



Güneş enerjisi santrallerinde yağmur suyu hasadı

Rainwater harvesting in solar power plant

Seçil Uysal¹ , Melih Soner Çeliktas^{2,*} 

^{1,2} Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir, Türkiye

Öz

Bu çalışmada yağmur suyu hasadı hakkında bilgi verilerek, güneş enerjisi santrallerinde uygulanabilirliği senaryolar eşliğinde değerlendirilmiştir. Yağmur suyu hasadının güneş panelleri üzerinde yapılarak, toplanan suyun panel temizliğinde kullanılması hedeflenmektedir. Bu amaçla Türkiye'deki en büyük alana sahip güneş enerjisi santrali seçilerek panel alanlarına düşen yıllık yağış miktarı hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda güneş enerjisi santrallerinin su tüketiminin ne kadarının yağmur suyundan karşılanabileceği 3 farklı senaryo eşliğinde değerlendirilmiştir. Baz Senaryoda temizlik için gereken su miktarını karşılama oranı her gün temizlik yapılması durumunda yaklaşık %76 oranındadır. Bu oran Senaryo 1'de %59, Senaryo 2'de %42 ve Senaryo 3'de %29'ye düşmektedir.

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik sistemler, Güneş enerji santralleri, Yağmur hasadı, Yenilenebilir enerji, Sürdürülebilir kalkınma hedefleri

1 Giriş

Su, çevresel ve ekonomik açıdan son derece önemli bir kaynaktır. Temiz ve güvenilir suya sahip olmak ise içinde bulunduğumuz zaman diliminde gelişmekte olan ülkeler için büyük yatırımlar anlamına gelmektedir. Ülkelerin su kaynaklarına sahip olması doğrudan ekonomilerini etkilemektedir. Endüstri 4.0 kavramı ve beraberinde gelen dijitalleşmenin hayatımıza girdiği şu zamanda özellikle kimyasal ve biyolojik kirlenme sadece bizi değil, kullanmakta olduğumuz sulara nüfuz ederek tüm varlığımızı tehdit etmektedir. Su temini yöntemlerinin çoğunda enerji tüketimi oldukça yüksek olup, Dünya'daki enerji tüketiminin yaklaşık %10'unu kapsamaktadır [1-4].

Su, alternatifi olmayan bir kaynak olması sebebiyle ülkelerin karşılıklı ilişkilerinde stratejik öneme sahip bir yer tutmaktadır. Dünya'da ve Türkiye'de kullanılabilir su kaynaklarının nüfus artışı ve buna bağlı olarak su tüketiminin artması ile azaldığı görülmektedir. Ayrıca sanayi ve tarımda üretimin artması su tüketimini körüklemektedir.

Dünya sağlık örgütüne göre kişi başı su tüketimi 2 ile 4 litre arasında değişirken yine bir kişinin tükettiği gıda üretimi için harcanan su miktarı günlük ortalama 2 ile 5 ton arasında değişmektedir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın 2015 raporuna göre dünyada 1,4 milyar km³ su bulunuyor. Bu suyun %2.5 tatlı ve %97.5'i tuzlu sudan oluşmaktadır. Tatlı suların da %69.5'i kutuplarda buzul

Abstract

Information about rainwater harvesting was given and its applicability in solar power plants was evaluated with scenarios. Rainwater harvesting is done on solar panels, and it is aimed at using the collected water for panel cleaning. For this purpose, the annual precipitation falling on the panel areas was calculated by choosing the solar power plant with the largest area in Turkey. As a result of the study, how much of the water consumption of the solar power plants can be met from rainwater was evaluated with 3 different scenarios. In the Base Scenario, the coverage rate for the amount of water required for cleaning is approximately 76% if cleaning is carried out daily. This rate drops to 59% in Scenario 1, 42% in Scenario 2 and 29% in Scenario 3.

