda En Fazla Çalışma Yayınlayan Yayınevleri

2.4.5 Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Su Yönetimi Yıllara Göre Dağılımı

Kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi alanındaki araştırmaların yıllara göre dağılımı, alanın hızlı gelişimini ve artan önemini açıkça ortaya

koymaktadır. 2001 yılından günümüze uzanan bu gelişim süreci, özellikle son on yılda dikkat çekici bir ivme kazanmıştır.



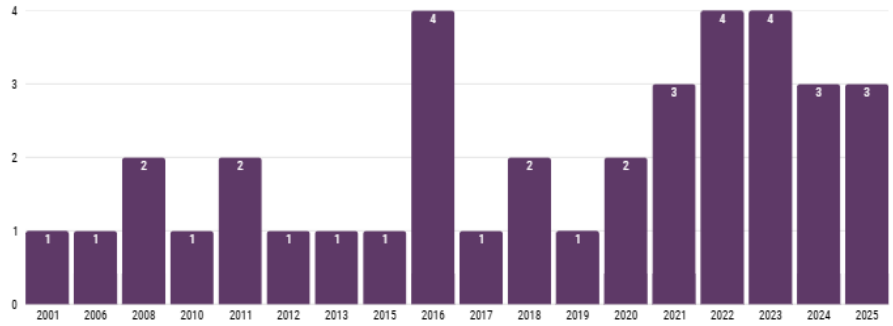
Şekil 2.4.8 Konu Hakkında Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı

2025 yılının ilk aylarında bile 3 yayına ulaşılması, alanın dinamik yapısını ve gelecekteki potansiyelini göstermektedir. 2024 yılı 3 yayınla, 2023 yılında 4 ve 2022 yılında 4 yayın gerçekleştirilmiştir. 2021'deki 3 yayın ve 2020deki 2 yayın, kamu binalarında yenilenebilir enerji sistemleri ve sürdürülebilir su yönetimi uygulamalarının hızlandığı dönemi temsil etmektedir.

2015-2020 dönemi, alanın önemli bir dönüşüm geçirdiği yıllar olmuştur. 2019da 1, 2018de 2 ve 2017de 1 yayın üretilmiştir. 2016daki 4 yayın, alanın gelişim ivmesinin güçlü sinyallerini göstermektedir. 2010-2015 arası dönemde yayın sayıları ise daha düşük seviyelerde seyretmiş, 2013, 2012 ve 2011 yıllarında her birinde 1-2 yayın, 2010da 1 yayın görülmektedir.

2000li yılların başı, alanın temellerinin atıldığı dönem olarak dikkat çekmektedir. 2008de 2, 2006'da 1 yayın ile sınırlı kalan araştırma faaliyetleri, 2001de bir yayınla başlamıştır. Son yıllardaki yayın sayılarının artışı, yeşil bina teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, kamu binalarında enerji verimliliği uygulamalarının yaygınlaşması, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında sürdürülebilir bina çözümlerine artan ilgi, akıllı bina yönetim sistemlerinin gelişimi ve karbon nötr bina hedefleriyle açıklanabilir.

Bu gelişim trendi, kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi alanının gelecekte de büyümeye ve evrilmeye devam edeceğini göstermektedir. Özellikle 2016 sonrası dönemdeki istikrarlı artış, alanın akademik camiada gördüğü ilginin ve pratik uygulamalardaki potansiyelinin güçlü bir göstergesidir. Toplam 37 yayının %54ünün 2020 sonrası dönemde üretilmesi, kamu binalarının sürdürülebilirlik dönüşümünün çağdaş mimari ve mühendislik araştırmalarının merkezinde yer aldığını ortaya koymaktadır.



Şekil 2.4.9 Konu Hakkında Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı

2.4.6. Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Su Yönetimi Üzerine İncelenen Zaman Aralığında En Çok Atıf Alan Yayınlar

Kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi alanında en çok atıf alan çalışmalar, alanın gelişiminde ve yönelimlerinde öncü rol oynamış temel referans kaynaklarını oluşturmaktadır. Web of Science Core Collection veritabanından elde edilen atıf verileri, bu çalışmaların bilimsel etki düzeyini ve alandaki önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Tablo 2.4.1 Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Su Yönetimi Üzerine İncelenen Zaman Aralığında En Çok Atıf Alan Yayınlar

Sıra	Atıf Sayısı	Yıl	Yazarlar	Yayın Başlığı	Dergi
1	77	2016	Tse, KK; Chow, TT; Su, Y	Performance evaluation and economic analysis of a full scale water-based photovoltaic/thermal (PV/T) system in an office building	Energy and Buildings
2	57	2015	Eicker, U; Pietruschka, D; Schmitt, A; Haag, M	Comparison of photovoltaic and solar thermal cooling systems for office buildings in different climates	Solar Energy
3	56	2018	Gamarra, AR; Istrate, IR; Herrera, I; Lago, C; Lizana, J; Lechón, Y	Energy and water consumption and carbon footprint of school buildings in hot climate conditions. Results from life cycle assessment	Journal of Cleaner Production
4	45	2008	Zhai, XQ; Wang, RZ; Dai, YJ; Wu, JY; Ma, Q	Experience on integration of solar thermal technologies with green buildings	Renewable Energy

5	41	2008	Zhai, XQ; Wang, RZ	Experiences on solar heating and cooling in China	Renewable & Sustainable Energy Reviews
6	41	2021	Su, Y; Wang, LW; Feng, W; Zhou, N; Wang, LY	Analysis of green building performance in cold coastal climates: An in-depth evaluation of green buildings in Dalian, China	Renewable & Sustainable Energy Reviews
7	41	2017	Chow, TT; Lyu, YL	Numerical analysis on the advantage of using PCM heat exchanger in liquid-flow window	Applied Thermal Engineering
8	36	2016	Abdallah, M; El-Rayes, K	Multiobjective Optimization Model for Maximizing Sustainability of Existing Buildings	Journal of Management in Engineering
9	35	2023	Gao, B; Zhu, XY; Ren, J; Ran, JY; Kim, MK; Liu, JY	Multi-objective optimization of energy-saving measures and operation parameters for a newly retrofitted building in future climate conditions: A case study of an office building in Chengdu	Energy Reports
10	35	2020	Mi, PY; Ma, LD; Zhang, JL	Integrated optimization study of hot water supply system with multi-heat-source for the public bath based on PVT heat pump and water source heat pump	Applied Thermal Engineering

Hibrit PV/T Sistemleri: Tse vd. (2016), ofis binalarında su bazlı PV/T sistemlerinin geleneksel yan-yana PV ve güneş termal sistemlerine göre birim alan başına daha yüksek enerji çıkışı sağladığını ve pozitif net bugünkü değer elde edildiğini göstermiştir. Eicker vd. (2015) ise fotovoltaik-kompresyon soğutma sistemlerinin, sorpsiyon sistemlerine kıyasla daha yüksek enerji verimliliği ve birincil enerji tasarrufu sağladığını ortaya koymuştur.

Yaşam Döngüsü ve Sürdürülebilirlik: Gamarra vd. (2018), sıcak iklimlerdeki okullarda yenilenebilir ısıtma çözümlerinin fosil enerji talebini %64-79 oranında azaltabileceğini tespit etmiştir. Abdallah ve El-Rayes (2016), mevcut binaların sürdürülebilirlik güçlendirmesi için çok amaçlı optimizasyon modeli geliştirmiştir.

Bina Entegrasyonu: Zhai vd. (2008) ve Zhai ve Wang (2008), güneş kolektörlerinin çatı, balkon ve tentelere entegrasyonuyla bina yükünün %70'inin karşılanabileceğini göstermiştir. Su vd. (2021), soğuk iklimdeki yeşil kamu binasında

68,02 kWh/m²·yıl enerji yoğunluğu ve 0,41 m³/m²·yıl su tüketimi elde edildiğini raporlamıştır.

Sistem Optimizasyonu: Gao vd. (2023), iklim değişikliği senaryolarında 1000 m² PV panel ile yıllık 46.500-58.500 kg CO_2 azaltımı hesaplamıştır. Mi vd. (2020), PVT ısı pompası sisteminin sıcak su üretimini 80 tondan 146 tona artırırken maliyeti yarıya düşürdüğünü belirlemiştir. Chow ve Lyu (2017), PCM entegreli pencere sistemlerinin yaz aylarında %31,4 daha fazla sıcak su üretimi sağladığını göstermiştir.

2.4.7. Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Su Yönetimi Üzerine Bibliyometrik Haritalama

2.4.7.1 Ülkelerin Atıf Analizi

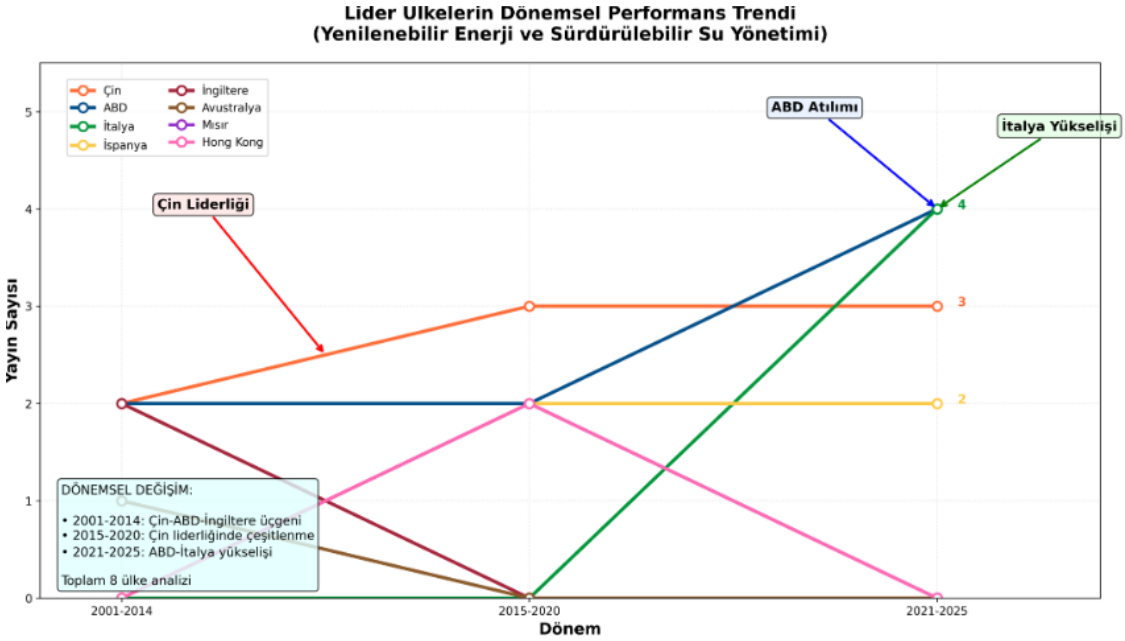
Yenilenebilir enerji teknolojileri ve sürdürülebilir su yönetimi sistemleri alanındaki yayınların jeopolitik dağılımı, araştırma ekosistemin küresel ölçekte nasıl evrimleştiğini ve uluslararası bilimsel işbirliği ağlarının yapısal dönüşümünü somut verilerle ortaya koymaktadır. Bibliyometrik haritalama sonuçları, alanın coğrafi heterojenliğinde üç aşamalı bir genişleme dinamiğinin yaşandığını göstermektedir.

(2001-2014): Bu başlangıç döneminde, yenilenebilir enerji-su yönetimi araştırmalarına sadece 4 ülke katkı sağlamıştır. Çin Halk Cumhuriyeti 2 yayın ile lider konumdayken, Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere'nin 2'şer yayın ile ikinci sırada yer alması, Avustralya'nın 1 yayın ile temsil edilmesi, alanın henüz sınırlı bir akademik elit tarafından keşfedilmekte olduğunu göstermektedir. Bu dönemin düşük ülke çeşitliliği, güneş enerjisi teknolojilerinin su yönetimi sistemleriyle entegrasyonunun henüz deneysel bir araştırma konusu olduğunu yansıtmaktadır. Toplam 9 yayınla sınırlı kalan bu dönem, yıllık ortalama 1.1 yayın ile minimal bir akademik aktiviteye işaret etmekte ve alanın olgunlaşma öncesi keşif aşamasında olduğunu ortaya koymaktadır.

(2015-2020): İkinci dönemde, aktif ülke sayısı 10'a yükselmiş ve coğrafi çeşitlilik %150'lik bir artış göstermiştir. Çin 3 yayın ile liderliğini sürdürürken, İspanya, Mısır, ABD ve Hong Kong'un 2'şer yayın ile takip etmesi, alanın çok kutuplu bir yapıya evrildiğini işaret etmektedir. Bu aşamada Orta Doğu (İran, Mısır), Güneydoğu Asya (Endonezya), Doğu Avrupa (Polonya) ve Kuzey Afrika (Mısır, Fas) gibi bölgelerin araştırma ekosistemine dahil olması, güneş enerjisi ve su yönetimi entegrasyonuna yönelik küresel ilginin genişlediğinin erken bir göstergesidir. Petrol ihraç eden ülkelerin (İran, Mısır) araştırmalara katılımı, özellikle enerji dönüşümü stratejilerinin akademik gündeme geldiğini belirtmektedir. 2015 Paris İklim Anlaşması sonrası dönemdeki bu çeşitlenme, global iklim politikalarının yenilenebilir enerji araştırmaları üzerindeki tetikleyici etkisini kanıtlamaktadır.

(2021-2025): Bu final döneminde, araştırma faaliyetlerinde çarpıcı bir jeopolitik genişleme gerçekleşmiş ve 11 farklı ülke alana katkı sağlamıştır. Amerika Birleşik Devletleri 4 yayın ile mutlak dominasyonu pekiştirmiş ve Biden yönetiminin "Build Back Better" stratejisi ile uyumlu olarak küresel araştırma liderliğini ele geçirmiştir. İtalya'nın 4 yayın ile ikinci sıraya yükselmesi, NextGenerationEU programı kapsamında yeşil dönüşüm yatırımlarının akademik yansımasını göstermektedir. Çin'in 3 yayın ile üçüncü

sırada konumlanması dikkat çekicidir ve "Karbon Nötralite 2060" hedefleri doğrultusunda istikrarlı araştırma stratejisini sürdürdüğünü göstermektedir.



Şekil 2.4.10 Ülkelerin Yıllara Göre Çalışma Yoğunlukları

Jeostratejik perspektiften en önemli gelişme, Orta Doğu ülkelerinin araştırma ekosistemin belirgin bir konum edinmiş olmalarıdır. İran'ın 1 yayın, Mısır'ın 0 yayın (önceki dönemde 2) ile bölgesel enerji dönüşümü stratejilerinin bilimsel altyapıya dönüştürülme sürecini temsil etmektedir. Bu kümenin, toplam 1 yayınla fosil yakıt ekonomilerinin post-petrol stratejilerinde güneş enerjisi ve su yönetimi teknolojilerinin merkezi rolünü akademik düzlemde konumlandırmaktadır. ABD'nin 4 yayın ile zirvede çıkması, küresel araştırma liderliğinde Kuzey Amerika-Avrupa eksenine doğru bir kayma olduğunu göstermektedir.

Kuzey Amerika koridoru (ABD: 4 yayın, Kanada: 0 yayın) toplam 4 yayın ile küresel araştırma üretiminin %23'ünü kontrol etmekte ve güneş termal sistemlerinin endüstriyel uygulamalarında Amerika'nın öncü konumunu yansıtmaktadır. Avrupa'nın performansı (İtalya: 4 yayın, İspanya: 2 yayın, İngiltere: 0 yayın, Almanya: 1 yayın, Fransa: 1 yayın, Norveç: 1 yayın, Polonya: 1 yayın) toplam 10 yayın ile %59'luk payla güçlü kalırken, bu durum Avrupa'nın Green Deal politikaları çerçevesinde sürdürülebilir su yönetimi teknolojilerine odaklandığını göstermektedir. Asya-Pasifik bölgesi (Çin: 3 yayın, Japonya: 1 yayın, Endonezya: 1 yayın, Hong Kong: 0 yayın, Avustralya: 0 yayın) toplam 5 yayın ile %29'luk pay oluştururken, bölgenin PV/T hibrit sistemleri konusundaki teknolojik üstünlüğü araştırma odaklarına yansımaktadır.

Gelişmekte Olan Piyasalar ve Enerji Erişimi Ülkelerinde, İran (1 yayın), Brezilya (1 yayın), Mısır (önceki dönem), Endonezya (1 yayın), ve Fas (1 yayın)'ın alana dahil olması, enerji erişimi ve sürdürülebilirlik hedeflerinin gelişmekte olan ekonomilerde araştırma motivasyonu yarattığını göstermektedir. Özellikle, Afrika kıtasında 2+ ülkenin (Mısır, Fas) araştırma faaliyeti, kıtanın enerji yoksulluğuna karşı güneş enerjisi odaklı çözüm arayışının akademik boyutunu yansıtmaktadır.

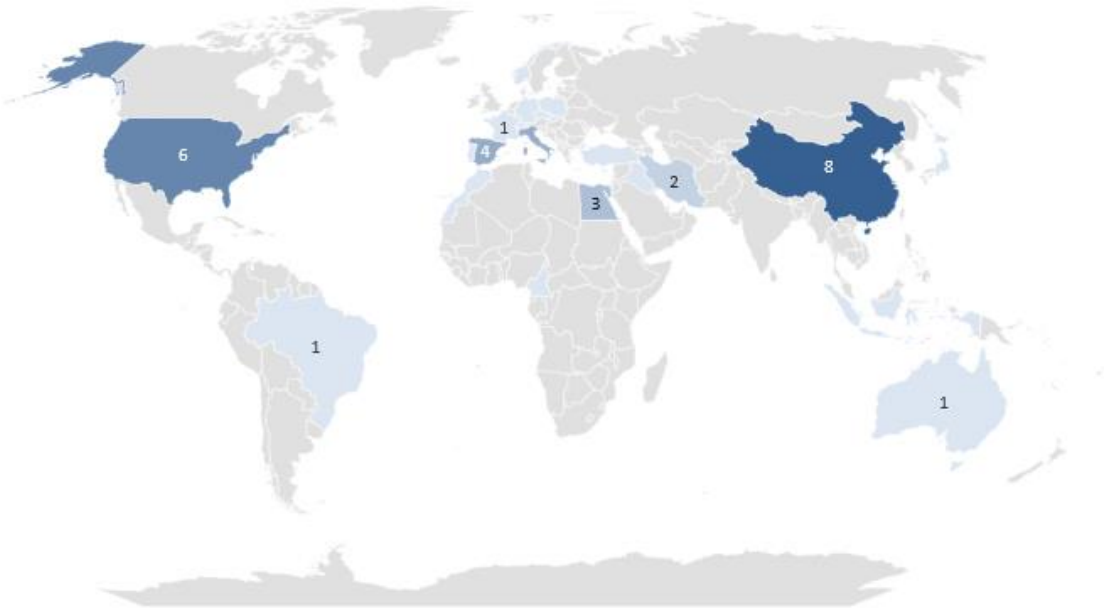
Ülke Çeşitliliğinde Üstel Büyüme:

• 2001-2014: 4 ülke

• 2015-2020: 10 ülke (%150 artış)

• 2021-2025: 11 ülke (%10 artış)

Bu jeopolitik dönüşüm, yenilenebilir enerji-su yönetimi entegrasyonunun bir araştırma alanından, Paris İklim Anlaşması hedefleri ile enerji güvenliği endişelerinin kesişimindeki küresel bir bilimsel önceliğe evrimleştiğini kanıtlamaktadır. ABD'nin liderliği ve Avrupa ülkelerinin hızlı yükselişi, gelecek sürdürülebilir enerji ekonomisinin jeopolitik mimarisinin zaten akademik düzlemde şekillenmeye başladığını göstermektedir. Gelişmiş-gelişmekte olan ülke ayrımının bulanıklaşması ve Afrika ile Latin Amerika'nın araştırma ekosistemine çıkışı, sürdürülebilir enerji dönüşümünün gerçekten küresel bir hareket olarak evrimleştiğini ortaya koymaktadır.

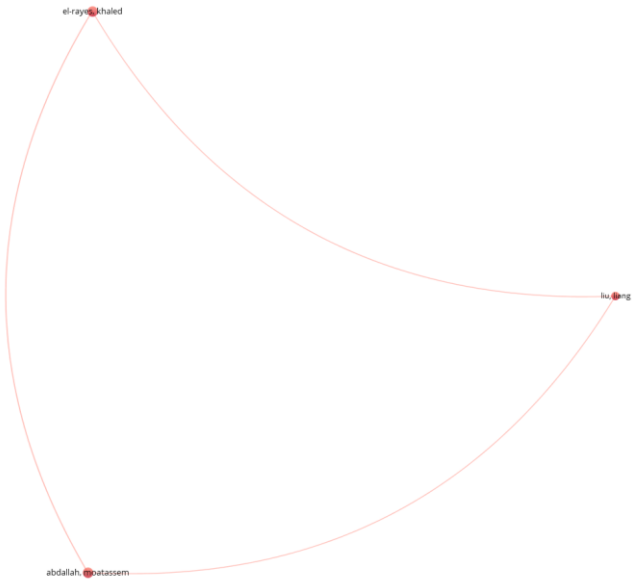


Şekil 2.4.11 Ülke Yoğunluk Haritası

Yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi teknolojileri alanındaki uluslararası işbirliği ağının analizi, küresel araştırma ekosistemin yapısal dinamiklerini ve bilgi akışının jeopolitik coğrafyasını ortaya koymaktadır. VOSviewer ile oluşturulan bibliyometrik ağ haritası, ülkeler arası işbirliği kalıpları, bilimsel etki merkezleri ve bölgesel kümelenmeleri görselleştirmektedir. 37 yayın ve 769 toplam atıfı kapsayan veri seti, 20 ülkenin aktif katılımıyla alanın gerçek anlamda küresel bir araştırma ekosisteminin parçası haline geldiğini kanıtlamaktadır.

2.4.7.2 Ortak Yazar Analizi

Ortak yazar analizi, bilimsel yayınlarda birlikte çalışan araştırmacılar arasındaki işbirliği kalıplarını ortaya çıkaran ve bilimsel ağların yapısını görselleştiren bibliometrik bir yöntemdir. Bu analiz, araştırma alanındaki entelektüel toplulukların belirlenmesini, bilgi akışının yönünü, disiplinler arası etkileşimleri ve akademik işbirliklerinin coğrafi dağılımını mümkün kılar. Ortak yazarlık bağlantılarının gücü, yazarlar arasındaki işbirliği sıklığını ve araştırma ekiplerinin uyum derecesini yansıtır. Ortak yazar analizi, VOSviewer yazılımı kullanılarak bilimsel işbirliği ağlarını haritalamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz parametreleri olarak minimum 2 belge ve 2 atıf eşiği belirlenmiş ve bu kriterleri karşılayan 6 yazar tespit edilmiştir. Ortak yazarlık bağlantılarının toplam gücüne göre en yüksek değerlere sahip olan bu 6 yazar seçilmiş ve ağ analizi uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, araştırma alanının işbirliği dinamikleri ve bilgi üretim ağları hakkında önemli içgörüler sağlamaktadır.