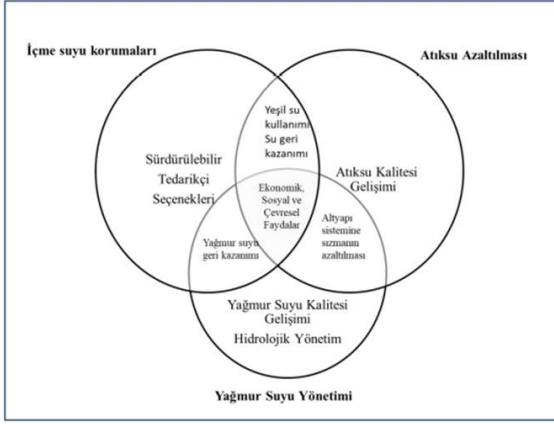
Keywords: Photovoltaic systems, Solar power plant, Rainwater harvesting, Renewable energy, Sustainable development goals

olarak; %30.1'i yer altında; %0.4'lük kısmı ise yüzey ve atmosfer sularını oluşturmaktadır. Dolayısı ile insanlığın rahatça ulaşabileceği ve temel ihtiyaçlarını karşılayabileceği su, toplam suyun %0.4'ü kadardır. BM Genel Kurulu'nun 2015 yılında aldığı kararda, güvenilir ve temiz içme suyu ile sanitasyona ulaşımının bir "insan hakkı" teşkil ettiği vurgulanan raporda, 2015 rakamlarına göre yeryüzünden 10 kişi içinde 3 kişinin (2.1 milyar) güvenilir içme suyuna ulaşmadığı ifade edilmektedir [6, 7]. Su tüketiminin her geçen gün artmasıyla birlikte yapılan projeksiyon çalışmalarında 2050 yılından sonra yılın en az 1 ayı 5.7 milyar insanın su sıkıntısı çekeceği öngörülmektedir [8].

Sürdürülebilir kalkınma amaçları doğrultusunda su kaynakları yönetiminin doğru planlanması ve kullanılabilir suya erişimin uygulanabilir çözümlerle sağlanması gerekmektedir. Sürdürülebilir su yönetim sistemi Şekil 1'de gösterildiği üzere içme suyunun kalitesini ve miktarını korumayı amaçlayan içme suyu tasarrufu, atık su minimizasyonu ve yağmur suyu yönetimini kapsamaktadır.

Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) tarafından hazırlanan 17 maddelik 'Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları' programı iklim değişikliği, ekonomik eşitsizlik, sürdürülebilir tüketim, barış ve adalet, gezegenin korunması gibi çözüm bekleyen konuları içermektedir. Tüm bu konular birbirlerini tamamlayıcı niteliklere sahip, gelecek nesillerin kaynaklarının korunması konusunda doğru adımların

atılması için yol gösterici niteliktedir. Yağmur suyu hasadı çalışmaları Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (Şekil 2) içerisinde 6. Madde kapsamında desteklenmektedir [9–16].



Şekil 1. Kentsel su döngüsünün bütünleşik yönetimi [5].



Şekil 2. Sürdürülebilir kalkınma amaçları [17]–[21].

Son yıllarda güneş enerjisi sistemleri (ağırlıklı olarak) elektrik ve ısı üretiminde yoğun olarak kullanılmaktadır [22]. Güneş enerjisi santrallerinde performans, PV (fotovoltaik) modüllerinin dönüşüm verimliliği, meteorolojik etkiler, kirlilik, PV eğim açısı, PV hücre sıcaklığı gibi faktörlerden etkilenmektedir. Araştırmacıların panel verimini artıracak yönde çalışmalara odaklanmasının yanında çeşitli sebeplerle düşen panel verimliliğinin geri kazanılması da önemli bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır [23–25]. Bu çerçevede karşılaşılan en büyük problem PV panel camı üzerinde biriken toz ve partikül kirliliği olarak ifade edilebilir [26,27]. PV modülün cam yüzeyine yerleşen toz ve kir ışık iletimini azaltacağı için PV verimi olumsuz etkilenmektedir [28]. Gerçekleştirilen bir çalışmada PV panel yüzeyindeki tozlanma ve kirliliğin verim üzerinde %15 ve üstü bir kayba neden olduğu raporlanmaktadır [29]. Kirliliği oluşturan malzemenin partikül çapının artması ışık iletiminin azalması ile doğru orantılıdır [30]. Ayrıca, hava koşulları, eğim açısı, kirlenme, PV hücre sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve nem gibi faktörler PV modül performansını dolayısı ile sistemden elde edilen güç miktarını olumsuz şekilde etkilemektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda yağmur suyunun PV paneller üzerindeki etkisi incelenmiş ve kısmen verimlilik üzerinde olumlu olduğu gözlemlenmiştir [31–34].

Güneş enerjisi santrallerinde belirli periyotlar ile temizlik yapılmasının performansını etkilediği görülmektedir [30]. Bu sebeple PV yüzeylerin temizliğinde kullanılan suyun

sürdürülebilir olmasının yanında, elde edilen yağmur suyunun santral içerisinde bulunması muhtemel toprak alanların sulanarak tozumanın önüne geçilmesi olanakları göz önünde bulundurulduğunda çalışma kaynak ve işletme verimliliğine olumlu katkı sağlamaktadır.