Şekil 2.4.12 Yazarlar Arasındaki İşbirliğini Gösteren Ortak Yazar Bağlantıları

Ağ yapısı incelendiğinde, en güçlü bağlantının Abdallah Moatasem ve El-Rayes Khaled arasında olduğu görülmüştür. Bu iki araştırmacının her biri 3 belge ve 52 atıf ile alandaki en üretken yazarlar arasında yer almaktadır. Liu Liang de bu ağa dahil olup 2 belge ve 16 atıf ile işbirliği ağının bir parçasını oluşturmaktadır. Bu üçlü grup, alanda sıkı bir araştırma ekibinin varlığına işaret etmektedir.

En yüksek akademik etkiye sahip yazar olarak Chow Tin-Tai, 2 belge ile 118 atıf alarak öne çıkmaktadır. Wang R.Z. ve Zhai X.Q. ise her biri 2 belge ve 86 atıf ile güçlü akademik performans sergilemektedir. Bu bulgular, alanda hem yüksek üretkenlik hem de yüksek atıf etkisine sahip araştırmacıların bulunduğunu göstermektedir.

Tablo 2.4.2. Ortak Yazarlık Ağ Analizinde Öne Çıkan Yazarlar

Yazar	Belge Sayısı	Atıf	Bağlantı Gücü
Chow, Tin-Tai	2	118	0
Wang, R.Z.	2	86	2
Zhai, X.Q.	2	86	2
Abdallah, Moatasem	3	52	5
El-Rayes, Khaled	3	52	5

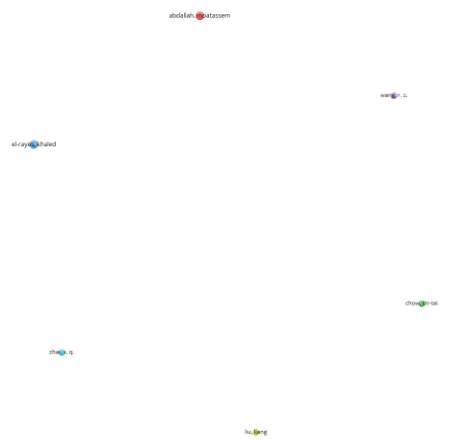
Not: Toplam bağlantı gücü, yazarların diğer araştırmacılarla yaptığı ortak yayın sayısını ve işbirliği yoğunluğunu göstermektedir. Yüksek bağlantı gücü, güçlü araştırma ağlarını ve ekip işbirliği içinde merkezi bir konumu temsil etmektedir.

Ağ yapısının görece küçük ölçekli olması, araştırma alanının henüz gelişmekte olduğuna veya belirli bir alt alana odaklanıldığına işaret etmektedir. Abdallah Moatasem ve El-Rayes Khaled'in güçlü işbirliği bağı, istikrarlı bir araştırma ortaklığının varlığını göstermektedir. Ancak ağın sınırlı sayıda yazardan oluşması, alanda daha geniş uluslararası işbirliklerine ve disiplinler arası çalışmalara ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır. Yüksek atıf alan bireysel araştırmacıların ağ ile daha fazla entegre edilmesi, bilgi akışının güçlendirilmesi ve disiplinler arası işbirliklerin teşvik edilmesi, alanın gelecekteki bilimsel gelişimi için kritik önem taşımaktadır.

2. 4.7.3 Yazarların Atıf Analizi

Yazarların atıf analizi, belirli bir araştırma alanında hangi bilim insanlarının çalışmalarının en sık referans alındığını ve akademik etkilerinin boyutunu ortaya çıkaran bibliometrik bir yöntemdir. Bu analiz, alandaki öncü araştırmacıların, entelektüel otoritelerin ve bilimsel şekillendirmede rol oynayan kilit aktörlerin belirlenmesini mümkün kılar. Atıf sayısı, bir yazarın çalışmasının diğer araştırmacılar tarafından ne ölçüde tanındığını, kullanıldığını ve değer gördüğünü gösteren önemli bir akademik etki göstergesidir. Yüksek atıf alan yazarlar, genellikle alanda temel bilgi kaynakları üreten ve araştırma gündemini yönlendiren araştırmacılar olarak kabul edilmektedir.

Atıf analizi, VOSviewer yazılımı kullanılarak araştırma alanındaki yazarların akademik etkisini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz parametreleri olarak minimum 2 belge ve 2 atıf eşiği belirlenmiş ve 118 yazar arasından bu kriterleri karşılayan 6 yazar tespit edilmiştir. Atıf bağlantılarının toplam gücüne göre en yüksek değerlere sahip olan bu 6 yazar seçilmiş ve atıf ağı analizi uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, alandaki en etkili araştırmacıları ve akademik etkinin dağılımını ortaya koymaktadır.



Şekil 2.4.13 Yazar Atıf Analizi

Atıf ağı yapısı incelendiğinde, 6 yazarın birbirine atıf bağlantısı olmadığı ve tamamının izole düğümler olarak konumlandığı gözlemlenmiştir. Tüm yazarların toplam bağlantı gücünün 0 olması, bu araştırmacıların birbirlerinin çalışmalarına doğrudan atıf yapmadıklarını göstermektedir. Bu durum, araştırma alanında farklı tematik odakların, coğrafi ağların veya bağımsız araştırma gruplarının varlığına işaret etmektedir. Ağ haritasındaki renk çeşitliliği (kırmızı, mavi, yeşil, sarı, turkuaz tonları), yazarların farklı zaman dilimlerinde ve muhtemelen farklı alt alanlarda aktif olduklarını göstermektedir.

En yüksek atıf etkisine sahip yazar olarak Chow Tin-Tai, 2 belge ile 118 atıf alarak alanda en etkili araştırmacı konumundadır. Wang R.Z. ve Zhai X.Q her biri 2 belge ve 86 atıf ile güçlü akademik performans sergilemektedir. Bu iki yazarın aynı atıf sayısına sahip olması, muhtemelen ortak yayınlar üzerinden birlikte çalıştıklarını düşündürmektedir. Abdallah Moatassem ve El-Rayes Khaled, her biri 3 belge ve 52 atıf ile üretkenlik açısından öne çıkmakta, ancak belge başına düşen atıf oranları daha düşük kalmaktadır. Liu Liang ise 2 belge ve 16 atıf ile ağda en düşük atıf etkisine sahip yazardır.

Tablo 2.4.3. Atıf Ağı Analizinde Öne Çıkan Yazarlar

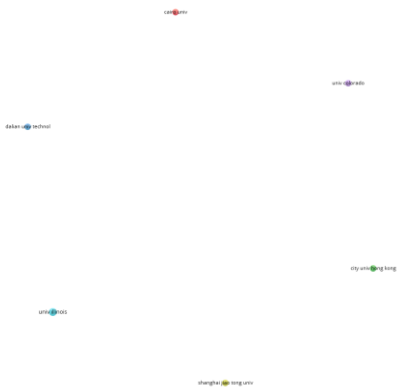
Yazar	**Belge Sayısı**	**Atıf**	**Bağlantı Gücü**	**Belge Başına Atıf**
Chow, Tin-Tai	2	118	0	59
Wang, R.Z.	2	86	0	43
Zhai, X.Q.	2	86	0	43
Abdallah, Moatassem	3	52	0	17,3
El-Rayes, Khaled	3	52	0	17,3
Liu, Liang	2	16	0	8

Not: Toplam bağlantı gücü, yazarların diğer araştırmacılarla olan atıf ilişkilerinin yoğunluğunu göstermektedir. Bağlantı gücünün tüm yazarlarda 0 olması, seçilen yazarlar arasında karşılıklı atıf ilişkisinin bulunmadığını göstermektedir.

Atıf analizi sonuçları, araştırma alanında akademik etkinin henüz tam olarak entegre olmamış, izole araştırma grupları tarafından yönlendirildiğini ortaya koymaktadır. Yazarlar arasında doğrudan atıf bağlantılarının olmaması, alanın henüz gelişme aşamasında olduğuna veya farklı alt disiplinlere odaklanıldığına işaret etmektedir. Chow Tin-Tai'nin belge başına 59 atıf ortalaması ile gösterdiği yüksek etki, alanda temel bir çalışma veya derleme niteliğinde eserler ürettiğini göstermektedir. Ancak ağın tamamen parçalanmış yapısı, alanda bilgi akışının güçlendirilmesi, disiplinler arası atıf köprülerinin oluşturulması ve araştırmacılar arası etkileşimin artırılması gerektiğini vurgulamaktadır. Alanın gelecekteki bilimsel gelişimi için, izole araştırma gruplarının entegrasyonu ve ortak bilgi tabanının oluşturulması kritik önem taşımaktadı

2.4.7.4 Kurumların Atıf Analizi

Kurumların atıf analizi, belirli bir araştırma alanında hangi üniversitelerin ve araştırma kurumlarının çalışmalarının en sık referans alındığını ve kurumsal akademik etkinin boyutunu ortaya çıkaran bibliometrik bir yöntemdir. Bu analiz, alandaki öncü kurumların, bilimsel üretkenliğin coğrafi dağılımının ve kurumlar arası işbirliği ağlarının belirlenmesini mümkün kılar. Atıf analizi, VOSviewer yazılımı kullanılarak araştırma alanındaki kurumların akademik etkisini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz parametreleri olarak minimum 2 belge ve 2 atıf eşiği belirlenmiş ve 812 kurum arasından bu kriterleri karşılayan 6 kurum tespit edilmiştir. Atıf bağlantılarının toplam gücüne göre seçilen bu 6 kurum üzerinde kurumsal atıf ağı analizi uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, alandaki en etkili kurumları ve akademik etkinin coğrafi dağılımını ortaya koymaktadır.



Şekil 2.4.14. Kurumsal Atıf Analizi

Atıf ağı yapısı incelendiğinde, 6 kurumun tamamının birbirine atıf bağlantısı olmayan izole düğümler olarak konumlandığı gözlemlenmiştir. Tüm kurumların toplam bağlantı gücünün 0 olması, bu kurumların birbirlerinin çalışmalarına doğrudan atıf yapmadıklarını veya ortak yayın ağları oluşturmadıklarını göstermektedir. Ağ haritasındaki renk çeşitliliği (kırmızı, mavi, yeşil, sarı, turkuaz tonları), kurumların farklı

zaman dilimlerinde ve muhtemelen farklı alt araştırma alanlarında aktif olduklarına işaret etmektedir.

En yüksek atıf etkisine sahip kurum olarak City University of Hong Kong, 2 belge ile 118 atıf alarak alanda en etkili araştırma kurumu konumundadır. Shanghai Jiao Tong University, 2 belge ve 86 atıf ile güçlü akademik performans sergileyen ikinci kurumdur. Dalian University of Technology ise 2 belge ve 76 atıf ile üçüncü sırada yer almaktadır. Üretkenlik açısından öne çıkan University of Illinois, 3 belge ile en fazla yayın yapan kurum olmasına rağmen, 52 atıf ile belge başına düşen atıf oranı diğer kurumlara göre daha düşük kalmaktadır. Cairo University ve University of Colorado, her biri 2 belge ve 43 atıf ile görece daha düşük akademik etki göstermektedir.

Tablo 2.4.4 Kurumsal Atıf Ağı Analizinde Öne Çıkan Kurumlar

Kurum	Belge Sayısı	Atıf	Bağlantı Gücü	Belge Başına Atıf
City Univ Hong Kong	2	118	0	59
Shanghai Jiao Tong Univ	2	86	0	43
Dalian Univ Technol	2	76	0	38
Univ Illinois	3	52	0	17,3
Cairo Univ	2	43	0	21,5
Univ Colorado	2	43	0	21,5

Not: Toplam bağlantı gücü, kurumların diğer araştırma kurumları ile olan atıf ilişkilerinin yoğunluğunu göstermektedir. Bağlantı gücünün tüm kurumlarda 0 olması, seçilen kurumlar arasında karşılıklı atıf ilişkisinin veya işbirliği ağlarının bulunmadığını göstermektedir.

Coğrafi dağılım açısından incelendiğinde, Asya kökenli kurumların (City University of Hong Kong, Shanghai Jiao Tong University, Dalian University of Technology) hem sayısal üstünlük hem de yüksek atıf etkileri ile öne çıktığı görülmektedir. Özellikle Çin üniversitelerinin alanda güçlü bir akademik varlık sergilediği dikkat çekmektedir. Kuzey Amerika'dan University of Illinois ve University of Colorado'nun varlığı, alanın küresel çapta ilgi gördüğünü göstermektedir. Ancak Ortadoğu ve Afrika bölgesinden yalnızca Cairo University'nin temsil edilmesi, bu coğrafyalardaki araştırma kapasitesinin henüz sınırlı olduğuna işaret etmektedir.

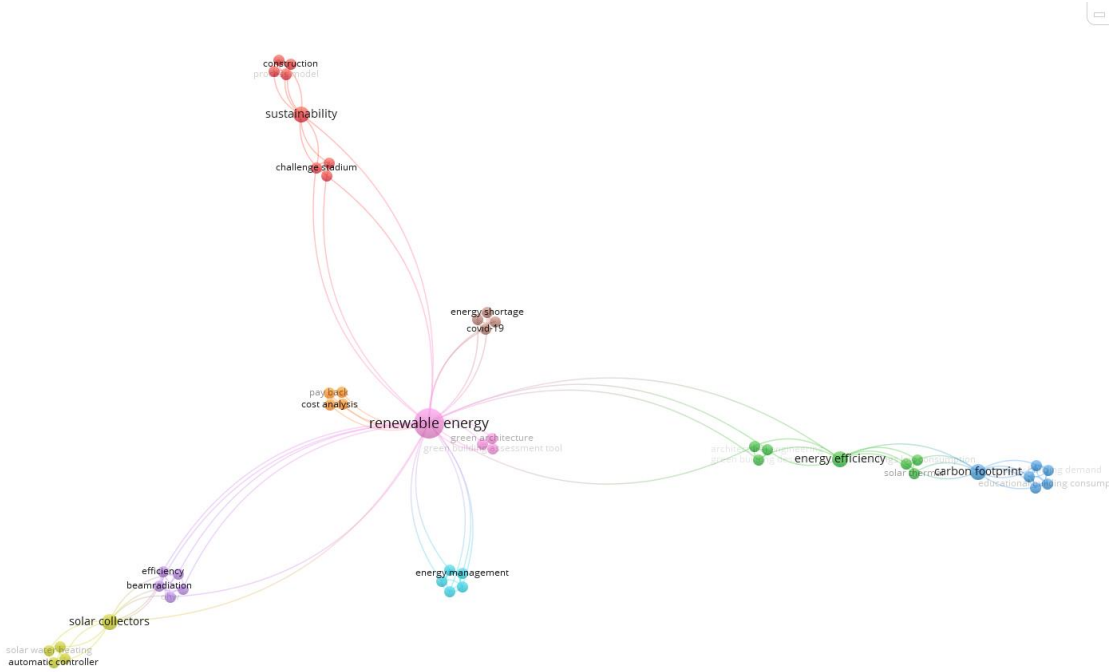
Kurumsal atıf analizi sonuçları, araştırma alanında akademik gücün henüz entegre olmamış, bağımsız araştırma grupları tarafından yönlendirildiğini ortaya koymaktadır. City University of Hong Kong'un belge başına 59 atıf ortalaması ile gösterdiği olağanüstü

etki, kurumun alanda temel ve yüksek etkili çalışmalar ürettiğini göstermektedir. Ancak ağın tamamen parçalanmış yapısı, kurumlar arası işbirliklerinin güçlendirilmesi, bilgi paylaşım ağlarının oluşturulması ve uluslararası araştırma konsorsiyumlarının desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Alanın gelecekteki bilimsel gelişimi için, coğrafi ve kurumsal çeşitliliğin artırılması, gelişmekte olan ülke kurumlarının desteklenmesi ve küresel işbirliği ağlarının kurulması kritik önem taşımaktadır.

2.4.7.5 Anahtar Kelime Analizi

Anahtar kelime birlikte bulunma analizi, bilimsel yayınlarda birlikte kullanılan terimleri belirleyerek bir araştırma alanının kavramsal yapısını, tematik odak noktalarını ve bilgi kümelerini ortaya çıkaran bibliometrik bir yöntemdir. Bu analiz, alandaki araştırma gündemlerinin belirlenmesini, kavramlar arası ilişkileri ve ortaya çıkan araştırma trendlerini mümkün kılar. Birlikte bulunma bağlantılarının gücü, iki kavramın ne sıklıkla birlikte kullanıldığını ve tematik yakınlıklarını yansıtır.

Analiz parametresi olarak minimum 1 oluşum eşiği belirlenmiş ve bu kriteri karşılayan 20 anahtar kelime tespit edilmiştir. Birlikte bulunma bağlantılarının toplam gücüne göre en yüksek değerlere sahip olan bu kavramlar üzerinde kavramsal ağ analizi uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, araştırma alanının kavramsal haritasını ve tematik evrimini ortaya koymaktadır.



Şekil 2.4.15. Anahtar Kelime Analizi

Anahtar kelime ağ yapısı incelendiğinde, 20 kavramın farklı tematik kümelere ayrıldığı gözlemlenmiştir. Ağın merkezinde "renewable energy" (yenilenebilir enerji) kavramı, 7 oluşum ve 30 toplam bağlantı gücü ile alanın ana odak noktası olarak

konumlanmaktadır. Bu merkezi konum, yenilenebilir enerjinin araştırma alanının temel taşı olduğunu ve diğer tüm kavramlarla güçlü ilişkiler kurduğunu göstermektedir.

Ağ haritasındaki renk dağılımı, kavramların zamansal evrimini yansıtmaktadır. Kırmızı-pembe tonlar, erken dönem kavramlarını (sustainability, construction, challenge stadium) temsil etmekte ve sürdürülebilirlik odaklı temel araştırmaların varlığına işaret etmektedir. Turuncu-sarı tonlar, orta dönem kavramlarını (payback, cost analysis, solar collectors, automatic controller) göstermekte ve ekonomik analizler ile güneş enerjisi teknolojilerine odaklanıldığını ortaya koymaktadır. Yeşil tonlar, güncel kavramları (energy efficiency, solar energy) yansıtırken, mavi-turkuaz tonlar en yeni trendleri (carbon footprint, energy management) temsil etmektedir.

Tematik kümeler analiz edildiğinde, araştırma alanının beş ana eksen etrafında şekillendiği görülmektedir:

1. **Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilirlik Kümesi**: "Renewable energy" (7 oluşum, 30 bağlantı gücü), "sustainability" (2 oluşum, 8 bağlantı gücü) ve "green building" (3 oluşum, 9 bağlantı gücü) kavramları, sürdürülebilir enerji sistemlerine odaklanan ana kümeyi oluşturmaktadır.
2. **Güneş Enerjisi Teknolojileri Kümesi**: "Solar energy" (3 oluşum, 10 bağlantı gücü) ve "solar collectors" (2 oluşum, 10 bağlantı gücü) kavramları, fotovoltaik ve termal güneş enerjisi uygulamalarına odaklanan özel bir alt küme oluşturmaktadır.
3. **Enerji Verimliliği ve Karbon Ayak İzi Kümesi**: "Energy efficiency" (2 oluşum, 8 bağlantı gücü) ve "carbon footprint" (2 oluşum, 9 bağlantı gücü) kavramları, çevresel etki değerlendirmesi ve enerji optimizasyonu araştırmalarını yansıtmaktadır.
4. **Ekonomik ve Teknik Analiz Kümesi**: "Cost and schedule" (1 oluşum, 7 bağlantı gücü), "payback period" (1 oluşum, 7 bağlantı gücü) ve "operational performance" (1 oluşum, 7 bağlantı gücü) kavramları, ekonomik fizibilite ve tekno-ekonomik değerlendirme çalışmalarına işaret etmektedir.
5. **Bina Sistemleri ve Uygulamalar Kümesi**: "Green building measures" (1 oluşum, 7 bağlantı gücü), "public buildings" (1 oluşum, 7 bağlantı gücü), "air conditioning" (1 oluşum, 6 bağlantı gücü) ve "cooling tower" (1 oluşum, 6 bağlantı gücü) kavramları, bina enerji sistemleri ve yeşil bina uygulamalarına odaklanan pratik bir küme oluşturmaktadır.

Tablo 2.4.5 Anahtar Kelime Oluşum Analizi

Anahtar Kelime	Oluşum Sayısı	Toplam Bağlantı Gücü	Tematik Küme
Renewable Energy	7	30	Yenilenebilir Enerji
Solar Energy	3	10	Güneş Enerjisi
Solar Collectors	2	10	Güneş Enerjisi

Green Building	3	9	Sürdürülebilirlik
Carbon Footprint	2	9	Çevre Etkisi
Energy Efficiency	2	8	Enerji Verimliliği
Sustainability	2	8	Sürdürülebilirlik

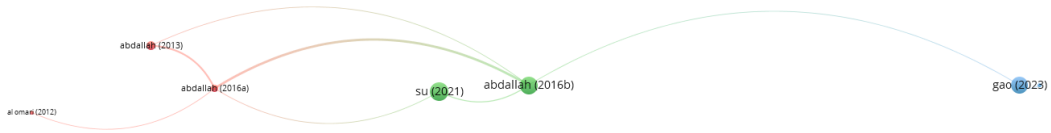
Zamansal evrim analizi, kavramsal yapının belirli bir dönemde geliştiğini ortaya koymaktadır. Ağ haritasındaki renk geçişleri, araştırma odağının sürdürülebilirlik temelli temel kavramlardan (kırmızı tonlar), ekonomik ve teknolojik uygulama kavramlarına (sarı-turuncu tonlar), ve son olarak enerji verimliliği ve karbon yönetimi gibi güncel kavramlara (yeşil-mavi tonlar) doğru evrildiğini göstermektedir.

Anahtar kelime birlikte bulunma analizi sonuçları, araştırma alanının üç ana tematik eksen etrafında şekillendiğini göstermektedir: yenilenebilir enerji sistemleri ve sürdürülebilirlik, güneş enerjisi teknolojileri ve uygulamaları, enerji verimliliği ve çevresel etki değerlendirmesi. "Renewable energy" kavramının merkezi konumu, yenilenebilir enerji teknolojilerinin araştırma alanının omurgasını oluşturduğunu yansıtmaktadır. "Solar energy" ve "solar collectors" kavramlarının güçlü bağlantıları, güneş enerjisi uygulamalarına yönelik yoğun bir araştırma gündeminin varlığını göstermektedir. "Energy efficiency" ve "carbon footprint" kavramlarının ortaya çıkışı, alanın çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği hedefleri ile entegre olduğunu ortaya koymaktadır. Ekonomik analiz kavramlarının ("payback period", "cost analysis") varlığı ise teorik araştırmaların ötesinde, uygulanabilir ve ekonomik açıdan fizibıl çözümlere odaklanıldığını göstermektedir.