Türkiye su azlığı yaşayan ülke konumundadır. Devlet Su İşleri'nin su potansiyeli hesapları incelendiğinde Türkiye kişi başına yıllık 1652 m³ su potansiyeline sahiptir. Yapılan öngörü çalışmalarında 2030 yılı için Türkiye nüfusu 100 milyona ulaşacak ve su tüketimi kişi başına yıllık 1120 m³'e düşerek su sıkıntısı yaşayan ülkeler sınıfında yer alacaktır [21].

Tüm canlılar için hayati önem taşıyan su, artan tüketim miktarı, iklim değişikliği, bilinçsiz tüketim gibi sebeplerle su döngüsünü olağan şartlarda tamamlamadığından su kıtlığı konusu gündeme gelmektedir. Sınırlı olan tatlı su kaynaklarının verimli kullanılması su kıtlığı konusunda alınacak önlemlerin başında gelmektedir. Bunun yanı sıra tatlı su eldesi ile ilgili çalışmalar yapılmakta olup, en başında deniz suyundan elde etme çalışmaları gelmektedir. Deniz suyundan tatlı su eldesi gerek maliyet gerekse işletme zorlukları sebebiyle henüz yeterince yaygınlaşmamıştır. Su çevriminin bir parçası olan yağmur suyunun kontrollü bir şekilde biriktirilmesiyle tatlı su eldesi bilinen en kolay yöntemdir. Özellikle son yıllarda teknolojinin ilerlemesine bağlı olarak yağmur suyu hasadına yönelik yatırımların arttığı görülmektedir [35, 36].

Yağmur suyu hasadı tarihin bilinen en eski su tedarik yöntemlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır [37, 38]. Teknolojik ilerlemelerle birlikte gelişen yağmur suyu hasat yöntemleri çoğu ülke tarafından gerek çevre gerekse iklim değişikliğinin yarattığı baskıyı hafifletmek adına yatırım yapılan alanlardan biri haline gelmektedir [39–41].

Bu çalışmanın amacı panel temizlikleri için su tüketiminin yağmur sularından karşılanarak ekonomik ve çevreci bir yaklaşımın değerlendirilmesidir. Güneş Enerjisi Santrallerinde bulunan panellerin yüzey ve eğimlerinin yağmur suyu hasadına uygun olması bu çalışmanın uygulanabilirliği açısından önemlidir. Panellerin düzenli olarak temizlenmesi de üretim verimini artıracaktır.

Türkiye'de güneş enerjisi santrallerinde yağmur suyu hasadı potansiyeli ortaya çıkarmak amacıyla hesaplama ve pilot çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada Konya'da bulunan Türkiye'nin en büyük Güneş Enerjisi Santrali'nde yağmur suyu hasadı yapılması ve toplanan suyun kullanımı ele alınmıştır. Toplanan yağmur sularının kullanımı, panel temizliği amacıyla su tüketimine bağlı olarak farklı senaryolar eşliğinde değerlendirilmiştir. Yağmur suyu hasadı yapılacak alanın büyük olması sebebiyle toplanan fazla suyun aynı zamanda tozumu önleme amaçlı arazi sulama ve işletme binalarında kullanılabilirliği tartışılmıştır.

2 Materyal ve metod

Bu makalede, Konya ilimizde bulunan ve en büyük kurulu güce sahip Güneş Enerjisi Santrali dikkate alınmış olup, en büyük santralin meteorolojik ve fiziksel verileri kullanılarak örnek hesaplama gerçekleştirilecektir. İlgili sistemde yağmur suyu hasadı hesaplanacak panellerden elde edilen yağmur suyu ile temizlenmesinin değerlendirilmesi

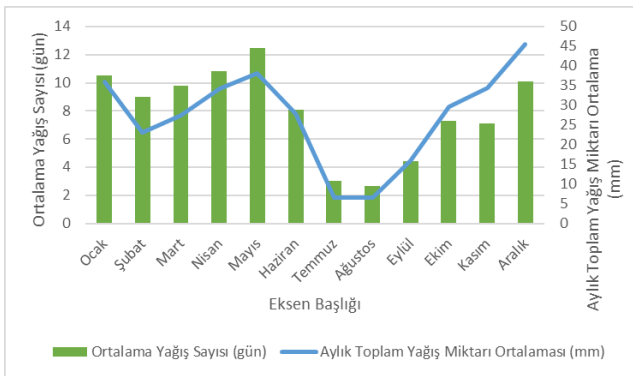
yapılmıştır. Böylece Güneş Enerjisi Santrallerinde kullanılan su tüketiminin azaltımı değerlendirilmiştir. Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirmesi [69] dosyasından temin edilen PV modül bilgileri Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Konya ilinde bulunan en büyük GES’in özellikleri