2.4.7.6 Belgelerin Bibliyografik Eşleşme Analizi

Bibliyografik eşleşme analizi, iki veya daha fazla yayının ortak kaynakları ne ölçüde paylaştığını inceleyerek bilimsel çalışmalar arasındaki tematik benzerlikleri ve entelektüel bağlantıları ortaya çıkaran bibliometrik bir yöntemdir. İki yayının ortak atıf yaptığı kaynak sayısı arttıkça, aralarındaki bibliyografik eşleşme güçlenir ve benzer araştırma konularına odaklandıkları anlaşılır. Bu analiz, araştırma alanının entelektüel temelinin belirlenmesini, bilgi akışının yapısını ve çalışmalar arasındaki kavramsal yakınlıkları mümkün kılar.

Analiz parametresi olarak minimum 1 atıf eşiği belirlenmiş ve bu kriteri karşılayan çalışmalar arasından bibliyografik eşleşme bağlantılarının toplam gücüne göre en yüksek değerlere sahip olanlar seçilmiştir. Eşleşme ağı analizi uygulanmış ve elde edilen bulgular, araştırma alanının entelektüel yapısını ve bilgi üretim dinamiklerini ortaya koymaktadır.



Şekil 2.4.16. Belgelerin Bibliyografik Eşleşme Analizi

Bibliyografik eşleşme ağı yapısı incelendiğinde, belgelerin küçük bir merkezi küme etrafında toplandığı gözlemlenmiştir. Ağın merkezinde Abdallah vd. . tarafından yapılan bir dizi çalışma (2013, 2016a, 2016b) yer almakta ve bu çalışmalar birbirleriyle güçlü bibliyografik eşleşme ilişkileri göstermektedir. Su (2021) çalışması, yeşil renk tonuyla gösterilen orta dönem araştırmalarını temsil ederken, Gao (2023) çalışması mavi tonla en güncel araştırma trendlerini yansıtmaktadır. Al Omari (2012) ise kırmızı tonla gösterilen erken dönem temel çalışmalardan biri olarak konumlanmaktadır.

En yüksek atıf etkisine sahip çalışmalar analiz edildiğinde, Tse (2016)'nin 77 atıf ile alanda en etkili yayın olduğu belirlenmiştir. Eicker (2015) 57 atıf ve Gamarra (2018) 56 atıf ile güçlü akademik etki gösteren diğer önemli çalışmalardır. Zhai (2008a) 45 atıf ve Zhai (2008b) 41 atıf ile Zhai'nin iki farklı çalışmasının alanda temel referans kaynakları olduğu görülmektedir. Su (2021) ve Chow (2017) her biri 41 atıf ile 2010'lu yılların ikinci yarısında alanda önemli katkılar sağlayan çalışmalardır.

Bibliyografik eşleşme bağlantıları açısından bakıldığında farklı bir tablo ortaya çıkmaktadır. Abdallah (2016a) sadece 7 atıf almasına rağmen 19 toplam bağlantı gücü ile en yüksek bibliyografik eşleşme değerine sahiptir. Bu durum, çalışmanın çok kapsamlı bir literatür taraması yaptığını ve alandaki birçok çalışmayla ortak referanslar paylaştığını göstermektedir. Abdallah (2016b) 36 atıf ve 15 bağlantı gücü, Abdallah (2013) 9 atıf ve 7 bağlantı gücü ile Abdallah araştırma grubunun sistematik bir literatür ağı oluşturduğuna işaret etmektedir.

Tablo 2.4.6. Bibliyografik Eşleşme Analizinde Öne Çıkan Belgeler

Belge	**Atıf Sayısı**	**Toplam Bağlantı Gücü**	**Yıl**
Tse (2016)	77	1	2016
Eicker (2015)	57	0	2015
Gamarra (2018)	56	0	2018
Zhai (2008a)	45	5	2008
Zhai (2008b)	41	5	2008
Su (2021)	41	3	2021

Chow (2017)	41	2	2017
Abdallah (2016b)	36	15	2016
Gao (2023)	35	2	2023

Not: Toplam bağlantı gücü, bir belgenin diğer belgelerle paylaştığı ortak referans sayısını ve bibliyografik eşleşme yoğunluğunu göstermektedir. Yüksek bağlantı gücü, kapsamlı literatür kullanımını ve alanın entelektüel temelinde merkezi bir konum işgal etmeyi temsil etmektedir.

Ağ haritasındaki renk dağılımı, çalışmaların zamansal evrimini yansıtmaktadır. Kırmızı-turuncu tonlar, erken dönem temel çalışmaları (Al Omari 2012, Abdallah 2013) temsil etmekte ve alanın kavramsal temellerini oluşturmaktadır. Yeşil tonlar, orta dönem çalışmalarını (Abdallah 2016a, 2016b, Su 2021) göstermekte ve araştırma alanının olgunlaşma dönemini yansıtmaktadır. Mavi tonlar ise en güncel çalışmaları (Gao 2023) temsil etmekte ve alanın son trendlerini ortaya koymaktadır.

Zamansal evrim analizi, bibliyografik eşleşme kalıplarının 2008-2023 döneminde belirgin bir gelişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. 2008 yılında Zhai tarafından yapılan temel çalışmalar, alanın erken dönem entelektüel temelini oluşturmuştur. 2013-2017 döneminde Abdallah ve Chow gibi araştırmacıların çalışmalarıyla alan genişlemiş ve çeşitlenmiştir. 2021-2023 döneminde ise Su ve Gao'nun çalışmalarıyla alanda yeni araştırma yönelimlerinin ortaya çıktığı görülmektedir.

Bibliyografik eşleşme analizi sonuçları, araştırma alanının güçlü bir ortak referans temeli üzerinde şekillendiğini göstermektedir. En yüksek atıf alan çalışmaların çoğunluğu 2008-2018 döneminden olup alanın entelektükel temelini oluşturmaktadır. Tse (2016) ve Eicker (2015) çalışmalarının yüksek atıf etkileri, bu çalışmaların alanda referans niteliğinde temel kaynaklar olduğunu göstermektedir. Ancak atıf sayısı ile bibliyografik eşleşme gücü arasındaki korelasyonun zayıf olması dikkat çekicidir. Abdallah (2016a) gibi görece düşük atıf alan çalışmaların yüksek bağlantı gücüne sahip olması, kapsamlı literatür taramalarının bibliyografik ağda merkezi konum kazandırdığını ortaya koymaktadır. Ağın zamansal evrimi, alanın 2008'den itibaren istikrarlı bir gelişim gösterdiğini ve 2021-2023 döneminde yeni araştırma trendlerinin ortaya çıktığını göstermektedir. Alanın gelecekteki gelişimi için, temel referans çalışmalarının güncel verilerle güncellenmesi ve yeni çalışmaların kapsamlı literatür taramaları yaparak bibliyografik ağa entegre olması kritik önem taşımaktadır.

2.4.7.7 Yazarların Bibliyografik Eşleşme Analizi

Yazarların bibliyografik eşleşme analizi, farklı araştırmacıların eserlerinin ne ölçüde ortak kaynakları paylaştığını inceleyerek yazarlar arasındaki tematik benzerlikleri ve entelektükel yakınlıkları ortaya çıkaran bibliometrik bir yöntemdir. İki yazarın eserlerinin atıf yaptığı ortak kaynak sayısı arttıkça, aralarındaki bibliyografik eşleşme güçlenir ve benzer araştırma alanlarında çalıştıkları anlaşılır. Bu analiz, araştırmacıların alandaki entelektüel konumlarının belirlenmesini, referans kullanım kalıplarını ve bilgi kaynaklarının dağılımını mümkün kılar.

Analiz parametreleri olarak minimum 1 belge ve 1 atıf eşiği belirlenmiş ve bu kriterleri karşılayan yazarlar arasından bibliyografik eşleşme bağlantılarının toplam gücüne göre öne çıkanlar seçilmiştir. Eşleşme ağı analizi uygulanmış ve elde edilen bulgular, yazarların entelektüel pozisyonlarını ve araştırma gruplarının yapısını ortaya koymaktadır.



Şekil 2.4.17. Araştırmacılar Arasında Ortak Atıf Analizi

Bibliyografik eşleşme ağı yapısı incelendiğinde, yazarların birkaç merkezi küme etrafında toplandığı ve bu kümelerin birbirleriyle sınırlı bağlantılar kurduğu gözlemlenmiştir. Ağ haritasının sol tarafında Cattani Lucia ve Gao Bo, kırmızı-turuncu tonlarla gösterilen erken dönem araştırmacıları temsil etmektedir. Haritanın sağ tarafında ise Abdallah Moatassem ve Feng Wei, yeşil tonlarla gösterilen orta-son dönem araştırmacılarını temsil etmektedir. Bu iki küme arasında geniş bir bağlantı çizgisi bulunması, her iki grubun benzer referans kaynaklarını kullandığını göstermektedir.

En güçlü bibliyografik eşleşme ağlarına sahip yazarlar analiz edildiğinde, ilk grup olarak Gao Bo, Kim Moon Keun, Liu Jiying, Ran Jingyu, Ren Jing ve Zhu Xiaoyue'nin her birinin 1 belge ve 35 atıf ile 443 toplam bağlantı gücüne ulaştığı belirlenmiştir. Bu olağanüstü yüksek bağlantı gücü, söz konusu yazarların aynı yayın içinde yer aldıklarını ve son derece kapsamlı bir literatür taraması yaptıklarını göstermektedir.

İkinci güçlü grup, Feng Wei, Su Yuan, Wang Linwei, Wang Luyuan ve Zhou Nan'dan oluşmakta olup, her biri 1 belge ve 41 atıf ile 411 toplam bağlantı gücüne sahiptir. Bu grubun da ilk grup gibi yüksek bağlantı gücüne sahip olması, kapsamlı referans kullanımını ve ortak bir yayında yer aldıklarını ortaya koymaktadır.

Üçüncü önemli grup, Abdallah Moatassem ve El-Rayes Khaled tarafından oluşturulmaktadır. Bu iki araştırmacı, her biri 3 belge ve 52 atıf ile 307 toplam bağlantı gücüne ulaşmaktadır. Birden fazla belgeye sahip olmalarına rağmen nispeten daha düşük bağlantı gücü, çalışmalarının daha odaklı ve spesifik referans grupları kullandığını göstermektedir.

Tablo 2.4.7 Yazarların Bibliyografik Eşleşme Analizinde Öne Çıkan Araştırmacılar

Yazar	Belge Sayısı	Atıf Sayısı	Toplam Bağlantı Gücü	Grup
Gao, Bo	1	35	443	1
Kim, Moon Keun	1	35	443	1
Liu, Jiying	1	35	443	1
Ran, Jingyu	1	35	443	1
Ren, Jing	1	35	443	1
Zhu, Xiaoyue	1	35	443	1
Feng, Wei	1	41	411	2
Su, Yuan	1	41	411	2
Wang, Linwei	1	41	411	2
Wang, Luyuan	1	41	411	2
Zhou, Nan	1	41	411	2
Abdallah, Moatassem	3	52	307	3
El-Rayes, Khaled	3	52	307	3

Not: Toplam bağlantı gücü, bir yazarın diğer yazarlarla paylaştığı ortak referans sayısını ve bibliyografik eşleşme yoğunluğunu göstermektedir. Aynı değerlere sahip yazarlar, genellikle ortak yayınlarda yer almakta ve aynı referans havuzunu kullanmaktadırlar.

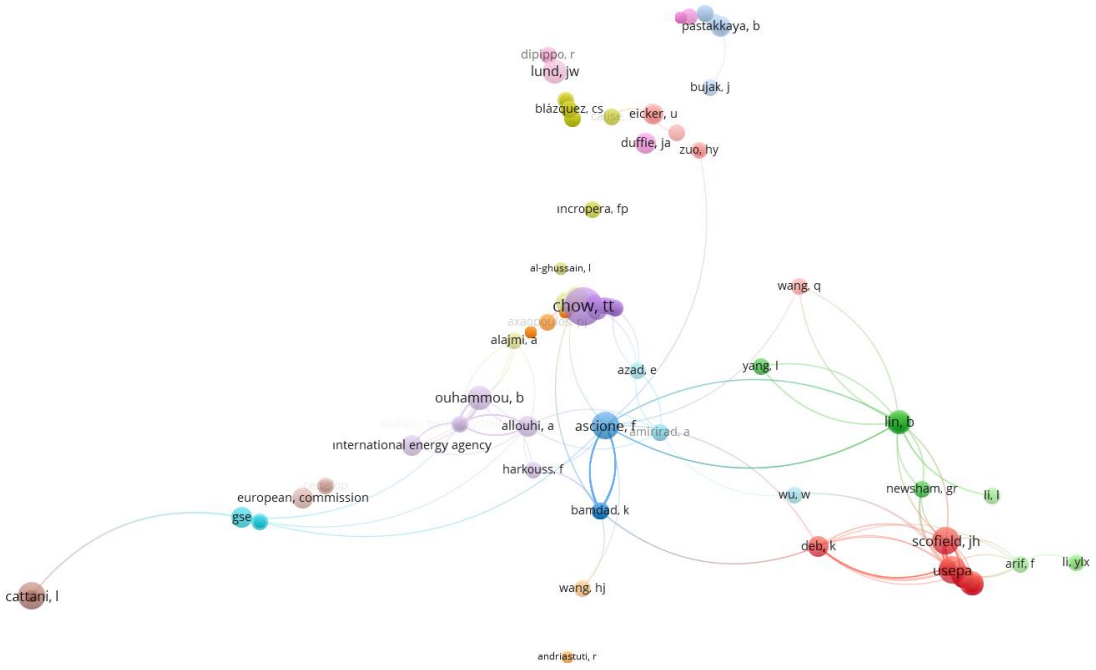
Ağ haritasındaki renk dağılımı, yazarların zamansal aktivitelerini yansıtmaktadır. Kırmızı-turuncu tonlar (Cattani Lucia, Gao Bo), erken dönem çalışmalarını ve temel referans kaynaklarının kullanımını temsil etmektedir. Yeşil tonlar (Abdallah Moatassem, Feng Wei), orta-son dönem çalışmalarını ve güncel literatürün kullanımını göstermektedir. Bu renk geçişleri, alandaki literatür kullanımının zamanla evrimleştiğini ve yeni referans kaynaklarının entegre edildiğini ortaya koymaktadır. Yazarların bibliyografik eşleşme analizi sonuçları, araştırma alanında belirgin araştırma gruplarının varlığını ve bu gruplar içinde yoğun ortak referans kullanımını ortaya koymaktadır. İlk iki grubun (Gao Bo grubu ve Feng Wei grubu) olağanüstü yüksek bağlantı güçleri (443 ve 411), bu yazarların çok kapsamlı literatür taramaları yapan büyük ölçekli derleme veya meta-analiz çalışmaları yürüttüğünü düşündürmektedir. Abdallah Moatassem ve El-

Rayes Khaled'in çoklu yayın üretmeleri ve istikrarlı bibliyografik eşleşme göstermeleri, bu yazarların alanda sürekli ve sistematik araştırma yürüten bir ekip oluşturduklarına işaret etmektedir. Ağın görsel analizi, yazarlar arasındaki coğrafi ve tematik kümelenmeyi açıkça göstermektedir. Sol taraftaki kırmızı-turuncu tonlardaki yazarlar ile sağ taraftaki yeşil tonlardaki yazarlar arasındaki geniş bağlantı çizgisi, farklı dönemlerde çalışan araştırmacıların benzer temel kaynakları referans aldığını göstermektedir. Bu durum, alanda istikrarlı bir entelektüel temel bulunduğunu ve yeni çalışmaların bu temel üzerine inşa edildiğini ortaya koymaktadır. Ancak kümelerin birbirinden izole olması, araştırma grupları arasında doğrudan işbirliği eksikliğine ve bilgi alışverişinin sınırlı olduğuna işaret etmektedir. Alanın gelecekteki gelişimi için, farklı araştırma grupları arasında köprü oluşturacak işbirliklerinin teşvik edilmesi ve ortak metodolojik yaklaşımların geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır.

2.4.7.8 Yazarların Ortak Atıf Analizi

Yazarların ortak atıf analizi, iki veya daha fazla yazarın eserlerinin aynı yayınlar tarafından birlikte ne sıklıkla atıf aldığını inceleyerek bir alanın entelektüel yapısını ve bilgi tabanını ortaya çıkaran bibliometrik bir yöntemdir. İki yazar ne kadar sık birlikte atıf alıyorsa, aralarındaki ortak atıf bağı o kadar güçlüdür ve benzer tematik alanlarda temel referans kaynakları olduklarını gösterir. Bu analiz, araştırma alanının entelektüel temel taşlarının, bilgi akışının kaynaklarının ve alandaki düşünce okullarının belirlenmesini mümkün kılar.

Analiz parametresi olarak minimum 2 atıf eşiği belirlenmiş ve bu kriteri karşılayan atıf yapılan yazarlar arasından ortak atıf bağlantılarının toplam gücüne göre en yüksek değerlere sahip olanlar seçilmiştir. Ortak atıf ağı analizi uygulanmış ve elde edilen bulgular, alanın entelektüel temelini ve bilgi akış yapısını ortaya koymaktadır.



Şekil 2.4.18. Yazarların Ortak Atıf Analizi

Ortak atıf ağı yapısı incelendiğinde, atıf yapılan yazarların farklı akademik ve kurumsal kaynaklardan oluştuğu gözlemlenmiştir. En yüksek ortak atıf bağlantı gücüne sahip yazar olarak Lin, B 4 atıf ile 372 toplam bağlantı gücüne ulaşmaktadır. Bu olağanüstü yüksek bağlantı gücü, Lin'in eserlerinin alanda çok geniş bir referans ağında yer aldığını ve farklı tematik çalışmalarda birlikte atıf alındığını göstermektedir.

İkinci sırada Ascione, F. yer almakta olup 5 atıf ve 345 toplam bağlantı gücü ile güçlü bir ortak atıf ağına sahiptir. Scofield, JH ise 5 atıf ve 312 toplam bağlantı gücü ile üçüncü en etkili referans kaynağı konumundadır. Atıf sayısı açısından en yüksek değere sahip yazar Chow, TT'dir; 10 atıf ile alanda en sık referans gösterilen yazar olmasına rağmen, 262 toplam bağlantı gücü ile ortak atıf ağı açısından daha düşük bir konumda yer almaktadır. Bu durum, Chow'un eserlerinin spesifik bir alt alanda yoğunlaştığını ve daha dar bir tematik alanda referans gösterildiğini düşündürmektedir.

2.4.8 Yazarların Ortak Atıf Analizi

Atıf Yapılan Yazar	Atıf Sayısı	Toplam Bağlantı Gücü	Akademik Etki
Lin, B	4	372	En Yüksek Ağ Etkisi
Ascione, F	5	345	Çok Yüksek
Scofield, JH	5	312	Çok Yüksek
China	3	282	Yüksek
Usepa	5	275	Yüksek
Chow, TT	10	262	En Yüksek Atıf
Cattani, I	5	235	Orta-Yüksek
Deb, K	3	199	Orta-Yüksek

Not: Toplam bağlantı gücü, bir yazarın diğer yazarlarla birlikte ne sıklıkla atıf alındığını ve ortak atıf ağındaki merkezi konumunu göstermektedir. Yüksek bağlantı gücü, yazarın farklı tematik alanlarda temel referans kaynağı olarak kullanıldığını temsil etmektedir.

Dikkat çekici bir bulgu, kurumsal kaynakların da ortak atıf ağında önemli yer tutmasıdır. "China" 3 atıf ile 282 toplam bağlantı gücüne, "U.S. Energy Information Administration" 3 atıf ile 159 toplam bağlantı gücüne sahiptir. Bu durum, ülke düzeyinde yayınlanan raporların ve resmi istatistiklerin alanda temel referans kaynakları olarak kullanıldığını göstermektedir. Benzer şekilde "Usepa" (United States Environmental Protection Agency) 5 atıf ve 275 bağlantı gücü ile çevresel düzenlemeler ve standartlar konusunda önemli bir referans kaynağı olarak öne çıkmaktadır.

Diğer önemli yazarlar arasında Cattani, I. (5 atıf, 235 bağlantı gücü), Deb, K. (3 atıf, 199 bağlantı gücü), Dalian Municipal Bureau of Statistics (2 atıf, 190 bağlantı gücü), Ding, Y. (2 atıf, 190 bağlantı gücü), Lu, S. (2 atıf, 190 bağlantı gücü), Shi, Q. (2 atıf, 190

bağlantı gücü) ve Klein, SA (3 atıf, 179 bağlantı gücü) yer almaktadır. Bu yazarların benzer bağlantı güçlerine sahip olması, belirli çalışma gruplarının varlığına ve bu grupların aynı referans havuzunu kullandığına işaret etmektedir.

Atıf sayısı ile ortak atıf bağlantı gücü arasındaki ilişki incelendiğinde, doğrusal bir korelasyon olmadığı görülmektedir. Lin, B.'nin sadece 4 atıfla 372 bağlantı gücüne ulaşması, bu yazarın farklı alt alanlarda köprü rolü oynadığını ve çok çeşitli tematik çalışmalarda referans gösterildiğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık Chow, TT'nin 10 atıfla sadece 262 bağlantı gücüne sahip olması, çalışmalarının daha spesifik ve odaklı bir alanda yoğunlaştığını göstermektedir.

Yazarların ortak atıf analizi sonuçları, araştırma alanının entelektüel temelinin hem bireysel araştırmacılar hem de kurumsal kaynaklar tarafından şekillendirildiğini göstermektedir. Lin, B Ascione, F. ve Scofield, JH'nin çok yüksek ortak atıf bağlantı güçleri, bu yazarların alanda temel bilgi kaynakları olduğunu ve eserlerinin sıklıkla birlikte referans gösterildiğini ortaya koymaktadır. Chow, TT'nin en yüksek atıf sayısına sahip olması, bu yazarın alanda öncü çalışmalar yaptığını göstermektedir. Kurumsal kaynakların (China, Usepa, Dalian Municipal Bureau of Statistics, U.S. Energy Information Administration) güçlü varlığı, araştırma alanının politika ve düzenleyici çerçevelerle güçlü bağlantılar kurduğunu ve resmi istatistik ve raporların akademik araştırmalarda önemli referans kaynakları olduğunu ortaya koymaktadır. Alanın entelektüel yapısı, hem teorik-akademik çalışmalar hem de uygulamalı-kurumsal kaynaklar tarafından beslendiği için zengin ve çok katmanlı bir bilgi tabanına sahiptir

2.5. Literatürdeki Boşluklar ve Bu Çalışmanın Konumu

Yenilenebilir enerji sistemleri ve sürdürülebilir kaynak yönetimi alanında gerçekleştirilen kapsamlı literatür taraması, önemli araştırma boşluklarının varlığını ortaya koymaktadır. Fotovoltaik sistemler, güneş kolektörleri, rüzgar türbinleri ve su yönetimi sistemleri ayrı ayrı kapsamlı şekilde incelenmesine rağmen, bu sistemlerin kamu binalarında entegre uygulanmasına yönelik çalışmalar yetersizdir (Eicker vd. 2015; Bahaj vd. 2007).

Uluslararası literatürde kamu binalarında yenilenebilir enerji uygulamalarına ilişkin çalışmalar büyük ölçüde Kuzey Avrupa, Kuzey Amerika ve Doğu Asya ülkelerinden gelmektedir. Bu çalışmalar, söz konusu bölgelerin iklim koşulları, enerji politikaları ve ekonomik yapılarına özgü sonuçlar sunmaktadır. Akdeniz iklim kuşağına özgü yüksek güneş radyasyonu, mevsimsel yağış değişkenliği ve su kıtlığı koşullarını dikkate alan bütüncül çalışmalar oldukça sınırlıdır (Zhai ve Wang, 2008; Ghisi ve Ferreira, 2007). Türkiye özelinde ise kamu binalarında yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir su yönetimi sistemlerinin entegre değerlendirilmesine yönelik akademik çalışmalar neredeyse yok denecek kadar azdır.

Mevcut araştırmaların önemli bir kısmı teorik modelleme ve simülasyon çalışmalarından oluşmakta, gerçek uygulama verilerine dayalı performans değerlendirmeleri sınırlı kalmaktadır. Özellikle kamu binalarının kendine özgü kullanım profilleri, yüksek doluluk oranları, 7/24 operasyon gereksinimleri ve kurumsal karar alma süreçleri, konut ve ticari binalardan farklı dinamikler içermektedir. Bu özgün koşulları dikkate alan fizibilite çalışmaları ve uygulama rehberleri eksikliği, kamu sektöründe

yenilenebilir enerji yatırımlarının yaygınlaşmasını engelleyen faktörler arasında yer almaktadır (Tummala vd. 2016; Muthukumaran vd. 2011).

Enerji-su bağlantısı (energy-water nexus) perspektifinden yapılan çalışmalar da sınırlıdır. Su temini ve arıtımının enerji tüketimi, enerji üretiminin su gereksinimi ve her iki kaynağın entegre yönetimi konularında bütüncül yaklaşımlar geliştirilmesi gerekmektedir. Kamu binalarında enerji ve su verimliliğinin birlikte ele alınması, toplam çevresel etki ve ekonomik fizibilitenin daha doğru değerlendirilmesini sağlayacaktır (Ward vd. 2012; Gleick, 2003).

Ekonomik fizibilite analizlerinde de önemli boşluklar bulunmaktadır. Mevcut çalışmalar genellikle basit geri ödeme süresi hesaplamalarına dayanmakta, yaşam döngüsü maliyet analizi (LCCA), çevresel dışsallıklar ve sosyal faydalar yeterince değerlendirilmemektedir. Türkiye'nin kendine özgü enerji tarifeleri, su fiyatlandırma politikaları, teşvik mekanizmaları ve kurumsal yapısı dikkate alındığında, uluslararası çalışmaların doğrudan uygulanabilirliği sorgulanmaktadır (Gamarra vd. 2018; Walker, 2011).

Bu çalışma, belirlenen literatür boşluklarını doldurmaya yönelik özgün katkılar sunmayı amaçlamaktadır. Araştırma; fotovoltaik sistemler, güneş termal kolektörleri, rüzgar türbinleri ve sürdürülebilir su yönetimi sistemlerini kamu binaları özelinde bütüncül bir perspektifle ele almaktadır. Antalya ili örneğinde Akdeniz iklim koşullarına özgü yüksek güneş radyasyonu potansiyeli, mevsimsel rüzgar karakteristikleri ve su kaynakları yönetimi gereksinimleri birlikte değerlendirilmektedir. Çalışma, teorik analizlerin ötesinde yerel koşullara uyarlanmış pratik uygulama önerileri ve fizibilite değerlendirmeleri sunarak, kamu sektöründe yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir kaynak yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılmasına katkı sağlamayı hedeflemektedir.

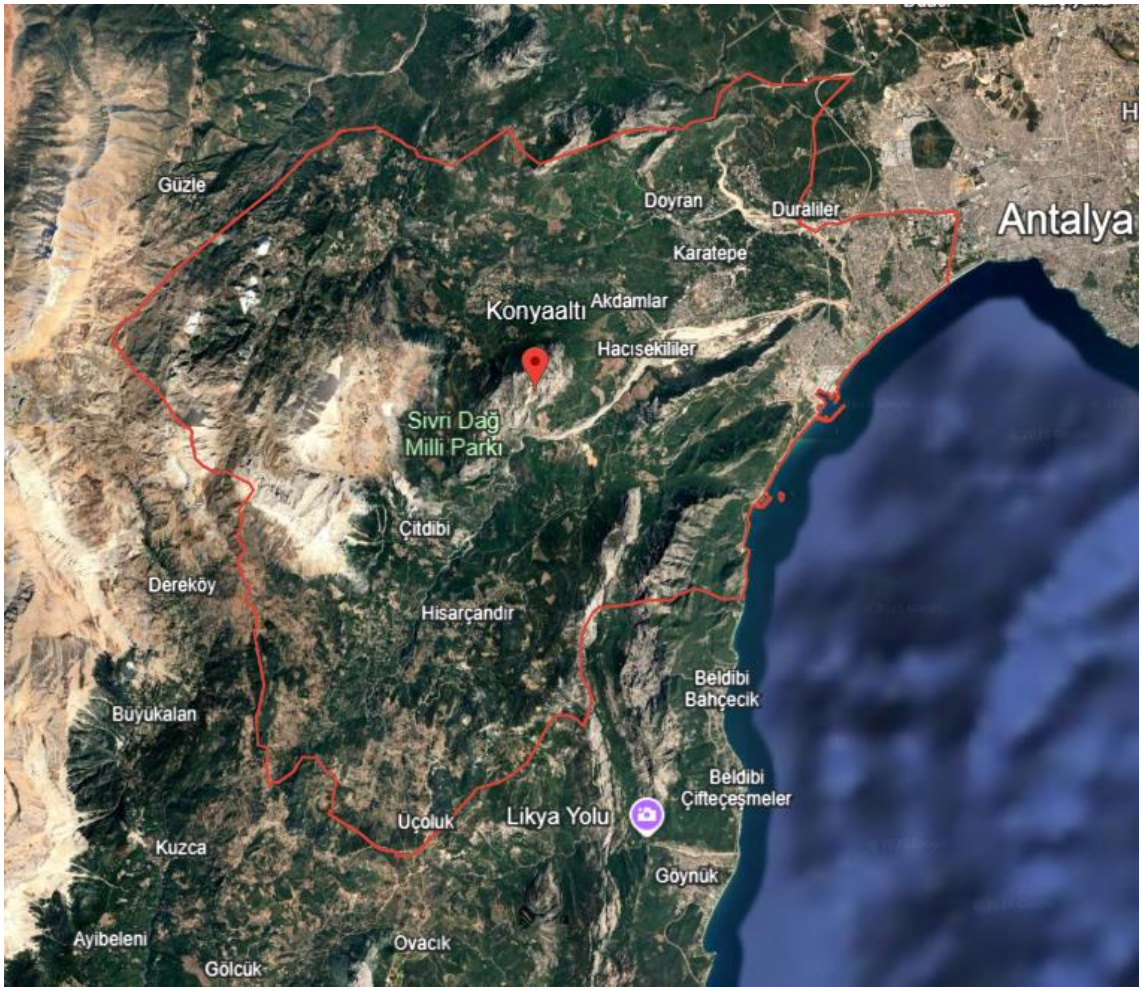
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, Antalya ili Konyaaltı Belediyesi hizmet binasında yenilenebilir enerji sistemleri ve sürdürülebilir su yönetimi uygulamalarının değerlendirilmesine yönelik araştırmanın materyal ve yöntem çerçevesi sunulmaktadır. Çalışma, fotovoltaik sistemler, rüzgar enerjisi sistemleri ve yağmur suyu yönetimi uygulamalarını analiz etmektedir.

3.1. Çalışma Alanının Tanımı

3.1.1. Coğrafi ve İklimsel Özellikler

Araştırma, Antalya ilinin Konyaaltı ilçesinde yer alan Konyaaltı Belediyesi hizmet binasını kapsamaktadır. Konyaaltı ilçesi, Akdeniz kıyısında konumlanmış olup, , 36.06° ve 37.27' kuzey enlemleri ile 26.14° ve 32.27' doğu boylamlarında yer almaktadır. İlçe yaklaşık 562 km² yüzölçümüne sahip olup, deniz seviyesinden ortalama 30-50 metre yükseklikte bulunmaktadır.



Şekil 3.1 Konyaaltı İlçesi Konumu

Bölge, tipik Akdeniz iklimi karakteristiklerine sahiptir. Yıllık ortalama sıcaklık 18-20°C arasında değişmekte olup, yaz aylarında ortalama sıcaklık 28-32°C'ye ulaşmaktadır. Kış

aylarında ise ortalama sıcaklık 10-15°C civarında seyretmekte ve don olayları oldukça nadir görülmektedir. Yıllık toplam yağış miktarı 1.000-1.200 mm arasında değişmekte olup, yağışların büyük çoğunluğu Ekim-Mart döneminde gerçekleşmektedir. Yaz ayları neredeyse yağışsız geçmekte, bu durum su yönetimi stratejilerinin planlanmasında kritik bir faktör olarak değerlendirilmektedir.

3.1.2. Araştırma Kapsamındaki Bina

Araştırma kapsamında Konyaaltı Belediyesi ana hizmet binası incelenmiştir. Bina seçiminde kamu mülkiyetinde olması, aktif kullanımda bulunması ve yenilenebilir enerji ile su yönetim sistemlerinin uygulanmasına uygun potansiyele sahip olması kriterleri dikkate alınmıştır. Özellikle binanın çatı alanının güneş enerjisi sistemleri ve yağmur suyu toplama için yeterli büyüklükte ve uygun konumda olması, seçim kararında belirleyici faktörler arasında yer almıştır. Bina, idari fonksiyonları nedeniyle hafta içi yoğun kullanım profiline sahip olup, enerji ve su tüketim verileri düzenli olarak kayıt altına alınmaktadır.

3.2. Veri Kaynakları ve Seçim Kriterleri

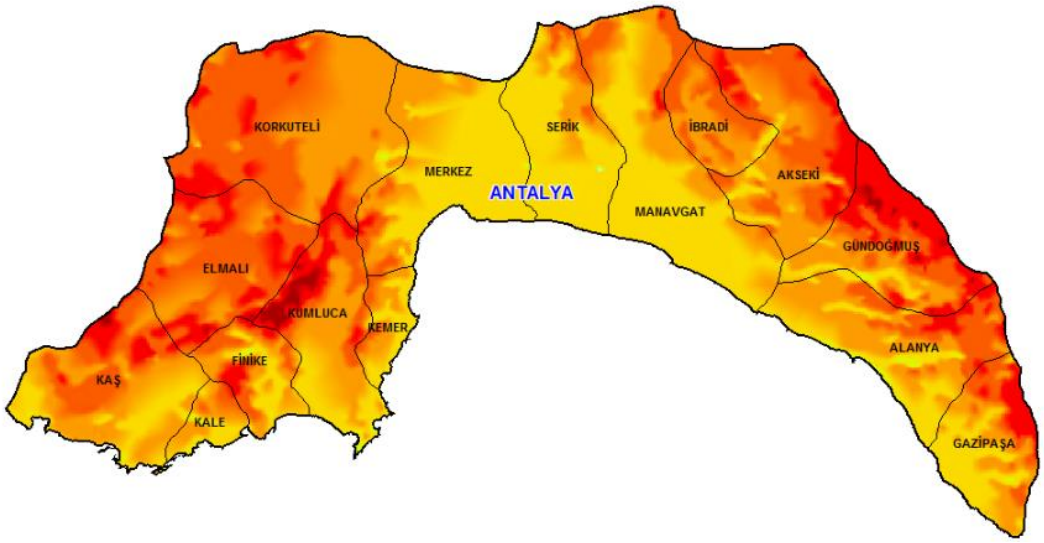
Çalışmada kullanılan verilerin güvenilirliği ve doğruluğunun sağlanması amacıyla, ulusal ve uluslararası düzeyde kabul görmüş resmi kurumların veri tabanlarından yararlanılmıştır. Veri kaynaklarının çeşitlendirilmesi, elde edilecek sonuçların karşılaştırılabilirliğini ve güvenilirliğini artırmak için bilinçli olarak tercih edilmiştir.

3.2.1. Güneş Enerjisi Veri Kaynakları

Antalya iline ait güneş enerjisi verileri, aşağıdaki resmi kaynaklardan elde edilmiştir:

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM): Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı MGM, Antalya ili ve ilçelerine ait günlük, aylık ve yıllık güneşlenme süreleri, sıcaklık değerleri, nem oranları ve iklim parametrelerini sağlamaktadır. MGM verileri uzun dönem istatistiklerini içermektedir. Bu veriler arasında global yatay ışınım (GHI), doğrudan normal ışınım (DNI) ve yaygın yatay ışınım (DHI) değerleri ile saatlik, günlük ve aylık güneşlenme süreleri bulunmaktadır.

Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA): Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan GEPA, Türkiye genelinde bölgesel bazda güneş radyasyonu değerleri, fotovoltaik sistem üretim projeksiyonları ve potansiyel analiz sonuçlarını sunmaktadır.



Şekil 3.2 GEPA güneş ışınım verileri: Antalya

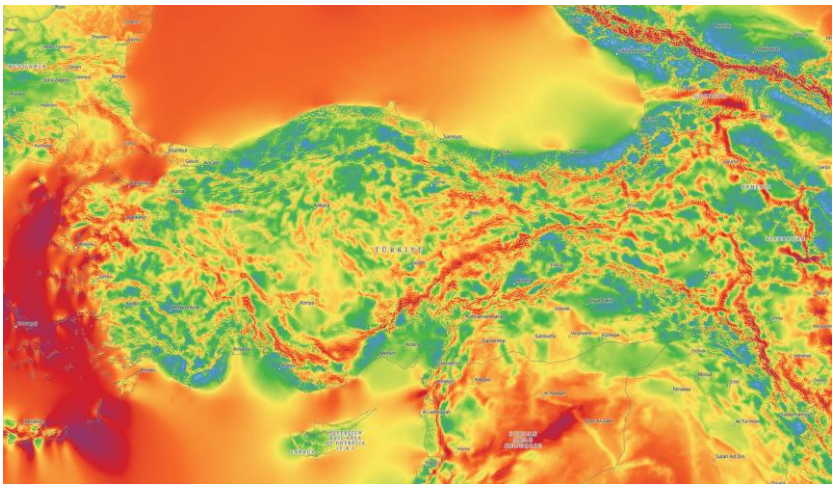
3.2.2. Rüzgar Enerjisi Veri Kaynakları

Antalya iline ait rüzgar enerjisi verileri için aşağıdaki kaynaklar kullanılmıştır:

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM): Antalya merkez ve ilçelerinde bulunan meteoroloji istasyonlarından elde edilen rüzgar hızı, rüzgar yönü ve sıklık verileri kullanılmıştır. Uzun dönemli rüzgar verileri, ortalama rüzgar hızları, rüzgar hız frekans dağılımı ve hakim rüzgar yönlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA): Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan REPA, bölgesel rüzgar potansiyeli haritaları ve istatistiksel verileri içermektedir.

Global Rüzgar Atlası (GWA): Uluslararası kabul görmüş GWA platformu, coğrafi koordinat bazında rüzgar hızı ve güç yoğunluğu verilerini sağlamaktadır.



Şekil 3.3. REPA Rüzgar Haritası : Türkiye

3.2.3. Yağmur Suyu Yönetimi Veri Kaynakları

Antalya iline ait yağış verileri, MGM meteoroloji istasyonlarından elde edilmiştir. Günlük, aylık ve yıllık toplam yağış miktarları, yağışlı gün sayıları, yağış yoğunluğu ve yağış rejimi istatistikleri analiz kapsamına dahil edilmiştir. Yağmur suyu hasadı potansiyelinin belirlenmesi için aylık ve yıllık toplam yağış miktarları kullanılmıştır.

3.3. Materyal

3.3.1. Bina Verileri

Araştırmanın temel materyallerini Konyaaltı Belediyesi'nden temin edilen bina verileri oluşturmaktadır. Bu kapsamda binanın mimari projeleri, vaziyet planı, kat planları, kesit ve görünüşler ile çatı planı derlenmiştir. Mekanik tesisat projeleri kapsamında ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri ile sıhhi tesisat bilgileri elde edilmiştir. Elektrik tesisat projeleri ise aydınlatma sistemleri ve güç dağıtım şemalarına ilişkin detayları içermektedir. Bunlara ek olarak, binanın toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı malzemesi ve mevcut yalıtım durumu gibi temel yapı kimlik bilgileri de sistematik olarak derlenmiştir.

3.3.2. Enerji Tüketim Verileri

Araştırma kapsamında Konyaaltı Belediyesi hizmet binasına ait bir yıllık enerji tüketim verileri derlenmiştir. Elektrik tüketimi kapsamında aylık elektrik tüketim değerleri (kWh) temin edilmiştir. Isıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimleri mevsimsel olarak ayrıştırılarak değerlendirilmiştir.

3.3.3. Su Tüketim Verileri

Bina için bir yıllık su tüketim verileri aylık bazda derlenmiştir. Şebeke suyu tüketim değerleri (m^3), mevsimsel tüketim değişimleri ve su kullanım alanlarına göre dağılım analiz edilmiştir.

3.3.4. Yazılım ve Analiz Araçları

Araştırma sürecinde çeşitli yazılım ve analiz araçları kullanılmıştır. Bibliyometrik analiz için Vosviewer programı, araştırma sürecinde çeşitli yazılım ve analiz araçları kullanılmıştır. Güneş enerjisi simülasyonu için PV*SOL yazılımı tercih edilmiş olup, bu yazılım aracılığıyla fotovoltaik sistem tasarımı, gölgelenme analizi ve enerji üretim tahminleri gerçekleştirilmiştir. Su yönetimi hesaplamaları için Microsoft Excel tabanlı yağmur suyu hasadı hesaplama modelleri geliştirilmiştir. Mekansal analizler ve çatı alanı değerlendirmeleri için Google Earth Pro' ve AutoCAD programlarından yararlanılmıştır. Elde edilen tüm veriler, Microsoft Excel yazılımları kullanılarak işlenmiş, tablolar ve grafikler oluşturulmuştur.

3.4. Yöntem

Araştırma beş ana aşamadan oluşmaktadır: mevcut durum analizi, fotovoltaik sistem değerlendirmesi, rüzgar enerjisi değerlendirmesi, sürdürülebilir su yönetimi analizi.

3.4.1. Mevcut Durum Analizi

Binanın enerji ve su tüketim profilleri detaylı olarak incelenmiştir.

3.4.2. Fotovoltaik Sistem Değerlendirmesi

PV*SOL yazılımı ile çatı alanı, gölgelenme ve enerji üretimi analiz edilmiştir. Google Earth Pro ve AutoCAD ile çatı ölçümü yapılmıştır.

Antalya'nın enlemi (36,9°) baz alınarak yıllık maksimum üretim değerleri hesaplanmıştır.

3.4.3. Rüzgar Enerjisi Sistem Değerlendirmesi

MGM verilerinden rüzgar hızları ve frekans dağılımları analiz edilmiştir.

3.4.4. Sürdürülebilir Su Yönetimi

Yağmur suyu hasadı potansiyeli değerlendirilmiştir.

Tablo 3.4 Yağmur Suyu Toplama Formülü

Formül	**$Q = A \times P \times C \times \eta$**
Q	Toplanabilir yağmur suyu (m^3/yıl)
A	Toplama alanı (m^2)
P	Yıllık yağış miktarı (m/yıl)
C	Akış katsayısı
η	Sistem verimliliği

3.4.5. Çevresel Etki ve Veri Analizi

Önlenen sera gazı emisyonları Türkiye şebeke emisyon faktörü (**0,434** $kgCO_2$/kWh) ile hesaplanmıştır. Veriler Microsoft Excel, işlenmiştir.

3.4.6 Araştırma Kısıtlılıkları

Araştırma Konyaaltı Belediyesi hizmet binası ile sınırlı olup, tüketim verileri bir yıllık dönemi kapsamaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, Antalya ili Konyaaltı Belediyesi hizmet binası için gerçekleştirilen yenilenebilir enerji sistemleri ve sürdürülebilir su yönetimi uygulamalarının analiz sonuçları sunulmaktadır.

4.1. Mevcut Durum Analizi Bulguları

4.1.1. Bina Karakteristikleri

Konyaaltı Belediyesi hizmet binası, çatı alanı başkanlık binası ve hizmet binası toplam olmak üzere **1.512,8 m²** olarak ölçülmüş olup, güney yönelimli düz çatı özelliği göstermektedir. Yapı, 2012 yılında tamamlanmış olup, mevcut enerji performans sertifikası C sınıfı düzeyindedir.

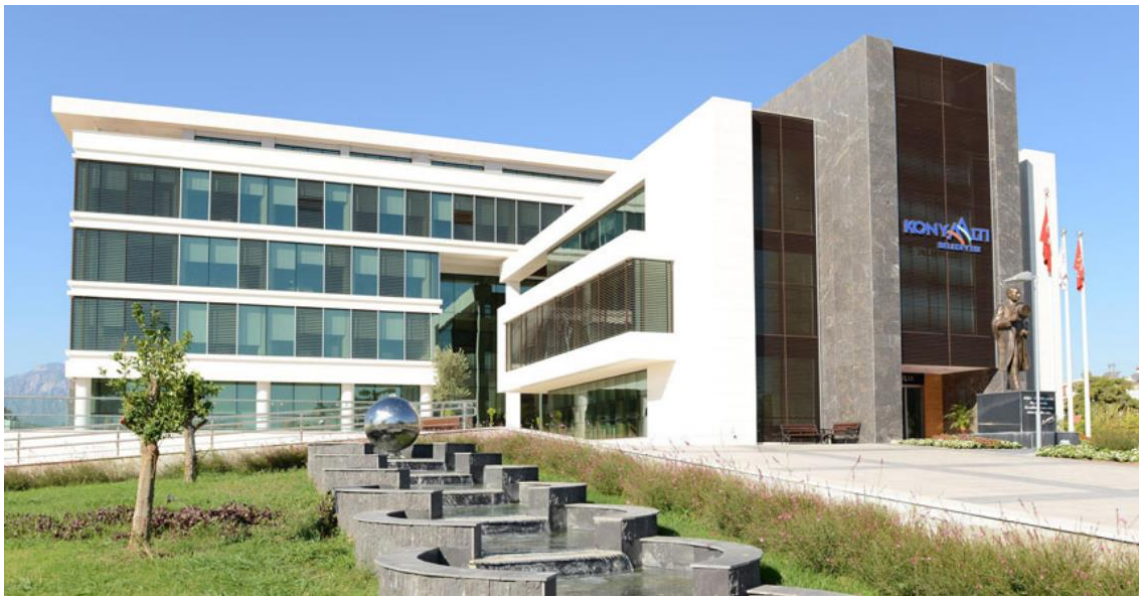
Ülkemizde yerel yönetimlerin sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelimi, özellikle 2010'lu yılların başından itibaren hız kazanmıştır. Belediyeler, hem kamu kaynaklarının verimli kullanılması hem de çevresel sorumluluk bilinciyle yenilenebilir enerji yatırımlarına giderek artan bir ilgi göstermektedir. Bu kapsamda pek çok belediye, hizmet binalarında güneş enerjisi sistemleri kurarak elektrik giderlerini azaltmayı ve karbon ayak izlerini düşürmeyi hedeflemektedir.