Proje Kapasitesi	1.348 MWp
PV Modül Sayısı	3.378.890 adet
PV Modül Alanı	6.862.165 m ²
Yapısal hata payı	% 10
Temizlenecek Alan	22.645.143,8 m ² /yıl
Su Tüketimi (Baz Senaryo)	3.86 m ³ /MWp
Yıllık Toplam Su Tüketimi	15.600 m ³

Türkiye’nin en büyük Güneş Enerjisi Santrali Konya Karapınar’da bulunmakta olup, 3.378.890 PV panelle, yaklaşık 19.2 km² alana kurulumu tamamlanacaktır. Kurulumu tamamlandığında toplam kapasitesi 1348 MWp olacak santralin, 2019 yılında mobilizasyon çalışmaları, Mart 2020’de ise inşaat faaliyetlerine başlanmıştır. İnşaat faaliyetlerinin Ağustos 2023 tarihine kadar devam etmesi öngörülmekle birlikte Eylül 2020’de ilk Güneş modülleri devreye alınmıştır. Santral Mayıs 2021’den beri 700.000 adet panel ve 271 MWp güç ile çalışmaktadır [49].

Güneş panelleri alanlarına Güneş Enerjisi Santralinin Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirmesi [69] dosyasından erişilmiş olup, panellerin planlanan yıkama sıklıkları, tüketilecek su miktarları ile ilgili bilgiler Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirmesi [69] dosyasından temin edilmiştir. Bu bilgilere ek olarak alana düşen yağmur miktarı bulunmuştur. Bu veriler için Meteoroloji Genel Müdürlüğü veri bankası kullanılmış olup Konya ili sınırlarında 1991-2020 yılları arasındaki periyodik yağışlı gün ve yağış ortalaması bilgileri Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. (1991-2020) Konya iline ait yağışlı gün sayısı ve yağış miktarı ortalaması (mm)[55]

2.1 Güneş enerjisi santralleri güç hesaplamaları

Günümüzde birçok güneş santrali ya iyi tasarlanmadığı ya da iyi işletilmediği için verimsiz çalışmaktadır. Bu santrallerin verimliliklerini artırmak ve elde edilen güç miktarını iyileştirmek için periyodik bir şekilde panel temizliği, termal izleme, gölge ölçümü, kış şartlarında kar

yükünün kaldırılması, sistem bilgilerine uzaktan erişim ve müdahale, kırık panellerin kontrolü, kabloların çevresel etkilerden ve kemirgenlerden korunması gibi birçok parametre takip edilmelidir. Hesaplamalarda kullanılan değişkenler ve denklemleri şu şekilde verilebilir,

Güç parametresine etki eden değişkenler Denklem (1)’de verilmektedir. Güneş paneli verimliliğine etki eden parametreler Denklem (2)’de ve Temizlenmiş veya temiz bir modülün aldığı ışınım ise Denklem (3)’de verilmektedir.

$$P = I_p V_p \quad (1)$$

Burada, P, Gücü (W), I_p akım değerini (A) ve V_p Voltaj (V) değerini ifade etmektedir.

$$\eta = \frac{V_p I_p}{I_t A_{pv}} 100\% \quad (2)$$

Burada, η (%) güneş paneli verimini, A_{pv} (m²) panel alanını, I_t (W/m²), toplam güneş ışınımını ifade etmektedir.

$$I_{pv} = I_{doğrudan} \cos\phi + I_{difüz} \quad (3)$$

Burada, I_{pv} (W/m²), panele gelen ışınım değerini, I_d (W/m²) doğrudan gelen ışınım değerini, ve I_{difüz} (W/m²) ise Difüz ışınım değerini ifade etmektedir.