Konyaaltı Belediyesi, Antalya'nın en dinamik ve hızlı gelişen ilçelerinden biri olarak vatandaşlara kesintisiz kamu hizmeti sunmaktadır. Belediye bünyesinde; imar, ruhsat, zabıta, kültür ve sosyal işler, mali hizmetler gibi çok sayıda birim faaliyet göstermekte olup, bu birimlerin tamamı hizmet binalarında konuşlanmıştır. Dolayısıyla; belediye binalarında olağan dönemin yanı sıra, herhangi bir afet ya da olağanüstü durumda da kesintisiz kamu hizmeti verilmesi büyük önem taşımaktadır.

Tüm birimlerin hizmet alt yapısının işletilmesi, personelin çalışma ortamlarının sağlanması ve vatandaş hizmet noktalarının faal tutulması; belediye binalarının elektrik enerjisi ve iklimlendirme giderlerinin yüksek olmasına neden olmaktadır. Elektrik kesintilerine karşı jeneratör ve kesintisiz güç kaynağı (KGK) sistemleri mevcut olsa da, stratejik önemdeki belediye hizmet binalarının enerjisinin bir kısmını veya tamamını kendi üretebilmesi, uzun süreli kriz yönetiminde önemli bir avantaj sağlayacaktır. Ayrıca, tüketime göre belirli bir kapasitede kurulacak güneş enerji santraliyle, zaman içerisinde elektrik harcamalarından önemli ölçüde tasarruf edilebilecek ve Konyaaltı Belediyesi, bölgesinde kendi bağımsız enerji üretim tesisine sahip örnek bir yerel yönetim olacaktır.

Bu aşamada, üretime ilişkin analiz yapılabilmesi için binanın aylık elektrik tüketim faturaları incelenmiştir. Elde edilen değerler ile enerji tüketim profili belirlenerek, güneş enerjisi ile elektrik üretimine ilişkin hesaplamalar yapılmıştır. Yeterli bütçe sağlanması durumunda projenin hayata geçirilmesi ve Antalya ili genelindeki diğer belediyelere ile tüm kamu kurumlarına yeşil enerji kullanımı konusunda örnek oluşturulması hedeflenmektedir.

Güneş enerjisinden yararlanılarak elektrik üretimine dair yapılacak incelemede, analiz edilen aylık enerji tüketim verileri ile çatıdaki panel kurulumuna uygun alanın büyüklüğüne göre elde edilebilecek enerji arasında, hesaplamalar üzerinden korelasyon sağlanacaktır.



Şekil 4.1. Konyaaltı Belediyesi

4.1.2. Enerji Tüketim Profili

Konyaaltı Belediyesi hizmet binalarının elektrik enerjisi, ulusal elektrik şebekesinden bina bahçesinde bulunan **1.250 kVA** gücündeki trafo aracılığıyla temin edilmektedir. Binalarda enerji; genel olarak bilgisayar sistemleri, ofis ekipmanları, sunucu odası, aydınlatma, iklimlendirme, havalandırma vb. amaçlar için tüketilmektedir. Antalya'nın Akdeniz iklimi koşulları nedeniyle, özellikle yaz aylarında iklimlendirme (soğutma) sistemlerinin yoğun kullanımı elektrik tüketiminin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Kış aylarında ise ılıman iklim koşulları sayesinde ısıtma ihtiyacı nispeten düşük kalmakta olup, ısıtma amaçlı olarak elektrik enerjisi tüketerek çalışan klimalar kullanılmaktadır. Bu sayede, üretime ilişkin tahminlerin mevsimsel ya da iklimsel nedenlerle değişiklik göstermesi durumunda, elektrik tüketimi ile güneş enerjisi üretimi arasında pozitif bir korelasyon sağlanmaktadır.

Konyaaltı Belediyesi hizmet binasının son 1 yıllık enerji tüketim verileri Tablo 4.1'de sunulmaktadır.

Tablo 4.1. Binanın Yıllık Elektrik Tüketimi (Kasım 2024-Ekim 2025)

Ay	**Elektrik Tüketimi (kWh)**	**İş Günü Sayısı**	**Ortalama Günlük Tüketim (kWh/gün)**
Kasım 2024	62.440,56	21	2.973,36

Aralık 2024	82.798,38	22	3.763,56
Ocak 2025	89.242,02	23	3.880,09
Şubat 2025	89.312,58	20	4.465,63
Mart 2025	66.923,64	21	3.186,84
Nisan 2025	50.145,48	22	2.279,34
Mayıs 2025	55.562,22	22	2.525,56
Haziran 2025	80.726,94	21	3.844,14
Temmuz 2025	107.047,08	23	4.654,22
Ağustos 2025	105.977,34	21	5.046,54
Eylül 2025	88.274,34	22	4.012,47
Ekim 2025	53.207,28	23	2.313,36
TOPLAM	**931.657,86**	**261**	-
ORTALAMA	**77.638,16**	21,75	3.578,76

Tablo 4.1'den görüldüğü üzere, Konyaaltı Belediyesi hizmet binalarının elektrik tüketimi belirgin bir mevsimsel değişkenlik göstermektedir. Yıllık toplam elektrik tüketimi **931.657,86 kWh** olup, aylık ortalama tüketim **77.638,16 kWh** seviyesindedir. **Yaz aylarında (Haziran-Eylül)** elektrik tüketiminin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. En yüksek tüketim **Temmuz 2025** ayında **107.047,08 kWh** ile gerçekleşmiş olup, günlük ortalama tüketim **Ağustos 2025** ayında **5.046,54 kWh/gün** seviyesine ulaşmıştır. Bu artışın temel nedeni, Antalya'nın Akdeniz iklimi koşullarında yaz aylarında yaşanan yüksek sıcaklıklar nedeniyle iklimlendirme (soğutma) sistemlerinin yoğun kullanımıdır.

Kış aylarında (**Aralık-Şubat**) elektrik tüketiminin yaz aylarına kıyasla daha düşük olmakla birlikte, yine de yüksek seviyelerde seyrettiği görülmektedir. **Ocak 2025** ve **Şubat 2025** aylarında sırasıyla **89.242,02 kWh** ve **89.312,58 kWh** tüketim gerçekleşmiştir. Şubat ayındaki günlük ortalama tüketimin **4.465,63 kWh/gün** ile yüksek olması, ısıtma ihtiyacının elektrik tüketimini artırdığını göstermektedir.

En düşük tüketim değerleri ise ilkbahar ve sonbahar geçiş dönemlerinde gözlemlenmektedir. **Nisan 2025** ayı **50.145,48 kWh** ile yılın en düşük tüketim değerine sahip olup, **Ekim 2025** ayı da **53.207,28 kWh** ile benzer düşük seviyelerde kalmıştır. Bu dönemlerde ne ısıtma ne de soğutma ihtiyacının yoğun olmaması, düşük tüketim değerlerini açıklamaktadır. Bu mevsimsel tüketim profili, güneş enerjisi üretim potansiyeliyle pozitif korelasyon sergilemekte olup, güneş enerjisi sistemlerinin ekonomik fizibilitesini güçlendirmektedir.

4.2. Fotovoltaik Sistem Bulguları

4.2.1. Çatı Alanı Analizi ve Kurulum Kapasitesi

Konyaaltı Belediyesi hizmet binalarının çatı alanı, Google Earth Pro yazılımı kullanılarak detaylı olarak analiz edilmiş ve elde edilen veriler fiziki ölçümlerle doğrulanmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, Başkanlık binası ve hizmet binalarının toplam 1.512,8 m² çatı alanına sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak çatı yüzeyinin tamamı fotovoltaik panel kurulumu için uygun değildir; klima dış üniteleri, havalandırma kanalları, su depoları ve anten sistemleri gibi çatı üstü ekipmanlar ile bakım erişim koridorları bu alandan düşülmüştür.

Panel montaj sisteminin tasarımında, optimal eğim açısı (32°) ve sıra arası gölgelenmeyi önlemek için gerekli mesafe (2,0 m) dikkate alınmıştır. Bu parametreler ışığında yapılan hesaplamalar sonucunda, fiili panel kurulum alanı **700 m²** olarak belirlenmiştir. Söz konusu alan, toplam çatı yüzeyinin %46,3'üne karşılık gelmekte olup, kısıtlı alan koşullarında maksimum enerji üretimi sağlanabilmesi için yüksek verimli panel teknolojisi seçimini zorunlu kılmaktadır.

4.2.2. Fotovoltaik Panel Türleri Karşılaştırması ve Seçim Gerekçesi

N-tipi TOPCon teknolojisinin Antalya iklim koşullarında tercih edilmesinin birkaç önemli gerekçesi bulunmaktadır. İlk olarak, bu paneller -0,29%/°C gibi düşük bir sıcaklık katsayısına sahip olup, Antalya'nın yaz aylarında 35-45°C'ye ulaşan yüksek sıcaklık koşullarında önemli bir performans avantajı sağlamaktadır. İkinci olarak, yıllık %0,4 degradasyon oranı ile 25 yıl sonunda panellerin hala %87,5 kapasitede çalışma garantisi bulunmakta, bu da uzun vadeli yatırım güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Üçüncü olarak, bifacial (çift taraflı) üretim özelliği sayesinde açık renkli çatı yüzeylerinde %5-10 oranında ek üretim potansiyeli mevcuttur. Son olarak, N-tipi hücre yapısı sayesinde ışık kaynaklı degradasyona (LID/LeTID) karşı yüksek direnç göstermekte ve 30 yıla kadar uzatılmış performans garantisi sunmaktadır.

Polikristal silikon paneller, monokristal teknolojiye göre yaklaşık %15 daha ekonomik bir başlangıç maliyetine sahip olmakla birlikte, %17-18 verimlilik oranı ile sınırlı kalmaktadır. Bu üretim seviyesi, binanın enerji ihtiyacının daha küçük bir kısmını karşılayabilecek düzeyde olup, kısıtlı alan koşullarında verimlilik açısından dezavantaj oluşturmaktadır.

İnce film teknolojileri olarak bilinen CIS, CdTe ve amorf silikon paneller ise düşük başlangıç maliyetlerine rağmen %6-12 arasında değişen çok düşük verimlilik oranları nedeniyle kısıtlı çatı alanında yeterli kurulu güç sağlayamamaktadır. Bu nedenle, Konyaaltı Belediyesi hizmet binası için N-tipi TOPCon monokristal panel teknolojisinin kullanılmasına karar verilmiştir.

4.2.3. Optimal Eğim Açısı ve Yönlendirme Analizi

Antalya ili için optimal eğim açısı hesaplamasında enlem bazlı yaklaşım kullanılmıştır. Antalya'nın enlemi 36,89°K olup, fotovoltaik literatürde yaygın olarak kullanılan enlem ± 5° formülü uygulandığında teorik optimal açı 32-42° aralığında bulunmaktadır. Yıllık maksimum üretim için enlem - 5° formülü 32° sonucunu vermektedir. Mevsimsel optimizasyon açısından değerlendirildiğinde ise yaz aylarında güneşin daha dik açıyla gelmesi nedeniyle enlem - 15° = 22° optimal iken, kış aylarında güneşin daha yatık açıyla gelmesi nedeniyle enlem + 15° = 52° değeri optimal olmaktadır. Yıllık toplam üretimin maksimize edilmesi hedeflendiğinde, yaz ve kış ayları arasında denge sağlayan 32-37° arası açı aralığı optimal bölge olarak tanımlanmıştır.

4.2.4. PV*SOL Simülasyon Yazılımı ile Detaylı Analiz

Teorik hesaplamaları doğrulamak ve sistemin gerçek performansını öngörmek amacıyla PV*SOL Premium 2024 profesyonel simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Valentin Software GmbH (Almanya) tarafından geliştirilen bu yazılım, fotovoltaik sistem tasarımı ve performans analizinde dünya çapında kabul görmüş bir standarttır. Meteonorm meteorolojik veri tabanı kullanılarak 15 dakikalık zaman adımları ile 8760 saatlik (tam yıl) detaylı simülasyon gerçekleştirilmiştir. Yazılım, IEC 61724 ve IEC 61853 uluslararası standartlarına uyumlu olup, sonuçların güvenilirliği ve doğruluğu akademik ve endüstriyel çevrelerce kabul edilmektedir.

PV*SOL yazılımının kullanılmasının temel gerekçeleri, teorik hesaplamaların ötesinde sağladığı kapsamlı analizlerdir. Yazılım, 3D gölgelenme analizi ile çevre binaların ve çatı üstü engellerin saatlik bazda dinamik gölge etkisini hesaplamakta, detaylı kayıp mekanizmaları modelleme ile sıcaklık, kirlilik, kablo kayıpları gibi tüm sistem kayıplarını ayrı ayrı değerlendirmektedir. Panel ve invertör özelliklerinin entegrasyonu sayesinde gerçek ekipman performans eğrileri kullanılmakta, gerçek meteorolojik veri ile saatlik simülasyon yapılarak mevsimsel ve günlük değişimler detaylı olarak modellenmektedir. Ayrıca yük eşleştirme (load matching) analizi ile fotovoltaik üretimin bina tüketimiyle saatlik örtüşmesi hesaplanmakta ve öz tüketim oranı belirlenmektedir.



Şekil 4.2. PV SOL Projeye Genel Bakış – 3D Tasarım Görünümü

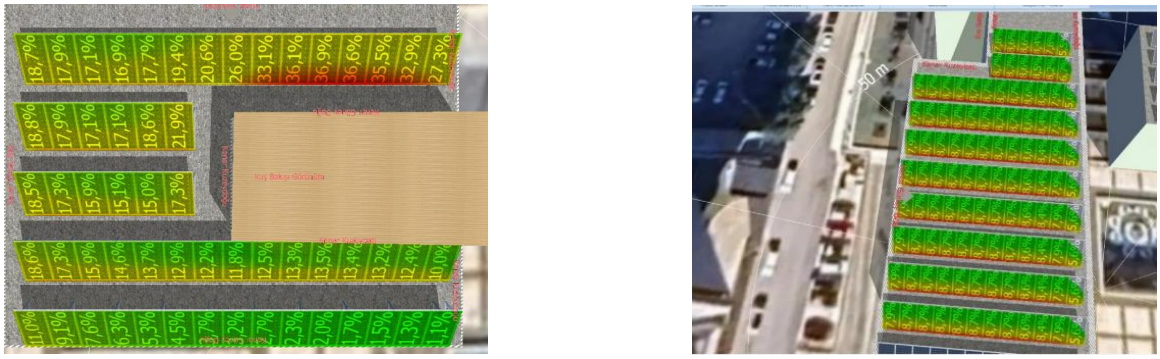
PV*SOL yazılımında binanın tam ölçekli 3D modeli oluşturulmuş ve çevre analizi gerçekleştirilmiştir. Proje lokasyonu olarak ANTALYA-BOLGE, TUR koordinatları (36.886389°K, 30.666667°D) girilmiş, rakım bilgisi deniz seviyesinden 42 m olarak tanımlanmıştır. Meteorolojik veriler, 2001-2020 dönemini kapsayan 20 yıllık ortalamayı temsil eden TMY (Typical Meteorological Year) verisi kullanılarak elde edilmiştir. Çatı üzerindeki engeller (klima üniteleri, havalandırma bacaları) ve çevre binalar modele eklenmiş, gölgeleme etkileri dinamik olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.2. PV*SOL Simülasyon Parametreleri

Parametre	**Değer**
Konum	ANTALYA-BOLGE, TUR
İklim Veri Dönemi	2001 - 2020 (20 yıllık ortalama)
Meteorolojik Veri Kaynağı	Meteonorm 9.0
Veri Çözünürlüğü	1 saat (8760 saat/yıl)
Difüz Radyasyon Modeli	Hofmann
Eğimli Yüzey Işınım Modeli	Hay & Davies

Parametre	Değer
Koordinatlar	36.886389°K, 30.666667°D
Rakım	42 m (deniz seviyesinden)

4.2.5. Gölgelenme Analizi



Şekil 4.3. PV*SOL Gölgelenme Haritası - Kuş Bakışı Görünüm a) Başkanlık Binası, b) Ana Hizmet Binası

PV*SOL'un gölgelenme analiz modülü, 1 saatlik zaman aralıkları ile 365 gün boyunca (8760 saat) dinamik gölge hesaplaması yapmıştır. Simülasyon sonucunda toplam gölgelemeden kaynaklanan kazanç kaybı %15,0 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, sistemin performans oranını doğrudan etkileyen en önemli kayıp faktörünü oluşturmaktadır. Yukarıdaki gölgelenme haritası incelendiğinde, her bir panelin yıllık gölgelenme yüzdesini gösteren renk kodlaması görülmektedir. Yeşil tonlar düşük gölgelenmeyi (%10-15), sarı tonlar orta seviye gölgelenmeyi (%15-20), kırmızı tonlar ise yüksek gölgelenmeyi (%20-35) temsil etmektedir. Kuzeydoğu modül alanında gölgelenme oranları %10-22 arasında değişmekte, güneydoğu modül alanında ise %11-19 aralığında kalmaktadır. En yüksek gölgelenme etkisi kış aylarında düşük güneş açısı nedeniyle sabah saatlerinde oluşmakta, özellikle kuzeye yakın konumdaki paneller daha fazla etkilenmektedir.

4.2.6. Modül Alan Konfigürasyonu

Fotovoltaik sistem, iki ayrı modül alanına bölünmüş şekilde tasarlanmıştır. Her iki alanda da CW Enerji Müh. Tic. ve San. Ltd. Şti. firmasının ürettiği CWT690-132TNB12-V model yüksek verimli monokristal paneller kullanılmıştır. Paneller 32° optimal eğim açısıyla monte edilmiş olup, bu açı Antalya'nın enlem derecesine uygun olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.3. Modül Alan Konfigürasyonu

Parametre	1. Modül Alanı	2. Modül Alanı
Panel Sayısı	120 adet	57 adet
Panel Modeli	CWT690-132TNB12-V (v2)	CWT690-132TNB12-V (v2)
Üretici	CW Enerji Müh. Tic. San. Ltd. Şti.	CW Enerji Müh. Tic. San. Ltd. Şti.
Eğim Açısı	32°	32°
Azimut Açısı	Güneydoğu 142°	Güneydoğu 143°
Montaj Türü	Çatı Kurulumu	Çatı Kurulumu

4.2.7. İnvertör Konfigürasyonu

Sistemde toplam 3 adet Huawei SUN2000-36KTL-M3 model string invertör kullanılmıştır. Birinci modül alanını besleyen iki adet invertör 400Vac çıkış geriliminde, ikinci modül alanını besleyen tek invertör ise 380Vac çıkış geriliminde çalışmaktadır. Her bir invertör 4 adet MPPT (Maximum Power Point Tracking) girişine sahip olup, farklı gölgelenme koşullarında bile maksimum enerji hasadı sağlanmaktadır.

4.2.8. PV*SOL Simülasyon Sonuçları

PV*SOL Premium simülasyonu sonucunda elde edilen tüm sistem performans değerleri bu bölümde detaylı olarak sunulmaktadır. Simülasyon, Antalya bölgesi için 2001-2020 dönemini kapsayan Meteonorm 9.0 meteorolojik verilerini kullanmış, 8760 saatlik tam yıl hesaplaması gerçekleştirmiştir. Sistem, toplam 122,13 kWp kurulu güç kapasitesine sahip olup, yıllık 163.596 kWh enerji üretimi öngörülmektedir. Performans oranı (PR) %78,8 olarak hesaplanmış olup, bu değer %15,0 gölgelenme kaybının etkisini yansıtmaktadır.

Tablo 4.4. PV Sistem Temel Performans Göstergeleri

Parametre	Değer	Birim
PV Jeneratör Çıkışı (Kurulu Güç)	122,13	kWp
Toplam PV Modül Sayısı	177	Adet
Toplam Modül Yüzey Alanı	549,8	m²
İnvertör Sayısı	3	Adet
Yıllık Özgül Kazanç (Spesifik Verim)	1.338,96	kWh/kWp
Sistem Kullanım Oranı	68,97	%

Parametre	Değer	Birim
Gölgelemeden Kaynaklanan Kayıp	15,0	%

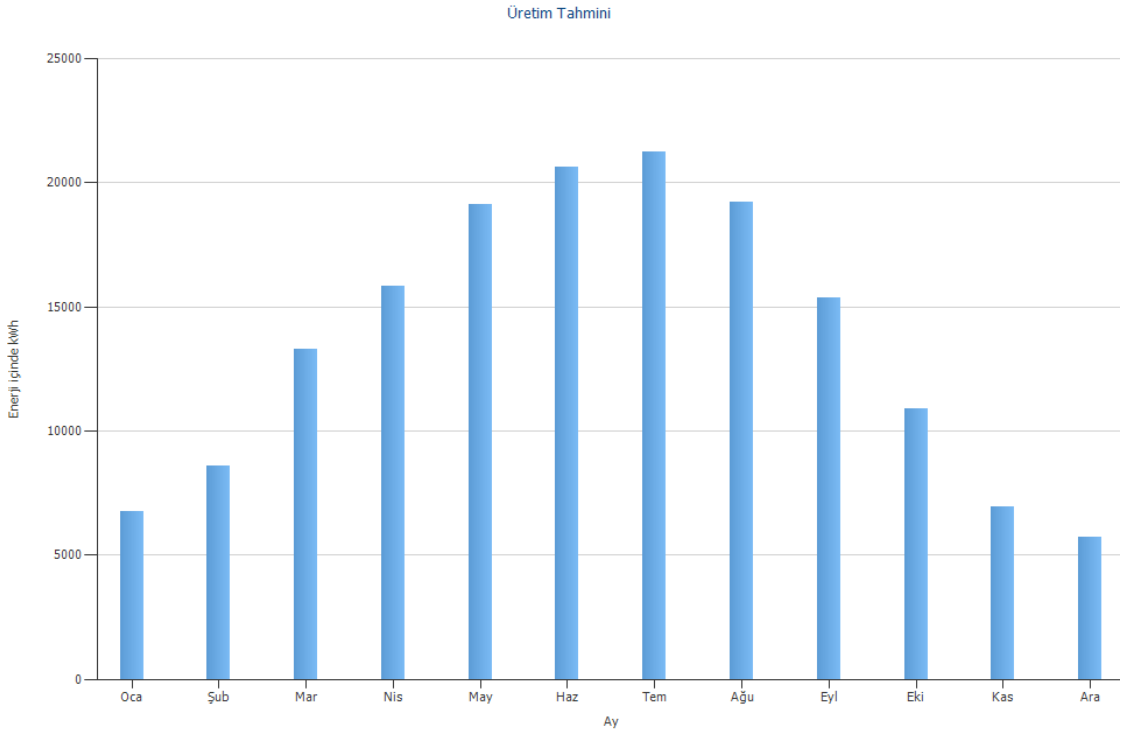
Spesifik verim değeri olan 1.338,96 kWh/kWp/yıl, kurulu her bir kilowatt-peak başına yıllık üretilen enerji miktarını göstermektedir. Bu değer, %15 gölgelenme kaybı nedeniyle Türkiye Akdeniz bölgesi ortalamasının (1.500-1.700 kWh/kWp) altında kalmaktadır. Gölgelenme optimizasyonu yapılması durumunda spesifik verimin 1.500-1.600 kWh/kWp seviyelerine çıkması mümkündür. Performans oranı (PR) %68,97 değeri, sistemin teorik maksimum üretim kapasitesinin yaklaşık %69'unu gerçekleştirebildiğini ifade etmektedir.