2.2 Yağmur suyu hasadı hesaplamaları

Yağmur suyu tutma sistemleri veya hasadı konusunda birçok kılavuz ve Standard yayımlanmıştır [42, 43]. Ayrıca farklı model ve yaklaşımlarda geliştirilmiştir [44-47]. Yağmur suyu hasadıyla elde edilecek su miktarı hesaplanırken, çatı katsayısı (bu çalışma için pv yüzeyi kabul edilmiştir), filtre etkinlik katsayısı, konuma ait yağış miktarları ve hasadın yapılacağı toplama alanı gibi bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Yağmur suyu hasadı doğal çevre parametreleri ve yapay çevre parametrelerinden etkilenmektedir.

Yağmur suyu hasadında yüzeye düşen yağışın tamamının depolanması mümkün değildir. Bu durum fiziksel ve yapay çevre parametreleri ile açıklanabilir. Fiziksel çevre parametreleri; doğal etmenlerle meydana gelir ve insan eliyle herhangi bir şekilde değiştirilemez. Bölgesel iklim özelliklerine göre bu parametreler yağış miktarı, süresi, sıklığı ile rüzgâr yönü ve hızıdır. Yapay çevre parametreleri ise tasarım ve imar yönetmelikleri kapsamında yapıyı inşa eden kişiler tarafından, yapının inşa edileceği çevrenin özellikleri dikkate alınarak belirlenen kararlardır. Bunlar; çatıların yönelimi, çatı formu ve su toplama alanı, eğim oranı, saçaklar, yağmur olukları ve çatı kaplama malzemeleridir [48]. Çatı etkinlik katsayısı yağmur suyunun toplanacağı yüzeyin cinsine göre değişmekte olup, tüm malzemeler için dış ortam koşulları eşit olduğu varsayımıyla, su emme oranı, pürüzlülük, yıpranmışlık gibi durumlara göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışma için ilgili sabitler içerisinde PV yüzeyi için ‘cam’ sabiti kullanılmıştır. Filtre etkinlik katsayısı ise, yüzeyden toplanacak yağmur suyunun, görünen katı maddelerden ayrıştırılması için geçirilecek olan ilk filtrenin verimlilik katsayısıdır. Bu verimlilik katsayısı

yağmur suyunun filtreden geçmesi sırasında yaşanan kayıp göz önüne alınarak belirlenmektedir.

Yağmur suyu miktarı hesabı **Denklem 4**'e göre hesaplanmıştır:

$$\sum YSM = A \cdot m \cdot c_s \cdot c_f \cdot q \quad (4)$$

Burada PV yüzey alanı (A), üretici firmanın çevresel ve sosyal etki değerlendirmesi [69] dosyasından alınmıştır. Yağış miktarı m (mm/m³) ile gösterilmiştir. Çatı (yüzey) etkinlik katsayısı (c_s), cam yüzey dikkate alınarak 0-9 olarak belirlenmiştir. Filtre etkinlik katsayısı (c_f), toplanan yağmur suyunun görünen katı partiküllerden ayrıştırılması için geçirilen filtrenin verimlilik katsayısı olarak bilinmektedir ve bu çalışma için 0.9 olarak kabul edilmiştir. Kayıp katsayısı (q) bu çalışma için 0.8 olarak kabul edilmiştir [70,71].

2.3 Senaryo analizi

Gerçekleştirilen çalışmada fotovoltaik panellerin temizlenmesi için baz senaryonun yanında 3 farklı senaryo oluşturulmuştur. Hesaplamalar yapılırken toplanan su miktarının mevcut MWp kapasitesi ve birim MWp başına m³ olarak kullanılacak su miktarları farklı senaryolarla hesaplanarak oranlanmıştır. Baz senaryo firmanın su tüketimini (kendi içinde çelişkiler içerse de) Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirmesi [69] dosyası kapsamında sunmuş olduğu MWp başına tüketilecek su miktarı olan 3.86 m³ olarak kabul edilmiştir. Diğer senaryolar için seçilen 5, 7 ve 10 m³ değerleri ise şu an temizlik için kullanılan cihazların teknolojik durumu dikkate alınarak oluşturulmuştur.

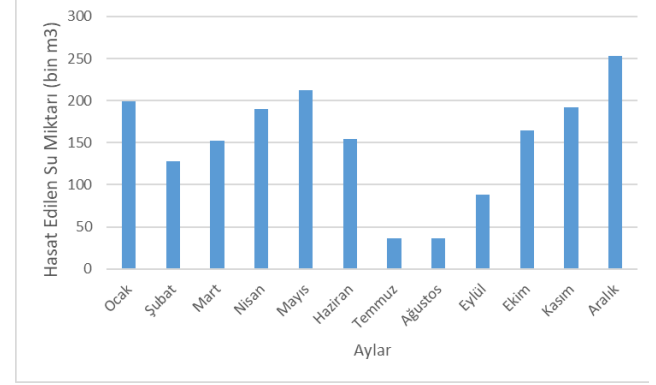
Senaryo analizlerinde MWp başına kullanılacak su miktarları değiştirilerek yağmur suyu hasadı ile toplanan su miktarı ile değerlendirilmiştir (**Şekil 5**).