Tablo 4.5. Enerji Üretim ve Dağıtım Değerleri

Parametre	Değer	Birim
Şebekeye Verilen Enerji (Brüt)	163.596	kWh/Yıl
İlk Yıl Şebeke Beslemesi (Degradasyon Dahil)	158.584	kWh/Yıl
Şebekeden Alınan Enerji	68	kWh/Yıl
İnvertör Bekleme Tüketimi	68	kWh/Yıl
Önlenen CO_2 Emisyonu	71.001	kg/yıl

Sistemin çevresel etkisi değerlendirildiğinde, yıllık 71.001 kg (71,0 ton) CO_2 emisyonunun önleneceği hesaplanmıştır. Bu değer, Türkiye şebeke emisyon faktörü (0,434 kg CO_2/kWh) baz alınarak hesaplanmıştır. 25 yıllık sistem ömrü boyunca toplam yaklaşık 1.775 ton CO_2 emisyonunun önlenmesi beklenmektedir. Bu miktar, yaklaşık 3.550 ağaç yetişkin ağacın yıllık karbon tutma kapasitesine eşdeğerdir..

122,13 kWp kurulu güçteki fotovoltaik sistemin PV*SOL ile hesaplanan aylık enerji üretim profili, Antalya'nın Akdeniz ikliminin karakteristik özelliklerini yansıtmaktadır. Yaz aylarında yüksek güneşlenme süresi ve düşük bulutluluk nedeniyle üretim maksimum seviyeye ulaşırken, kış aylarında düşük güneş açısı ve kısa gün uzunluğu nedeniyle üretim minimum seviyeye düşmektedir. Yaz-kış üretim oranı yaklaşık 4:1 seviyesindedir.



Şekil 4.4. Mevsimsel Enerji Üretim Profili

Mevsimsel dağılım incelendiğinde, yaz dönemi (Haziran-Ağustos) toplam ~60.500 kWh üretim ile yıllık toplamın %37'sini oluşturmaktadır. Bahar dönemi (Mart-Mayıs) ~47.500 kWh ile %29, sonbahar dönemi (Eylül-Kasım) ~33.000 kWh ile %20 ve kış dönemi (Aralık-Şubat) ~20.500 kWh ile %13 pay almaktadır. En yüksek aylık üretim Temmuz ayında ~21.000 kWh, en düşük üretim ise Aralık ayında ~5.500 kWh seviyesinde gerçekleşmektedir.

4.3. Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Değerlendirmesi

Antalya ili için fotovoltaik sistem tasarımının yanı sıra, alternatif yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgar enerjisi potansiyeli de değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme kapsamında, binanın konumundaki rüzgar kaynakları, bölgesel rüzgar atlası verileri ve potansiyel kurulum alternatifleri incelenmiştir. Rüzgar enerjisi, güneş enerjisine kıyasla farklı avantaj ve dezavantajlara sahip olup, her iki kaynağın birlikte kullanılması (hibrit sistemler) bazı durumlarda optimal çözüm sunabilmektedir.

4.3.1. Bina Konumunda Rüzgar Enerjisi Uygunluk Analizi

Çalışma kapsamındaki binanın (koordinatlar: **36,886389°K**, **30,666667°D**) yıllık elektrik enerjisi tüketiminin rüzgar enerjisi kullanılarak karşılanabilmesi için yapılan ön fizibilite çalışmasında, bina konumunun rüzgar türbini kurulumu açısından **uygun olmadığı** tespit edilmiştir. Bu uygunsuzluğun temel nedenleri aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

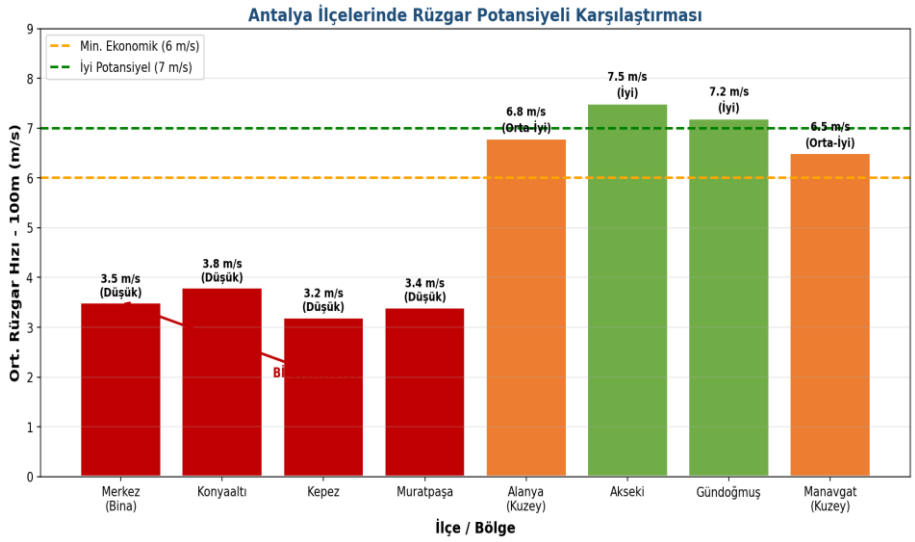
Düşük Rüzgar Hızı: Antalya şehir merkezi, Akdeniz kıyısında konumlanmasına rağmen, coğrafi yapısı nedeniyle düşük rüzgar hızlarına sahiptir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Global Wind Atlas (GWA) verilerine göre, Antalya merkez ilçede 10 metre

yükseklikte yıllık ortalama rüzgar hızı **3-4 m/s** seviyesindedir. Bu değer, ekonomik rüzgar enerjisi üretimi için gerekli olan minimum **6-7 m/s** eşik değerinin önemli ölçüde altındadır.

Kentsel Yapılaşma Etkisi: Bina, yoğun kentsel yapılaşmanın bulunduğu bir bölgede yer almaktadır. Çevredeki binalar, ağaçlar ve diğer yapılar, rüzgar akışını engelleyerek türbülanslı ve düzensiz rüzgar koşulları oluşturmaktadır. Kentsel alanlarda "pürüzlülük uzunluğu" (roughness length) değeri yüksek olup, bu parametre rüzgar hızının yükseklikle artış oranını olumsuz etkilemektedir.

Gürültü ve Görsel Etki: Rüzgar türbinleri çalışırken kanat geçiş frekansına bağlı olarak belirli düzeyde gürültü üretmektedir. Türkiye'de yerleşim alanlarına minimum 500-1000 metre mesafe şartı aranmakta olup, bina konumu bu kriterleri karşılamamaktadır.

Havacılık Kısıtlamaları: Antalya Havalimanı, Türkiye'nin en yoğun havalimanlarından biridir. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) düzenlemelerine göre, havalimanı çevresinde belirli yükseklik kısıtlamaları uygulanmaktadır.



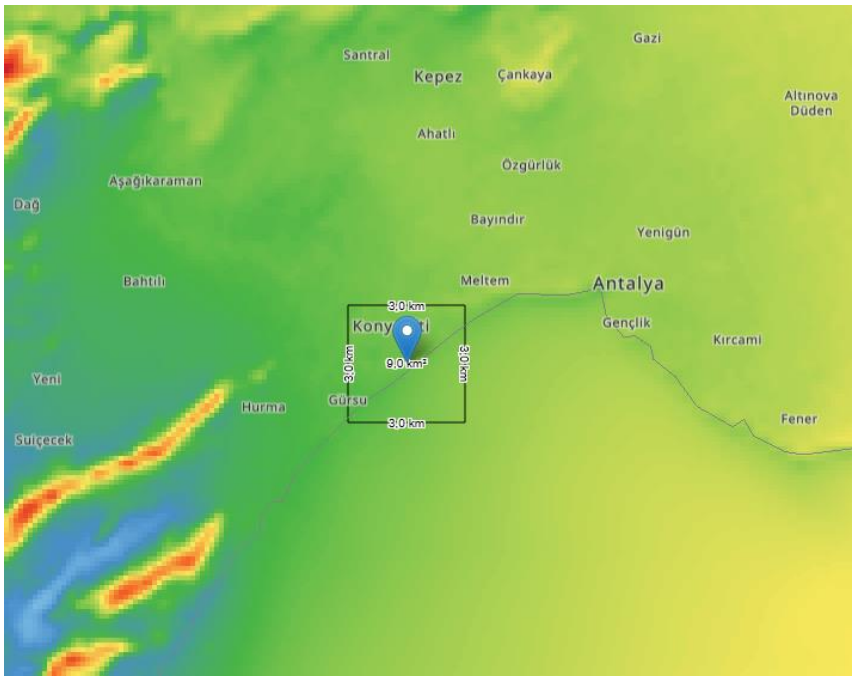
Şekil 4.5. Antalya ilçelerinde ortalama rüzgar hızı karşılaştırması

Tablo 4.6. Bina Konumu Rüzgar Uygunluk Kriterleri

Kriter	Gerekli Değer	Mevcut Durum	Uygunluk
Ortalama Rüzgar Hızı (10m)	≥6-7 m/s	3-4 m/s	✗
Rüzgar Güç Yoğunluğu (50m)	≥400 W/m²	~150-200 W/m²	✗
Yerleşim Mesafesi	≥500 m	Yerleşim içi	✗
Türbülans Yoğunluğu	<0,15	>0,25 (tahmini)	✗

4.3.2. Antalya İli Rüzgar Potansiyeli Genel Değerlendirmesi

Antalya ili genelinde rüzgar enerjisi potansiyeli, Global Wind Atlas (GWA) ve Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) verileri kullanılarak incelenmiştir. Antalya, Türkiye'nin en yüksek güneş potansiyeline sahip illerinden biri olmasına karşın, rüzgar enerjisi açısından orta-düşük potansiyele sahip bir bölgedir. İlin kuzeyindeki Toros Dağları, denizden gelen rüzgarları engelleyerek kıyı şeridinde rüzgar hızlarının düşük kalmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.6. Antalya İli Rüzgar Hızı Dağılımı

Enerji Atlası verilerine göre, Antalya ilinde toplam 20 MW kurulu güce sahip 2 adet lisanslı rüzgar enerji santrali (RES) bulunmaktadır. Bunlara ek olarak, toplam 897 MW kapasiteli 14 adet ön lisans almış RES projesi mevcuttur. Dikkat çekici husus, mevcut ve planlanan tüm santrallerin dağlık bölgelerde (Akseki, Alanya, Manavgat, Gündoğmuş, Korkuteli ilçeleri) konumlandırılmış olmasıdır.

Tablo 4.7. Antalya İli Mevcut ve Planlanan Rüzgar Santralleri

Santral Adı	İlçe	Güç (MW)	Durum
D1 RES	Akseki	10	İşletmede
D3 RES	Manavgat	10	İşletmede
E-Zone RES	Akseki	150	Ön Lisans
Kuşakdağı RES	Alanya	100	Ön Lisans
Diğer Projeler (12 adet)	Çeşitli	647	Ön Lisans
TOPLAM	-	**917 MW**	-

4.3.3. Alternatif Konum Değerlendirmesi

Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği kapsamında bina konumu dışında uygun bir noktaya rüzgar türbini kurularak şebeke üzerinden mahsuplaşma yapılması senaryosu da değerlendirilmiştir. Antalya'nın kuzeyindeki dağlık bölgelerde (Akseki, Alanya kuzeyi, Gündoğmuş) 100 metre yükseklikte 7-9 m/s ortalama rüzgar hızlarına ulaşıldığı tespit edilmiştir.

4.3.4. Güneş ve Rüzgar Enerjisi Karşılaştırması

Antalya ili özelinde güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi kaynaklarının karşılaştırmalı değerlendirmesi aşağıdaki grafikte ve tabloda sunulmaktadır.

Tablo 4.8. Antalya İçin Güneş ve Rüzgar Enerjisi Karşılaştırması

Kriter	Güneş Enerjisi	Rüzgar Enerjisi
Kaynak Potansiyeli	Çok Yüksek (1.700 kWh/m²/yıl)	Düşük-Orta (3-5 m/s merkez)
Kurulum Konumu	Bina çatısı (yerinde)	Dağlık bölge (80-150 km)
Arazi İhtiyacı	Yok (mevcut çatı)	Var (arazi temini gerekli)
İletim Maliyeti	Minimal	Yüksek
İzin Süreçleri	Basit	Karmaşık (ÇED, orman izni)
Bakım Gereksinimi	Düşük (yılda 2-3 temizlik)	Orta-Yüksek (mekanik bakım)
Gürültü/Görsel Etki	Yok	Var
Öz Tüketim Oranı	Yüksek (%60-70)	Düşük (şebeke bağımlı)
Uygulama Süresi	2-4 hafta	6-12 ay
Bölge İçin Uygunluk	ÇOK UYGUN	UYGUN DEĞİL

Yapılan kapsamlı değerlendirme sonucunda, Antalya merkez ilçedeki bina için rüzgar enerjisi kullanımının uygun olmadığı kararına varılmıştır. Bu kararın temel gerekçeleri şu şekilde özetlenebilir:

Birincisi, bina konumundaki ortalama rüzgar hızı (3-4 m/s), ekonomik rüzgar enerjisi üretimi için gerekli minimum değerlerin (6-7 m/s) çok altındadır. İkincisi, kentsel alandaki yoğun yapılaşma, türbülanslı rüzgar koşulları yaratarak türbin verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Üçüncüsü, gürültü ve görsel kirlilik açısından konut bölgelerine yakın kurulum mümkün değildir. Dördüncüsü, alternatif olarak değerlendirilen uzak konumlardaki yüksek potansiyelli alanlar, ekonomik ve idari açıdan uygulanabilir değildir.

Sonuç olarak, bu çalışmada binanın enerji ihtiyacının karşılanması için fotovoltaik güneş enerjisi sistemi tercih edilmiştir. Antalya'nın sahip olduğu yüksek güneş

potansiyeli, bina çatısında kolay kurulum imkanı, düşük bakım gereksinimleri ve yüksek öz tüketim oranı, güneş enerjisini bu bölge için optimal çözüm haline getirmektedir. Bölüm 4.2'de detaylı olarak sunulan 122,13 kWp kurulu güçteki fotovoltaik sistem, binanın enerji ihtiyacını büyük ölçüde karşılayacak ve önemli çevresel faydalar sağlayacaktır.

Not: Bu değerlendirme, mevcut bina ve konum özelinde yapılmıştır. Antalya'nın kuzeyindeki dağlık bölgelerde (Akseki, Alanya, Gündoğmuş) rüzgar enerjisi potansiyeli yeterli düzeyde olup, bu bölgelerde büyük ölçekli RES projeleri ekonomik olarak uygundur. Nitekim, bölgede toplam 917 MW kapasiteli projeler lisans/ön lisans aşamasındadır.

4.4. Su Tüketim Profili

Binanın Aralık 2024 - Kasım 2025 su tüketim verileri Tablo 4.9'da sunulmaktadır.

Tablo 4.9. Binanın Su Tüketimi

Ay	Su Tüketimi (m^3)	İş Günü Sayısı	Ortalama Günlük Tüketim (m^3/gün)
Ara.24	637	22	28,95
Oca.25	656	23	28,52
Şub.25	638	20	31,9
Mar.25	659	21	31,38
Nis.25	508	22	23,09
May.25	643	22	29,23
Haz.25	750	21	35,71
Tem.25	595	23	25,87
Ağu.25	804	21	38,29
Eyl.25	719	22	32,68
Eki.25	701	23	30,48
Kas.25	723	20	36,15
TOPLAM	8.033	260	31,02
Ortalama	670	21,6	-

Tablo 4.9'dan görüldüğü üzere, binanın yıllık toplam su tüketimi 8.033 m^3 seviyesindedir. En yüksek tüketim Ağustos ayında (804 m^3), en düşük tüketim ise Nisan ayında (508 m^3) gerçekleşmiştir. Yaz aylarında (Haziran-Ağustos) su tüketimi ortalama %18 artış göstermektedir.

4.4.1 Yağmur Suyu Hasadı Sistemi Bulguları

Konyaaltı Belediyesi hizmet binası için sürdürülebilir su yönetimi kapsamında yağmur suyu hasadı (rainwater harvesting - RWH) sistemi potansiyeli kapsamlı bir mühendislik yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede, hidrolojik analizler, hidrolik hesaplamalar, depolama optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Analizlerde TS EN

12056-3 (Bina İçi Drenaj Sistemleri - Çatı Drenajı, Tasarım ve Hesaplama), BS 8515:2009+A1:2013 (Rainwater Harvesting Systems - Code of Practice) ve ilgili mühendislik standartları referans alınmıştır.

4.4.1.1. Hidrolojik Analiz ve Yağış Karakteristikleri

Antalya ili, Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Csa (sıcak Akdeniz iklimi) kategorisinde yer almaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 1930-2020 dönemini kapsayan 90 yıllık ölçüm verilerine göre, Antalya'nın yıllık toplam yağış ortalaması 1039.8 mm, yağışlı gün sayısı ise 73.2 gün/yıl olarak belirlenmiştir. Yağış rejimi belirgin bir mevsimsellik göstermekte olup, toplam yağışın yaklaşık %60,7'si kış mevsiminde (Aralık-Şubat), yalnızca %2'si yaz mevsiminde (Haziran-Ağustos) gerçekleşmektedir.

Yağmur suyu hasadı sistemlerinin tasarımında kullanılan temel meteorolojik parametreler ve aylık yağış dağılımı Tablo 4.10'da detaylı olarak sunulmaktadır.

Tablo 4.10. Antalya İli Aylık Meteorolojik Veriler (MGM, 1930-2020)

Ay	P (mm)	Yağışlı Gün
Ocak	229,5	12,4
Şubat	149,1	10,4
Mart	91,6	8,58
Nisan	48,5	6,44
Mayıs	33,3	5,20
Haziran	10,7	2,55
Temmuz	4,7	0,55
Ağustos	4,3	0,56
Eylül	16,9	1,72
Ekim	70,9	5,38
Kasım	128,0	7,48
Aralık	252,3	11,92
TOPLAM	**1.039,8**	**73,18**

P: Aylık ortalama yağış.

4.4.1.2. Yağış Şiddeti ve Tasarım Yağışı Hesabı

Yağmur suyu toplama sisteminin hidrolik tasarımında, tasarım yağış şiddeti kritik bir parametre olarak değerlendirilmektedir. TS EN 12056-3 standardına göre, yağmur iniş boruları ve oluk sistemleri, bölgenin 5 dakikalık maksimum yağış şiddetine (r) göre

boyutlandırılmalıdır. Antalya ili için tasarım yağış şiddeti, Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden elde edilen Şiddet-Süre-Frekans (IDF) eğrileri kullanılarak hesaplanmıştır.

Antalya ili için verilen 5 dakikalık tasarım yağış şiddeti **r = 763 L/(s·ha) = 0,0763 L/(s·m²) dir.** (T=5 yıl tekerrür süresi için):

4.4.2. Yağmur Suyu Toplama Sistemi Tasarımı

4.4.2.1. Toplama Alanı ve Akış Katsayısı

Yağmur suyu hasadı açısından toplama yüzeyi olarak değerlendirilen çatı alanları ve akış katsayıları Tablo 4.11'te sunulmaktadır.

Yüzey akış katsayısı (runoff coefficient), çatı yüzeyine düşen yağış miktarının ne kadarının fiilen toplanabileceğini ifade etmektedir. Akış katsayısı aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$C = Q_{akış} / Q_{yağış}$$

Akış katsayısı C Alman standartları DIN1989'da 0.7 olarak belirtilmiştir

Tablo 4.11. Çatı Alanları ve Akış Katsayıları

Çatı Bölgesi	Alan (m²)	C	Efektif Alan (m²)
Düz çatı (beton)	1.512,8	0,7	1059,0

4.4.2.2. Teorik Yağmur Suyu Toplama Potansiyeli

Yağmur suyu toplama potansiyeli, rasyonel metod kullanılarak hesaplanmaktadır. Temel toplama formülü (DIN1989):

$$\boldsymbol{Vyıllık = A \times P \times C \times \eta}$$

Burada:

- $V_{yıllık}$ = Yıllık toplanabilir yağmur suyu hacmi (m³/yıl)
- A = Brüt çatı toplama alanı (m²)
- P = Yıllık ortalama yağış miktarı (mm)
- C = Ağırlıklı ortalama akış katsayısı (boyutsuz)
- η = Sistem verimliliği - hydraulic efficiency (boyutsuz)

Sistem verimliliği (η), toplama sistemindeki çeşitli kayıpları içermektedir:

- η_{ff} = İlk yıkama (first flush) kayıp faktörü
- η_f = Filtrasyon kayıp faktörü
- η_e = Buharlaşma kayıp faktörü
- η_o = İşletme kayıp faktörü

DIN 1989 (Almanya) standardına göre, yağmur suyu toplama sistemlerinde kullanılan filtrelerin verimlilik katsayısı 0,90 olarak kabul edilmektedir. Bu katsayı, çatı yüzeyinden toplanan yağmur suyundaki katı partiküllerin (yaprak, toz, kuş dışkısı vb.) filtrasyon

ünitesinde tutulması sırasında meydana gelen su kaybını temsil etmektedir. Filtrelenen katı maddelerle birlikte yağmur suyunun yaklaşık %10'luk kısmı sistemden uzaklaştırılmakta ve depolama tankına ulaşamamaktadır (Sutema, 2021).

Yıllık toplama potansiyeli hesabı:

$$V_{yıllık} = 1.512,8 \times 1,0398 \times 0,7 \times 0,9 = 991,0 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

Tablo 4.12. Aylık Yağmur Suyu Toplama Potansiyeli Hesabı

Ay	P (mm)	Vbrüt (m^3)	Vnet (m^3)
Ocak	229,5	243,0	218,7
Şubat	149,1	157,9	142,1
Mart	91,6	97,0	87,3
Nisan	48,5	51,0	45,9
Mayıs	33,3	35,3	31,7
Haziran	10,7	11,3	10,2
Temmuz	4,7	5,0	4,5
Ağustos	4,3	4,6	4,1
Eylül	16,9	17,9	16,1
Ekim	70,9	75,1	67,6
Kasım	128,0	135,5	122,0
Aralık	252,3	267,2	240,5
TOPLAM	1.039,8	1100,8	991,0

Not: Vbrüt = Aeff × P = 1059,0 × P(m); Vnet = Vbrüt × η = Vbrüt × 0,9

4.4.2.3 Hidrolik Sistem Tasarımı

4.4.2.3.1. Yağmur Oluğu ve İniş Borusu Boyutlandırması

Yağmur suyu toplama sisteminin hidrolik tasarımında, oluk ve iniş boruları TS EN 12056-3 standardına uygun olarak boyutlandırılmıştır. Tasarım debisi hesabında rasyonel metod kullanılmıştır:

$$Qr = A \times r \times \varphi / 10.000$$

Burada:

- Q_r = Tasarım debisi (L/s)

- A = Yağış toplama alanı (m²)
- r = Tasarım yağış şiddeti (L/s·ha)
- φ = Akış katsayısı (düz çatı eğimi <3° için 1,0)

Toplam tasarım debisi:

$$Q_r = 1.512{,}8 \times 763 \times 1{,}0 / 10.000 = \mathbf{115{,}43\ L/s}$$

Burada:

- Q_{RWP} = Yağmur borusu kapasitesi (L/s)
- d_i = Boru iç çapı (mm)
- f = Boru doluluk oranı (0,33 kabul edilir)
- k_b = Boru pürüzlülüğü (PVC için 0,25 mm)

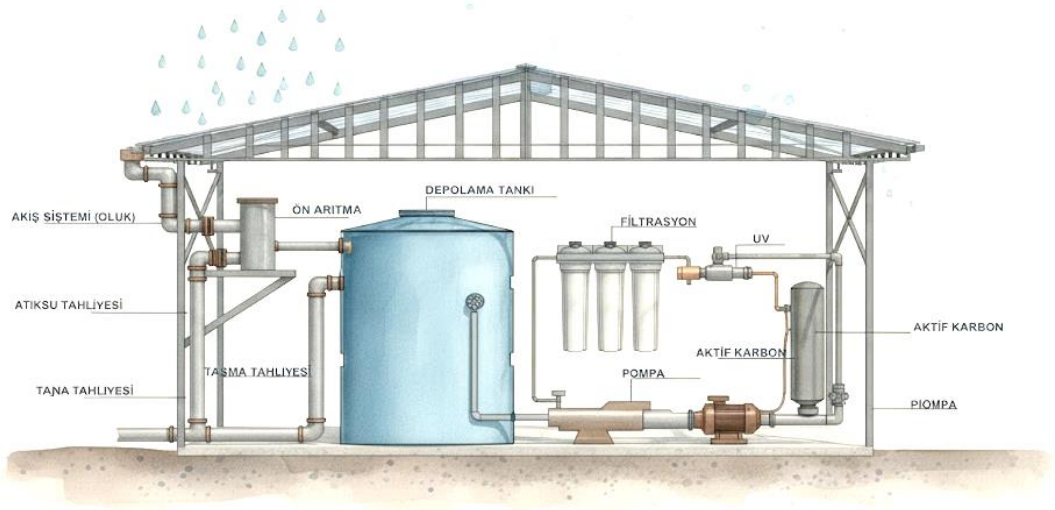
Yüksek yağış şiddeti (r=763 L/(s·ha)) dikkate alınarak, ekonomik değerlendirme ve montaj kolaylığı açısından **12 adet DN125 (Ø125 mm) PVC** yağmur iniş borusu seçilmiştir. Her bir boru yaklaşık 126 m² çatı alanına hizmet verecektir.

4.4.2.3.2. İlk Yıkama (First Flush) Sistemi Tasarımı

Çatı yüzeylerinden elde edilen yağmur suyu, depolama aşamasına geçmeden önce mutlaka bir ön arıtma işleminden geçmelidir. Bu işlemin temel amacı, yaprak ve benzeri iri partiküllerin tanka ulaşmasını önlemek ve sonraki arıtma aşamalarını kolaylaştırmaktır.

Filtreleme ünitesinin konumu esnek bir şekilde belirlenebilir: çatıya yakın bir noktaya monte edilebileceği gibi, depo tankının yerleşimine göre zemin seviyesinde de kurulum yapılabilir.

Şekil 4.7, küçük ölçekli bir yağmur suyu hasadı sistemini göstermektedir. Bu sistemde yağmur suyu öncelikle yaprak tutuculu bir filtreden süzülür, ardından depoya yönlendirilir. Söz konusu filtre mekanizması, vorteks (girdap) akış ilkesiyle çalışarak katı maddelerin etkili biçimde ayrıştırılmasını sağlar.



Şekil 4.7. Yağmur Hasadı Akış Şeması

4.4.2.3.3. Depolama Tankı Boyutlandırması

Yağmur suyu hasadı sistemlerinde depolama tankı boyutlandırması, sistem verimliliğini ve ekonomik fizibilitesini doğrudan etkileyen kritik bir tasarım parametresidir. Almanya DIN 1989 standardına dayanan bu yöntem, yıllık toplam değerler üzerinden hızlı bir depolama hacmi tahmini sunmaktadır. Yöntem, ön fizibilite çalışmaları için yaygın olarak tercih edilmektedir.

- **ER = 991,0 m³/yıl**

Faydalı Depolama Hacmi

DIN 1989 standardına göre faydalı depolama hacmi, yıllık arz ve talep değerlerinin minimumu esas alınarak hesaplanmaktadır:

$$Vn = \min(BWa, ER) \times 0{,}06$$

Burada:

- Vn = Faydalı depolama hacmi (m³)
- BWa = Yıllık su ihtiyacı (m³/yıl)
- ER = Yıllık yağmur suyu toplama verimi (m³/yıl)
- 0,06 = Depolama katsayısı (≈21 günlük rezerv)

BWa = 5.623,1 m³/yıl (yağmur suyuna uygun talep)

ER = 991,0 m³/yıl

min(BWa, ER) = min(5.623,1; 991,0) = 991,0 m³/yıl

Vn = 991,0 × 0,06 = 59,5 m³

DIN 1989 Yöntemi Sonucu: 60 m³

- Yıllık 923 m³ yağmur suyu değerlendirilecektir
- Toplanan suyun %93,1'i kullanılacaktır (taşma: %6,9)
- Uygun kullanım talebinin %16,4'ü karşılanacaktır
- Toplam su tüketiminin %11,5'i yağmur suyundan sağlanacaktır

4.4.2.3.4. Pompa Seçimi ve Hidrofor Sistemi

Yağmur suyu hasadı sisteminde toplanan suyun kullanım noktalarına iletilmesi için uygun pompa ve dağıtım altyapısı tasarlanmıştır. Çatıdan toplanan yağmur suyu, gravitasyonel akış prensibiyle filtre ünitelerinden geçerek bodrum kattaki depolama tanklarına ulaşmaktadır. Bu aşamada herhangi bir enerji tüketimi olmamakta, ancak tanktan kullanım noktalarına iletim için mekanik pompalama gerekmektedir.

Sistem iki kademeli yapıda organize edilmiştir. İlk kademede yağmur suyu transfer pompası, tanktan suyu alarak temel filtrasyon ve dezenfeksiyon ünitesine iletmektedir. Su, 0,5 mikron hassasiyetinde mikro-filtrasyon ve düşük dozda klor enjeksiyonundan (0,5-1,0 ppm) geçirilerek hijyenik standartlara uygun hale getirilmektedir. İkinci kademede işlenmiş su, binanın mevcut kullanma suyu hidrofor sistemine entegre edilmekte ve buradan tuvalet sifonları, temizlik muslukları ile dış mekan kullanımlarına dağıtılmaktadır. Bahçe sulama ve araç yıkama için ilave arıtma proseslerine gerek duyulmamaktadır. Depolama altyapısı, 60 m³ prizmatik modüler depo tanklar şeklinde planlanmıştır.

Pompa kapasitesi, hidrolik hesaplamalara göre belirlenmiştir. Sistemin statik basma yüksekliği, boru sürtünme kayıpları, vana ve bağlantı elemanları kayıpları ile kullanım noktalarında gerekli minimum basınç dikkate alınarak toplam 40 mSS (metre su sütunu) basınç gereksinimi hesaplanmıştır. Sonuç olarak 7 m³/saat debi kapasiteli, IE3 enerji verimliliği sınıfında santrifüj pompa seçilmiştir.

4.4.3.1. Yağmur Suyu Hasadı Sistemi Değerlendirmesi

Konyaaltı Belediyesi hizmet binası için gerçekleştirilen kapsamlı yağmur suyu hasadı analizi, sistemin uygulanabilir olduğunu ortaya koymuştur. Temel bulgular aşağıda özetlenmektedir:

Antalya'nın yıllık 1.039,8 mm yağış potansiyeli ve 1.512,8 m² çatı alanı ile yıllık 991,0 m³ net yağmur suyu toplanabilecektir. Akdeniz ikliminin karakteristik özelliği olan yaz kuraklığı, depolama sisteminin boyutlandırılmasında belirleyici faktör olmuştur. DIN 1989 yöntemine göre gerçekleştirilen analiz sonucunda, 60 m³ kapasiteli yeraltı depolama tankı optimal seçenek olarak belirlenmiştir. Sistem, yıllık 923 m³ yağmur suyunun değerlendirilmesine olanak tanımakta olup, bu miktar binanın tuvalet, peyzaj ve temizlik amaçlı su ihtiyacının %16,4'ünü karşılayacak düzeydedir. Yağmur suyu hasadı sistemi, şebeke suyu tasarrufunun yanı sıra kentsel yağmur suyu akış kontrolüne de katkı sağlayacaktır. Yıllık 923 m³ şebeke suyu tasarrufu, dolaylı olarak su arıtma ve iletim sistemlerindeki enerji tüketiminin azaltılmasına katkıda bulunacaktır.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışması, Antalya ili Konyaaltı ilçesindeki Konyaaltı Belediyesi hizmet binasında yenilenebilir enerji sistemleri ve sürdürülebilir su yönetimi uygulamalarını kapsamlı bir şekilde değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında fotovoltaik sistemler, rüzgar enerjisi potansiyeli ve yağmur suyu hasadı sistemleri üzerine gerçekleştirilen detaylı analizler, kamu binalarının sürdürülebilir dönüşümüne yönelik kritik bulgular ortaya koymuştur. Bu bölümde, araştırma sürecinde elde edilen temel sonuçlar, çalışmanın bilimsel ve uygulamalı katkıları ile gelecek çalışmalara yönelik öneriler sistematik bir şekilde sunulmaktadır.

5.1.1. Mevcut Durum Analizi

- Yıllık toplam elektrik tüketimi: 931.657,86 kWh — Orta ölçekli bir kamu binası için yüksek sayılabilecek bu tüketim, özellikle iklimlendirme sistemlerinin yoğun kullanımından kaynaklanmaktadır.
- En yüksek tüketim: Temmuz (107.047,08 kWh) / En düşük: Nisan (50.145,48 kWh) — Yaklaşık 2 katlık bu fark, Akdeniz ikliminin yaz aylarındaki soğutma ihtiyacını yansıtmaktadır. Bu durum, güneş enerjisi üretiminin en yüksek olduğu dönemle örtüşmesi açısından avantaj sağlamaktadır.
- Yıllık toplam su tüketimi: 8.033 m^3 — İçme suyu kalitesi gerektirmeyen kullanımlar (tuvalet, peyzaj ve temizlik) için kullanılan suyun yağmur suyu ile karşılanabilmesi, ciddi bir tasarruf potansiyeli sunmaktadır.

5.1.2. Fotovoltaik Sistem Sonuçları

- Toplam çatı alanı: 1.512,8 m^2 → Fiili kurulum alanı: 700 m^2 (%46,3) — Çatı üzerindeki ekipmanlar (klima dış üniteleri, havalandırma bacaları, su depoları) nedeniyle kullanılabilir alan yarıya düşmektedir. Bu durum, mevcut binaların retrofit projelerinde sıkça karşılaşılan bir kısıttır.
- Seçilen teknoloji: N-tipi TOPCon monokristal (%22-23 verim) — Kısıtlı alandan maksimum üretim sağlamak için yüksek verimli panel tercihi yapılmıştır. Toplam 177 adet CWT690-132TNB12-V model panel kullanılmıştır.
- Kurulu güç: 122,13 kWp / Yıllık üretim: 163.596 kWh — Bu üretim, binanın yıllık elektrik ihtiyacının %17,6'sını karşılayacaktır. Tam enerji bağımsızlığı için enerji depolama veya ek üretim alanları gereklidir.
- Sistem Kullanım Oranı: %68,97 / Gölgelenme kaybı: %15,0 — Gölgelenme sorunlarının giderilmesiyle sistem kullanım oranının %80-85 seviyelerine çıkması mümkündür ve yıllık 15.000-20.000 kWh ek üretim sağlanabilir.
- Spesifik verim: 1.338,96 kWh/kWp/yıl — Türkiye Akdeniz bölgesi ortalaması 1.500-1.700 kWh/kWp olduğundan, gölgelenme optimizasyonu ile önemli iyileştirme potansiyeli mevcuttur.
- Mevsimsel dağılım — Yaz: %37 / Bahar: %29 / Sonbahar: %20 / Kış: %13 — Yaz-kış üretim oranının 4:1 olması, kış aylarında şebeke bağımlılığının devam edeceğini göstermektedir. Batarya depolama sistemleri bu dengesizliği azaltabilir.

- Yıllık önlenen CO_2 emisyonu: 71,0 ton / 25 yıllık toplam: ~1.775 ton — Bu miktar, yaklaşık 3.550 ağaç yetişkin ağacın yıllık karbon tutma kapasitesine eşdeğerdir. Kurumsal sürdürülebilirlik raporlaması için somut bir göstergedir.

5.1.3. Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

- Rüzgar hızı: 3-4 m/s (gerekli minimum: 6-7 m/s) — Ekonomik üretim eşiğinin neredeyse yarısı kadar olan bu değer, rüzgar türbini yatırımını baştan elemektedir.
- Kentsel türbülans, gürültü kısıtlamaları ve havalimanı yakınlığı — Teknik yetersizliğin yanı sıra yasal ve çevresel engeller de bulunmaktadır. Alternatif konumlar 80-150 km uzaklıkta olup ekonomik değildir.

Sonuç: Antalya kent merkezinde rüzgar enerjisi uygulanabilir değildir. Güneş enerjisi bu bölge için optimal ve tek mantıklı yenilenebilir enerji kaynağıdır.

5.1.4. Yağmur Suyu Hasadı Sistemi

- Yıllık ortalama yağış: 1.039,8 mm / Yağışlı gün: 73,18 gün/yıl — Antalya, Türkiye'nin en yağışlı illerinden biridir. Ancak yağış dağılımı dengesizdir.
- Kış mevsimi payı: %60,7 / Yaz mevsimi payı: %2 — Yağışın neredeyse tamamının kış aylarında gerçekleşmesi, yeterli depolama kapasitesini zorunlu kılmaktadır. Yaz aylarında yağmur suyuna güvenilemez.
- Yıllık toplanabilir hacim (net): 991,0 m^3 / Kullanılabilir miktar: 923 m^3 — Sistem kayıpları (ilk yıkama, filtrasyon, buharlaşma) nedeniyle toplanan suyun yaklaşık %7'si değerlendirilememektedir.
- Optimal depolama kapasitesi: 60 m^3 (DIN 1989 Yöntemi) — Maliyet-fayda analizi sonucunda belirlenen bu kapasite, toplanan suyun %93,1 ünün kullanılmasını sağlamaktadır. Daha büyük tanklar marjinal fayda düşüşü nedeniyle ekonomik değildir.
- Talep karşılama oranı: %16,4 / Toplam su tüketiminden karşılama: %11,5 — İçme suyu gerektirmeyen talebin (tuvalet, peyzaj, temizlik) yaklaşık altıda biri karşılanacaktır. Tam su bağımsızlığı için gri su geri dönüşümü ile entegrasyon gereklidir.

5.1.5. Bilimsel ve Uygulamalı Katkılar

- Enerji-su bağlantısını entegre ele alan ilk kapsamlı Türkiye çalışması — Mevcut araştırmalar genellikle tek kaynağa odaklanmaktadır. Bu çalışma, bütüncül yaklaşımın önemini vurgulamaktadır.
- Akdeniz iklimine özgü tasarım parametreleri — Benzer iklim koşullarına sahip diğer Akdeniz ülkeleri için de uygulanabilir metodoloji sunmaktadır.
- Yerel yönetimler için pratik tasarım kılavuzu ve karar destek aracı — Belediyeler, benzer projelerde bu çalışmayı doğrudan referans olarak kullanabilir.

5.1.6. Araştırma Kısıtlılıkları

- Tek bina ve tek yıllık veriyle sınırlı — Yıllar arası değişkenlik ve farklı bina tipleri için genelleme dikkatli yapılmalıdır.

5.2. Öneriler

- Gölgelenme kayıplarının %10-12'ye düşürülmesi — Çatı ekipmanlarının yeniden konumlandırılması, yatırım yapmadan üretimi %10-15 artırabilir.
- 60 m³ yeraltı depolama tankı kurulumu — Yeraltı konumu, alanı işgal etmez ve suyun serin kalmasını sağlayarak bakteriyel üreme riskini azaltır.
- 3 kademeli filtrasyon sistemi ve kalite izleme protokolü — Sağlık güvenliği için kritik öneme sahiptir. Düzenli bakım ihmal edilmemelidir.
- Belediye binalarında zorunlu sistem kurulumu — Kamu binalarının öncü rol üstlenmesi, özel sektör yatırımlarını teşvik edecektir.
- Kamu binaları için ulusal standartlar ve teşvik mekanizmalarının genişletilmesi — Lisanssız elektrik üretimi ve net ölçümleme prosedürlerinin basitleştirilmesi yatırımları hızlandıracaktır.
- Farklı bina tiplerinde karşılaştırmalı çalışmalar (okul, hastane, spor tesisi) — Her bina tipinin kendine özgü tüketim profili, farklı sistem tasarımları gerektirebilir.
- Gri su geri dönüşüm entegrasyonu — Yağmur suyu ile birleştirildiğinde su bağımsızlığı %50'nin üzerine çıkabilir.
- İklim değişikliği senaryoları (2050-2100) — Uzun vadeli yatırım kararları için gelecek iklim projeksiyonlarının modellenmesi kritiktir.

5.3. Sonuç Özeti

Bu çalışma, Akdeniz iklim kuşağındaki kamu binalarının sürdürülebilir dönüşüm potansiyelini somut verilerle ortaya koymuştur:

- Fotovoltaik Sistem: 163.596 kWh/yıl üretim, binanın enerji ihtiyacının %17,6'sını karşılama, yıllık 71,0 ton CO_2 emisyonu önleme — Güneş enerjisi, Antalya için tartışmasız en uygun yenilenebilir enerji kaynağıdır.
- Yağmur Suyu Hasadı: 923 m³/yıl su değerlendirme, içme suyu gerektirmeyen talebin %16,4'ünü karşılama, 60 m³ optimal depolama kapasitesi — Ekonomik açıdan uygun olan sistem, su kaynaklarının korunmasına önemli katkı sağlayacaktır.
- Rüzgar Enerjisi: Bina konumu için uygun değil (mevcut: 3-4 m/s, gerekli minimum: 6-7 m/s) — Kentsel ortam kısıtlamaları nedeniyle bu seçenek elenmiştir.

Türkiye'nin 2053 net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda, Konyaaltı Belediyesi'nin bu sistemleri uygulaması bölge için örnek model oluşturacak ve yerel düzeyde başlayan sürdürülebilirlik dönüşümü, ulusal iklim hedeflerine ulaşılmasında kritik bir yapı taşı haline gelecektir.