3 Bulgular ve tartışma

Gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda yağmur suyu hasadı miktarı güneş enerjisi santrali için aylık ortalama 121 bin m³ olarak hesaplanmıştır. Fakat yağış rejimi aydan aya farklılık gösterdiğinden hesaplamaların aylık olarak dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle ilgili bölgenin yaz aylarında daha az yağış alması ve tozların sebep olduğu kirlilikten kaynaklanan asıl ihtiyacında yaz aylarında ortaya çıkması sebebiyle bir optimizasyona ihtiyaç duyulmaktadır (**Şekil 4**). Bu nedenle 3 ayda bir yapılacak periyodik temizliklerin yağış durumuna göre planlanması, depolarda yağmur suyunu bekletecek uygun koşulların sağlanması, yağışın az olduğu dönemlerde toprak yollarda oluşacak tozumu önlemek amacıyla sulama çalışmaları gibi optimizasyon çalışmaları yapılmalıdır.

Yağmur hasadı ile elde edilen suların depolanması ile su ihtiyacının yoğunlaştığı dönemlerdeki temizleme problemlerine çözüm üretilebileceği bilinmektedir. Kurulu güç ve MWp dikkate alınarak yapılan hesapta ve yağmur hasadı ile elde edilen sular için üç farklı senaryo analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizler baz senaryo olarak ifade edilen ilgili firmanın Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirmesi [69] dosyası kapsamında sunmuş olduğu MWp başına tüketilecek su miktarı olan 3.86 m³ olarak

kabulünden yola çıkılarak oluşturulmuştur. Bu kapsamda, hazırlanan senaryolarda MWp başına tüketilecek su miktarları piyasa koşullarında var olan sistemlerin tükettiği su miktarlarına göre tesis edilmiştir (**Şekil 5**).



Şekil 4. Hasat edilen su miktarı (bin m³)

Baz Senaryoda temizlik için gereken su miktarını karşılama oranı her gün temizlik yapılması durumunda yaklaşık %76 oranındadır. Bu oran Senaryo 1'de %59, Senaryo 2'de %42 ve Senaryo 3'de %29'ye düşmektedir. Elde edilen bu oranlar her gün temizlik yapılması durumunda geçerli olan oranlardır. Her gün temizlik yapılması ekonomik açıdan olduğu gibi teknik açıdan da oldukça maliyetli ve zordur. Yağışın bol olduğu mevsim koşullarında gerekli değildir. Firmanın Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirmesi [69] raporunda öngördüğü temizlik için gerekli su miktarı yağmur suyu hasadı ile rahatlıkla karşılanabileceği gibi temizlik periyodunun artırılması da söz konusu olabilmektedir. Yağmur suyunun hasadı ve depolanması için gerekli yatırımların yapılması ile güneş panellerinden elde edilecek güç veriminde %5 ile 7 arasında bir iyileşme söz konusudur. Bu çalışma kapsamında ele alınmış olmasa da ilgili yatırım için maliyet analizi yapıldığında verim iyileşmesine bağlı olarak çok kısa sürede geri dönüş yapacağı görülmektedir.

Temiz su tüm dünya için risk altında bulunan çağın en önemli kaynağı olarak görülmektedir. Yağmur suyu hasadı en umut verici alternatif su kaynaklarından biridir [56]. Gerçekleştirilen çalışma kapsamında ülkemizin mevcut durumda en büyük güneş enerjisi santralının bulunduğu Konya ili hesaplamalara dahil edilmiştir. Bu çalışma tüm bölge ve illerde bulunan tesisler için ayrı ayrı hesaplanarak uygulanabilirliği değerlendirilebilir. Türkiye'de yağmur suyu hasadı ile ilgili yönetmelikler bulunmakta olup, yapıların çatı sistemlerinden yağmur suyu toplanması ile ilgili usul ve esasları içermektedir [57,58]. Ancak güneş enerjisi santrallerinin yüzey alanlarının kurulu güçle de doğru orantılı olarak çatı sistemlerinden daha geniş olması toplanacak su miktarını artırmaktadır. Henüz ilgili yönetmeliklerin güneş enerjisi santrallerinden yağmur suyu hasadı yapılmasını yasal zorunluluklar çerçevesinde ele almamış olması bu sistemin yaygınlaşmasının önündeki direnç olarak kabul edilebilir.