6. KAYNAKLAR

Adhikari, S. ve Bhattacharya, S. (2012). Dynamic Analysis of Wind Turbine Towers on Flexible Foundations. *Shock and Vibration*, 19(1), 37-56. https://doi.org/10.1155/2012/408493

Afşar, M. ve Özarslan Doğan, B. (2022). Yenilenebilir Enerji Üretiminde Kamu Politikalarının Önemi: G7 Ülkeleri Örneği. *Uluslararası Bankacılık Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 172-190. https://doi.org/10.52736/ubeyad.1173806

Ahmed, O. K. (2021). Recent Advances in Photovoltaic-Trombe Wall System: A Review. *IntechOpen*. https://doi.org/10.5772/intechopen.90618

Akalın, H., Seçkiner, S. U. ve Eroğlu, Y. (2017). Stokastik sınır analizi kullanarak rüzgâr türbinleri için etkinlik değerlendirmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), 1311-1326. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.369740

Akhan, H., Özaydın, Ö. ve Özdemir, S. (2024). Bir Kamu Binasındaki Sıcak Su Kazanına Uygulanan Atık Isı Geri Kazanımının Enerji Verimliliği Analizi. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(1), 53-64. https://doi.org/10.59314/tujes.1422282

Akıner, M. E., Akıner, N. ve Akıner, İ. (2025). From Historical Management to Modern Sustainability. *IGI Global*, 181-230. https://doi.org/10.4018/979-8-3373-0619-3.ch009

Amoako-Attah, J. ve Bahadori-Jahromi, A. (2016). Impact of conservatory as a passive solar design of UK dwellings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 169. https://doi.org/10.1680/jensu.14.00040

Arden, S. ve Ma, X. (2018). Constructed wetlands for greywater recycle and reuse: A review. *Science of The Total Environment*, 630, 587-599. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.218

Bakker, K. ve Morinville, C. (2013). The governance dimensions of water security: a review. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 371(2002), 20130116. https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0116

Barati, S., de Santoli, L., Lo Basso, G., Galizia, A. ve Spiridigliozzi, G. (2020). An Experimental Investigation on Energy Performance of The Hybrid Photovoltaic Thermal System. *E3S Web of Conferences*, 197, 08003. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019708003

Biantoro, A. W., Utaberta, N., Mulyadi, D. ve Nahdatunisa (2025). Research on Design of Rainwater Harvesting Technology and Solar Cells for Drinking Water in Coastal Areas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1543(1), 012005. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1543/1/012005

Bulut, B. (2021). Rüzgar Çiftliklerinde Kalan Faydalı Ömür Tahmini. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 5(2), 145-154. https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.922599

Ceylan, İ. ve Gürel, A. E. (2015). Exergetic analysis of a new design photovoltaic and thermal (PV/T) System. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 34(4), 1249-1253. https://doi.org/10.1002/ep.12108

Chandel, S. S. ve Aggarwal, R. K. (2008). Performance evaluation of a passive solar building in Western Himalayas. *Renewable Energy*, 33(10), 2166-2173. https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.01.008

Chavero-Navarrete, E., Trejo-Perea, M., Juan Carlos, Carrillo-Serrano, R. V. ve Ríos-Moreno, J. G. (2019). Expert Control Systems for Maximum Power Point Tracking in a Wind Turbine with PMSG: State of the Art. *Applied Sciences*, 9(12), 2469. https://doi.org/10.3390/app9122469

Choi, K. ve Suh, J. (2023). Fault Detection and Power Loss Assessment for Rooftop Photovoltaics Installed in a University Campus, by Use of UAV-Based Infrared Thermography. *Energies*, 16(11), 4513. https://doi.org/10.3390/en16114513

Cieślak, I. ve Eźlakowski, B. (2023). Use of GIS Tools for Decision-Making Support in Sustainable Energy Generation on the Example of the Solar Photovoltaic Technology. *Bulletin of Geography Socio-Economic Series*, 60, 157-171. https://doi.org/10.12775/bgss-2023-0021

Di Baldassarre, G., Sivapalan, M., Rusca, M., Cudennec, C., Garcia, M., Kreibich, H., Konar, M., Mondino, E., Mård, J., Pande, S. ve Sanderson, M. R. (2019). Sociohydrology: Scientific Challenges in Addressing the Sustainable Development Goals. *Water Resources Research*. https://doi.org/10.1029/2018wr023901

Di Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Yan, K., Brandimarte, L. ve Blöschl, G. (2015). Debates—Perspectives on socio-hydrology: Capturing feedbacks between physical and social processes. *Water Resources Research*, 51. https://doi.org/10.1002/2014wr016416

Diwania, S., Agrawal, S., Siddiqui, A. S. ve Singh, S. (2019). Photovoltaic–thermal (PV/T) technology: a comprehensive review on applications and its advancement. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 11. https://doi.org/10.1007/s40095-019-00327-y

Duffie, J. A. ve Beckman, W. A. (1976). Solar Heating and Cooling. *Science*, 191(4223), 143-149. https://doi.org/10.1126/science.191.4223.143

Freni, G. ve Liuzzo, L. (2019). Effectiveness of Rainwater Harvesting Systems for Flood Reduction in Residential Urban Areas. *Water*, 11(7), 1389. https://doi.org/10.3390/w11071389

Friedler, E., Kovalio, R. ve Galil, N. (2005). On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings. *Water Science & Technology*, 51(10), 187-194. https://doi.org/10.2166/wst.2005.0366

Garro, M. A., Picallo-Pérez, A., Hernández-Cruz, P., Hidalgo-Betanzos, J. M., Sala-Lizarraga, J. M. ve Ruiz De Vergara-Ruiz De Azua, I. (2023). PV Potential of the Public Building Stock of the Basque Country. *ECOS 2023*. https://doi.org/10.52202/069564-0154

Ghafoorian, F., Hosseini Rad, S. ve Moghimi, M. (2025). Enhancing Self-Starting Capability and Efficiency of Hybrid Darrieus–Savonius Vertical Axis Wind Turbines with a Dual-Shaft Configuration. *Machines*, 13(2), 87. https://doi.org/10.3390/machines13020087

Ghaitidak, D. M. ve Yadav, K. D. (2013). Characteristics and treatment of greywater—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(5), 2795-2809. https://doi.org/10.1007/s11356-013-1533-0

Grabowski, T., Jóźwiakowski, K., Bochniak, A., Stachyra, P. ve Radliński, B. (2023). Assessment of Rainwater Quality Regarding its Use in The Roztocze National Park (Poland)—Case Study. *Applied Sciences*, 13(10), 6110. https://doi.org/10.3390/app13106110

Hajiyeva, V. (2024). Yenilikçi Teknolojilerin Uygulanmasıyla Rüzgar Enerjisinin Verimliliğinin Artırılması. *ATED*, 6(1), 48-56. https://doi.org/10.29329/ated.2024.665.6

Hamilton, K. A., Ahmed, W., Palmer, A., Smith, K., Toze, S. ve Haas, C. N. (2017). Seasonal Assessment of Opportunistic Premise Plumbing Pathogens in Roof-Harvested Rainwater Tanks. *Environmental Science & Technology*, 51. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04814

Harani, S. A. P. (2022). Analysis of Building Integrated Photovoltaic Application for Apartment Building in Jakarta. *Jurnal Inovasi Konstruksi*, 25-31. https://doi.org/10.56911/jik.v1i1.8

Haripriya, R., Rahmatullah, M. D. ve Saraswat, A. (2023). Control Strategy for Photovoltaic Connected Quasi ZSource Cascaded Multilevel Inverter System. *IARS' Press Australia*. https://doi.org/10.62431/qn9k3f37

Hilewit, D., Matida, E., Fereidooni, A., Abo El Ella, H. ve Nitzsche, F. (2019). Power coefficient measurements of a novel vertical axis wind turbine. *Energy Science & Engineering*, 7(6), 2373-2382. https://doi.org/10.1002/ese3.412

Hoekstra, A. Y., Buurman, J. ve van Ginkel, K. (2018). Urban water security: A review. *Environmental Research Letters*, 13(5), 053002. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaba52

Jamali, B., Bach, P. M. ve Deletić, A. (2020). Rainwater harvesting for urban flood management – An integrated modelling framework. *Water Research*, 171, 115372. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115372

Joo, S., Choi, H. S. ve Lee, J. H. (2015). Aerodynamic characteristics of two-bladed H-Darrieus at various solidities and rotating speeds. *Energy*, 90, 439-451. https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.051

Jung, C., Schindler, D., Buchholz, A. ve Laible, J. (2017). Global Gust Climate Evaluation and Its Influence on Wind Turbines. *Energies*, 10(10), 1474. https://doi.org/10.3390/en10101474

Kalair, A. R., Seyedmahmoudian, M., Saleem, M. S., Abas, N., Rauf, S. ve Stojcevski, A. (2022). A Comparative Thermal Performance Assessment of Various Solar Collectors for Domestic Water Heating. *International Journal of Photoenergy*, 9536772. https://doi.org/10.1155/2022/9536772

Kamble, A. D., Das, D. ve Kalita, P. (2024). Designing an absorber for solar photovoltaic thermal systems: a heat pipe approach and comparative evaluation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1372(1), 012022. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1372/1/012022

Khan, M. A., Asif, M. ve Stach, E. (2017). Rooftop PV Potential in the Residential Sector of the Kingdom of Saudi Arabia. *Buildings*, 7(2), 46. https://doi.org/10.3390/buildings7020046

Khudadad, A. K., Saleh, F. A. ve Kasim, N. K. (2022). Photovoltaic/Thermal (PV/T) System Direct Contact Type: A Review. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 26(5), 53-67. https://doi.org/10.31272/jeasd.26.5.5

Kumar, P. M., Sivalingam, K., Lim, T. C., Ramakrishna, S. ve He, W. (2019). Strategies for Enhancing the Low Wind Speed Performance of H-Darrieus Wind Turbine—Part 1. *Clean Technologies*, 1(1), 185-204. https://doi.org/10.3390/cleantechnol1010013

Kumar, P. M., Surya, M. M. R., Srikanth, N. ve Lim, T. C. (2018). Experimental and numerical investigation of novel Savonius wind turbine. *Wind Engineering*, 43(3), 247-262. https://doi.org/10.1177/0309524x18780392

Kurian, J. ve Karthi, L. (2023). Building integrated photovoltaics-an overview. *Sustainability Agri Food and Environmental Research*, 10. https://doi.org/10.7770/safer-v10n1-art2495

Kusumawardhana, A., Zlatanović, L., Bosch, A. ve van der Hoek, J. P. (2021). Microbiological Health Risk Assessment of Water Conservation Strategies: A Case Study in Amsterdam. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2595. https://doi.org/10.3390/ijerph18052595

Leite, V. (2022). Design of a smart microgrid with small-scale hydro generation: a practical case study. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. https://doi.org/10.17533/udea.redin.20220577

Li, J., Liu, J., You, Y. ve Zhang, A. (2022). Research Progress on Energy Conversion Efficiency of Wind Turbine. *Highlights in Science Engineering and Technology*, 3, 182-193. https://doi.org/10.54097/hset.v3i.706

Liu, Z., Zhang, L. ve Carrasco, J. (2020). Vibration analysis for large-scale wind turbine blade bearing fault detection with an empirical wavelet thresholding method. *Renewable Energy*, 146, 99-110. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.094

Marchwiński, J. (2022). Research on BIPV in Office and Public Utility Buildings in Aesthetic and Utility Context. *Sustainability*, 15(1), 136. https://doi.org/10.3390/su15010136

Mellor, A., Guarracino, I., Ferre Llin, L., Alonso-Álvarez, D., Riverola, A., Thoms, S., Paul, D. J., Markides, C. N., Chemisana, D., Maier, S. A. ve Ekins-Daukes, N. (2016). Specially designed solar cells for hybrid photovoltaic-thermal generators. *IEEE PVSC*. https://doi.org/10.1109/pvsc.2016.7750203

Mesloub, A., Ghosh, A., Touahmia, M., Albaqawy, G. A. ve diğ. (2020). Performance Analysis of Photovoltaic Integrated Shading Devices (PVSDs) and Semi-Transparent Photovoltaic (STPV) Devices Retrofitted to a Prototype Office Building in a Hot Desert Climate. *Sustainability*, 12(23), 10145. https://doi.org/10.3390/su122310145

Mirzaeian, H., Ghobadian, B. ve Mirhosseini, M. (2025). Performance Analysis and Optimization of Dual-Row Vertical Axis Wind Turbines With Innovative Hybrid Blades. *Energy Science & Engineering*, 13(6), 3171-3184. https://doi.org/10.1002/ese3.70095

Mo, W., Zhang, G., Yao, X., Li, Q. ve DeBacker, B. J. (2024). Assessment of Passive Solar Heating Systems' Energy-Saving Potential across Varied Climatic Conditions: The Development of the Passive Solar Heating Indicator (PSHI). *Buildings*, 14(5), 1364. https://doi.org/10.3390/buildings14051364

Mohamed, N. S. S., Sulaiman, S. I. ve Rahim, S. R. A. (2022). Design of ground-mounted grid-connected photovoltaic system with bifacial modules using PVsyst software. *Journal of Physics: Conference Series*, 2312(1), 012058. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2312/1/012058

Mortel, C. M., Serrano, N. L. ve Decena, J. G. G. (2020). Optimization of Straight-bladed Darrieus type vertical axis wind blade for low wind speed. *E3S Web of Conferences*, 211, 02008. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021102008

Mostafaeipour, A., Rezaei, M., Jahangiri, M. ve Qolipour, M. (2019). Feasibility analysis of a new tree-shaped wind turbine for urban application: A case study. *Energy & Environment*, 31(7), 1230-1256. https://doi.org/10.1177/0958305x19888878

Mujahid, M., Rafai, A., Imran, M., Saggu, M. H. ve Rahman, N. A. A. (2021). Design Optimization and Analysis of Rotor Blade for Horizontal-Axis Wind Turbine Using Q-Blade Software. *Pakistan Journal of Scientific & Industrial Research Series A: Physical Sciences*, 64(1), 65-75. https://doi.org/10.52763/pjsir.phys.sci.64.1.2021.65.75

Nualboonrueng, T., Tuenpusa, P., Ueda, Y. ve Akisawa, A. (2012). The performance of PV-T systems for residential application in Bangkok. *Progress in Photovoltaics*, 21(5), 1204-1213. https://doi.org/10.1002/pip.2181

Obong'o, B. O., Ogutu, F. O., Hurley, S. K., Okiko, G. ve Mahony, J. (2024). Exploring the Microbial Ecology of Water in Sub-Saharan Africa and the Potential of Bacteriophages in Water Quality Monitoring and Treatment to Improve Its Safety. *Viruses*, 16(12), 1897. https://doi.org/10.3390/v16121897

Olatunde, T. M., Okwandu, A. C., Akande, D. O. ve Sikhakhane, Z. Q. (2024). Energy efficiency in architecture: Strategies and technologies. *Open Access Research Journal of Multidisciplinary Studies*, 7(2), 031-041. https://doi.org/10.53022/oarjms.2024.7.2.0024

Oneda, T. M. S. ve Ghisi, E. (2025). Analysing the Water–Energy Nexus Considering Rainwater Harvesting in Buildings. *Water*, 17(7), 1037. https://doi.org/10.3390/w17071037

Othman, N. F., Ya'acob, M. E., Lu, L., Jamaluddin, A. H., Mat Su, A. S., Hizam, H., Shamsudin, R. ve Nakasha, J. J. (2023). Advancement in Agriculture Approaches with Agrivoltaics Natural Cooling in Large Scale Solar PV Farms. *Agriculture*, 13(4), 854. https://doi.org/10.3390/agriculture13040854

Öztürk, S., Canver, M., Çadırcı, I. ve Ermiş, M. (2018). All SiC Grid-Connected PV Supply with HF Link MPPT Converter: System Design Methodology and Development of a 20 kHz, 25 kVA Prototype. *Electronics*, 7(6), 85. https://doi.org/10.3390/electronics7060085

Pan, J., Ferreira, C. ve van Zuijlen, A. (2024). Performance analysis of an idealized Darrieus–Savonius combined vertical axis wind turbine. *Wind Energy*, 27(6), 612-627. https://doi.org/10.1002/we.2904

Panão, M. J. N. O., Camelo, S. M. L. ve Gonçalves, H. (2012). Solar Load Ratio and ISO 13790 methodologies: Indirect gains from sunspaces. *Energy and Buildings*, 51, 212-222. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.05.019

Park, J. C., Kim, I. H. ve Jung, H. J. (2019). Feasibility Study of Fluctuating Wind Pressure around High-Rise Buildings as a Potential Energy-Harvesting Source. *Energies*, 12(21), 4032. https://doi.org/10.3390/en12214032

Park, J., Jung, H. J., Lee, S. W. ve Park, J. (2015). A New Building-Integrated Wind Turbine System Utilizing the Building. *Energies*, 8(10), 11846-11870. https://doi.org/10.3390/en81011846

Pietrapertosa, F., Tancredi, M., Giordano, M., Cosmi, C. ve Salvia, M. (2020). How to Prioritize Energy Efficiency Intervention in Municipal Public Buildings to Decrease CO2 Emissions? A Case Study from Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12), 4434. https://doi.org/10.3390/ijerph17124434

Piselli, C., Di Grazia, M. ve Pisello, A. L. (2020). Combined Effect of Outdoor Microclimate Boundary Conditions on Air Conditioning System's Efficiency and Building Energy Demand in Net Zero Energy Settlements. *Sustainability*, 12(15), 6056. https://doi.org/10.3390/su12156056

Pouransari, Z. ve Behzad, M. (2023). Numerical investigation of the aerodynamic performance of a hybrid Darrieus-Savonius wind turbine. *Wind Engineering*, 48(1), 3-14. https://doi.org/10.1177/0309524x231188950

Prozuments, A., Borodiņecs, A., Bebre, G. ve Bajāre, D. (2023). A Review on Trombe Wall Technology Feasibility and Applications. *Sustainability*, 15(5), 3914. https://doi.org/10.3390/su15053914

Rey-Hernández, J. M., Velasco Gómez, E., San José Alonso, J. F., González, A. ve Rey Martínez, F. J. (2018). Energy Analysis at a Near Zero Energy Building. A Case-Study in Spain. *Energies*, 11(4), 857. https://doi.org/10.3390/en11040857

Rey-Hernández, J. M., Velasco Gómez, E., San José Alonso, J. F., González, A., González-González, S. L. ve Rey Martínez, F. J. (2018). Monitoring Data Study of the Performance of Renewable Energy Systems in a Near Zero Energy Building in Spain: A Case Study. *Energies*, 11(11), 2979. https://doi.org/10.3390/en11112979

Riverola, A., Moreno, Á. ve Chemisana, D. (2018). Performance of a dielectric PVT concentrator for building-façade integration. *Optics Express*, 26(18), A892. https://doi.org/10.1364/oe.26.00a892

Sefidgar, Z., Ashrafizadeh, A. ve Arabkoohsar, A. (2023). Techno−Economic Analysis and Multi-Objective Optimization of Cross-Flow Wind Turbines for Smart Building Energy Systems. *Global Challenges*, 7(4). https://doi.org/10.1002/gch2.202200203

Seo, H. ve Suh, J. (2020). Optimal Layout Design according to Potential Assessment of Rooftop Photovoltaic System on Southeast-facing Buildings for Establishing

Green Campus. *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 57(6), 600-608. https://doi.org/10.32390/ksmer.2020.57.6.600

Sezen, S. (2024). Utilization of project support for renewable energy financing in public buildings: A solar carport feasibility example. *International Journal of Energy Studies*, 9(2), 347-367. https://doi.org/10.58559/ijes.1468058

Siddiqi, A. ve Fletcher, S. (2015). Energy Intensity of Water End-Uses. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 2(1), 25-31. https://doi.org/10.1007/s40518-014-0024-3

Srimanickam, B., Vijayalakshmi, M. M. ve Natarajan, E. (2015). Experimental Study of Exergy Analysis on Flat Plate Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Hybrid System. *Applied Mechanics and Materials*, 787, 82-87. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.787.82

Susilo, W., Soenarto, S., Bruri, T. ve Ibadi, H. (2022). Double-stage Savonius and Darrieus wind turbines for urban areas using fiberglass materials. *Journal of Applied Engineering Science*, 20(2), 386-394. https://doi.org/10.5937/jaes0-33297

Tamoor, M., Habib, S., Bhatti, A. R., Butt, A. D., Awan, A. B. ve Ahmed, E. M. (2022). Designing and Energy Estimation of Photovoltaic Energy Generation System and Prediction of Plant Performance with the Variation of Tilt Angle and Interrow Spacing. *Sustainability*, 14(2), 627. https://doi.org/10.3390/su14020627

Tang, C. S., Kogid, M., Alin, J. ve Dollery, B. (2022). Modelling Sectoral Energy Consumption in Malaysia: Assessing the Asymmetric Effects. *Sustainability*, 14(3), 1816. https://doi.org/10.3390/su14031816

Toparlak, E. ve Susam, N. (2023). Yenilenebilir enerji üzerine uygulanan kamu politikalarının teknolojik inovasyon üzerine etkisi: Türkiye ve AB ülkeleri üzerine bir inceleme. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(1), 180-192. https://doi.org/10.25287/ohuiibf.1123186

Toze, S. (2006). Reuse of effluent water—benefits and risks. *Agricultural Water Management*, 80(1-3), 147-159. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.010

Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M., Battisti, R. ve Corrado, A. (2005). Energy, cost and LCA results of PV and hybrid PV/T solar systems. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 13(3), 235-250. https://doi.org/10.1002/pip.590

Tsionas, I., Llaguno-Munitxa, M., Stephan, A., Gambale, A., Srikumar, S. K. R. ve Mosca, G. (2024). Review of the environmental effects of deploying small wind turbines in cities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1363(1), 012104. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1363/1/012104

Umilia, E. ve Santoso, E. B. (2019). Economical valuation for measuring renewable energy efficiency as the implementation of smart city concept at Surabaya City.

IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 340(1), 012019. https://doi.org/10.1088/1755-1315/340/1/012019

Ung, S. K., Chong, W. T., Mat, S., Ng, J. H., Kok, Y. H. ve Wong, K. H. (2022). Investigation into the Aerodynamic Performance of a Vertical Axis Wind Turbine with Endplate Design. *Energies*, 15(19), 6925. https://doi.org/10.3390/en15196925

Ustaoğlu, A., Okajima, J., Zhang, X. R. ve Maruyama, S. (2015). Performance evaluation of a nonimaging solar concentrator in terms of optical and thermal characteristics. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 35(2), 553-564. https://doi.org/10.1002/ep.12236

Vinokurov, M., Grönman, K., Hammo, S., Soukka, R. ve Luoranen, M. (2019). Integrating Energy Efficiency into the Municipal Procurement Process of Buildings—Whose Responsibility?. *Buildings*, 9(2), 45. https://doi.org/10.3390/buildings9020045

Waideman, M. A., Teixeira, V. P., Uemura, E. H., Stamford, T. M. ve Averaldo, D. (2020). Enterococci used as complementary indicator of fecal contamination to assess water quality from public schools in the city of Curitiba, Paraná, Brazil. *Brazilian Journal of Food Technology*. https://doi.org/10.1590/1981-6723.15519

Yannopoulos, S., Giannopoulou, I. ve Kaiafa-Saropoulou, M. (2019). Investigation of the Current Situation and Prospects for the Development of Rainwater Harvesting as a Tool to Confront Water Scarcity Worldwide. *Water*, 11(10), 2168. https://doi.org/10.3390/w11102168

Yazdi, M. H., Solomin, E., Fudholi, A., Divandari, G., Sopian, K. ve Chong, P. L. (2021). Thermal Performance of Nanofluid Flow Inside Evacuated Tube Solar Collector. *International Journal of Heat and Technology*, 39(4). https://doi.org/10.18280/ijht.390424

Yıldırım, E. B. ve Şenol, Z. (2024). Finansal Gelişme ile Yenilenebilir Enerji Tüketimi Arasındaki İlişki. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 7(1), 12-29. https://doi.org/10.59445/ijephss.1375840

Yılmaz, S. ve Sungur, C. (2020). Kamu Binalarında Mevcut Aydınlatma Elemanlarının LED Aydınlatma Elemanlarına Dönüştürülmesi ile Elde Edilecek Elektrik Enerjisi Tasarrufunun Belirlenmesi. *European Journal of Science and Technology*. https://doi.org/10.31590/ejosat.804281

You, R. ve Chai, J. (2022). A Novel Synchronous Type Variable Speed Wind Turbine and Its Control Strategy Study. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 17(6), 807-815. https://doi.org/10.1002/tee.23570

Zadeh, S. M., Lombardi, D. R., Hunt, D. V. L. ve Rogers, C. D. F. (2010). Local area greywater symbiosis approach to a more sustainable urban water management. *WIT Press*. https://doi.org/10.2495/sw100181

Zdeb, M., Zamorska, J., Papciak, D. ve Skwarczyńska, A. (2021). Investigation of Microbiological Quality Changes of Roof-Harvested Rainwater Stored in the Tanks. *Resources*, 10(10), 103. https://doi.org/10.3390/resources10100103

Zhao, J., Liu, D. ve Lu, S. (2022). Research on the Indoor Thermal Environment of Attached Sunspace Passive Solar Heating System Based on Zero-State Response Control Strategy. *Applied Sciences*, 12(2), 855. https://doi.org/10.3390/app12020855

ÖZGEÇMİŞ

Sena Zeliha TAŞKAN

senassuzer@gmail.com

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2023-2026	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans 2013-2018	Çankaya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Makine Mühendisi 2021-Devam Ediyor	Konyaaltı Belediyesi, Antalya
Makine Mühendisi 2020-2021	Melsis Elektrik Elektronik Limited Şirketi , Ankara
Makine Mühendisi 2019-2020	Edora- Geze Otomatik Kapı Sistemleri, Ankara

ESERLER

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- Suzer S.Z., Bucaklı M., Gungor A. (2024). The Importance of Treatment Systems in Combating Water Pollution. 5. International Conference on Technology and Science. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

2- Suzer S.Z., Bucaklı M., Gungor A. (2024). The Importance of Smart Water Management Systems in the Adaptation Process to Climate Change. 5. International Conference on Technology and Science. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

3- Suzer S.Z., Bucaklı M., Gungor A. (2024). The Role of Rainwater Harvesting in Reducing the Water Footprint. 5. International Conference on Technology and Science. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)