Gerçekleştirilen çalışmada ortaya çıkan su toplama miktarı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü

tarafından yayınlanan “Konya ili 2019 yılı çevre durum raporu” içerisinde 32.000.000 m³ su tutma kapasitesi belirtilen Altınapa barajının yaklaşık %4.5’lik kısmına karşılık gelmektedir [59]. Bu miktar aynı zamanda ülkemizdeki tüm elektrik santrallerinin soğutmasında kullanılan su miktarının %1’ne karşılık gelmektedir [60]. Çalışma sınırları seçilen bölgenin yağış verimi ve kullanım senaryoları eşliğinde belirlenerek, pompa ve güç hesabı ile ilgili hesaplamalar çalışmaya dahil edilmemiştir. Toplanan yağmur suyunun kullanımı için gerekli olan pompa gücü ve enerji talebi ile işletme maliyeti hesaplanabilecektir. Sesli vd. [61]. tarafından yapılan çalışma ile yağmur suyu kullanılarak damla sulama sisteminin kurulması ve enerji ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanması için kurulan sistemin tasarım, ekipman ve maliyet analizi yapılmıştır.

Şevik ve Aktaş [62], gerçekleştirdikleri çalışmada 600 kW gücündeki bir güneş enerjisi tesisinde yağmur suyu hasadı, pv temizliği, kar yükünün performans etkisi gibi incelemelerde bulunmuşlardır. Araştırma bulgularında bir senelik kirliliğin %5.66’lık bir güç kaybına sebep olduğu ortaya konulmuştur. Sadece yağmur suyunun herhangi bir ilave temizleme olmaksızın güce etkisinin %0.94 ile sınırlı kaldığı görülmüştür. Pilot ölçekte yapılan su hasadı çalışması ile 118 m³/yıl su toplanmış ve tesisin tamamına uygulandığında 1646 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Burada elde edilen bulguların lokasyon özellikleri dikkate alındığında gerçekleştirilen bu çalışma tutarlı olduğu görülmektedir.

Karar destek sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar ile yağmur suyu toplama sistemlerinde optimum tank boyutunun belirlenmesi önemli bir adım olarak görülmektedir [63,64]. Optimum koşulların belirlenmesi için ilgili lokasyona özel deneysel çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Amos vd. [37], Avustralya ve Kenya örnekleri üzerinden gerçekleştirdikleri çalışmalarında çatı üstü yağmur suyu hasadının özellikle Birleşmiş Milletler Kalkınma hedeflerinden 3 ana başlığa hizmet ettiğini ifade etmişlerdir. Bu başlıklar “Sağlık ve kaliteli yaşam”, “Sürdürülebilir şehirler ve topluluklar” ve “Yoksulluğa son” şeklindedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada ise bunlara ilaveten “Erişilebilir ve temiz enerji” ve “Temiz su ve sanitasyon” başlıklarına katkı yaptığı görülmektedir.

İklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkileri artık tüm dünya tarafından bilinen bir gerçek haline gelmiştir [66,67]. Artan nüfus ve buna bağlı enerji, su ve gıda taleplerinin artmasıyla birlikte geliştirilen alternatiflerden biri olan agrivoltaik kavramı, artan yapılaşma sebebiyle yaşanan arazi temini sıkıntısının da önüne geçmeyi hedeflemektedir. Agrivoltaik sistemler güneş panellerinin tarım arazileri üzerine kurularak arazilerin birden fazla amaçla kullanılabilirliği sağlanmaktadır. Agrivoltaik sistemler sayesinde güneş panellerinin altında yetişen bitkilerin sulanma süresi uzamaktadır. Yağmur suyu hasadından elde edilen su, yıkamanın yanı sıra agrivoltaik sistemlerde de sulama amaçlı kullanılabilir. Ayrıca güneş panelleri altında bitkilerin sulanması ile oluşan nemlilik panellerin aşırı ısınmasının önüne geçerek verim artışı sağlamaktadır. Bu karşılıklılık esasına dayanan (mutualist) sisteme yağmur

suyu hasadının eklenmesiyle sistem maliyet ve kaynak kullanımında daha verimli hale gelerek süreklilik kazanacaktır [68]. Bu sebeple agrivoltaik sistemlerde de panellerden yağmur suyu hasadı yapılması faydalı olabilecektir.

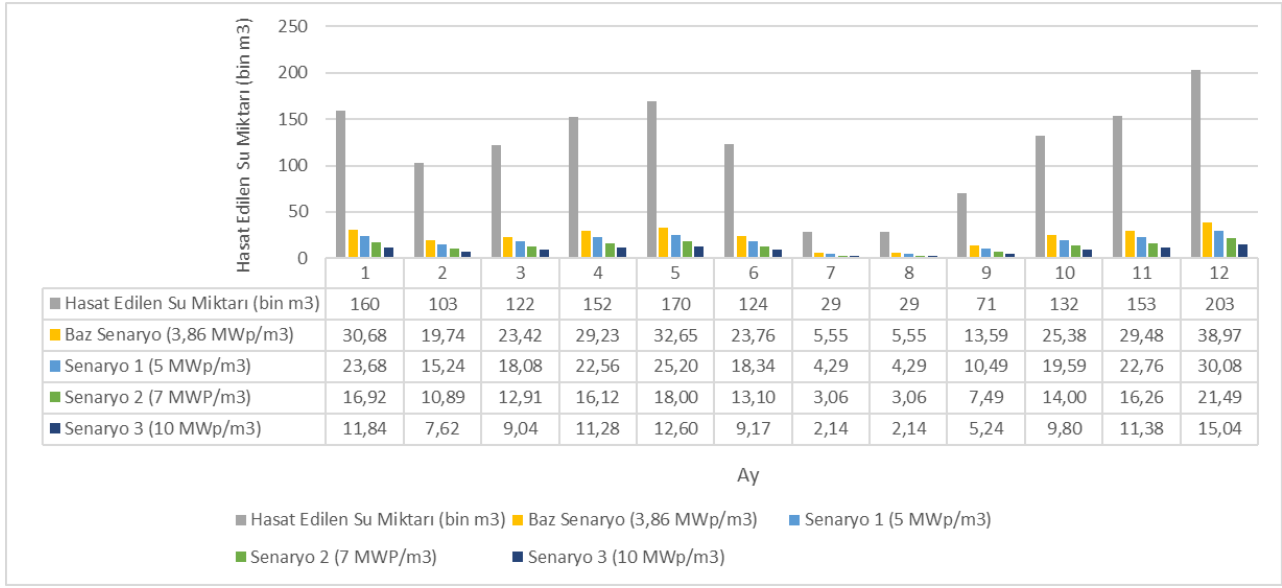
4 Sonuçlar

TEİAŞ Eylül 2021 kurulu güç raporuna göre Türkiye’de GES potansiyeli 8151 adet ve 7534.3 MW olarak belirlenmiştir [49,65]. Türkiye’nin Güneş Enerjisi potansiyelinin yüksek olması ve başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak tercih edilmesi Güneş Enerjisi Santrallerinde yağmur hasadını kullanılabılır kılmaktadır. Dünya’daki toplam PV kurulu güç kapasitesi yaklaşık 700 GW olarak belirlenmiştir. GES kurulu bölgesine göre uygun yağış miktarlarında bu sistemin uygulanmasıyla Dünya çapında büyük ölçüde su tasarrufu sağlanabilir [51,52].

Güneş panelleri üzerine düşen yağış, panel sisteminde bulunan eğimli yüzey aracılığıyla sisteme eklenecek yağmur suyu toplama kanallarına iletilerek, depo sistemine taşınacaktır. Mevcut güneş paneli sistemlerine eklenecek toplama kanalları tek bir hat üzerinden depo sistemine bağlanacaktır. Yağmur suyu ile depoya taşınabilecek materyallerin engellenmesi için depo girişinde basit filtre kullanılması uygun olacaktır. Ayrıca mevsimsel şartlar göz önünde bulundurularak, kış aylarında gerçekleştirilecek muhtemel donmaya karşı depo yalıtılabilir.

Bu sistemin kurulmasının en büyük kazanımının su tasarrufu olmasının yanında, su taşınımında maliyet azaltımı, kırsal alanlarda kurulan GES’ler için su temini konusunda yaşanabilecek olası sorunların önüne geçmesi konularında da fayda sağlamaktadır. Ayrıca yıkama suyu için şebeke çekilmeyen GES bölgelerine suyun tankerlerle taşınması durumu söz konusudur. Tankerlerle suyun taşınması sırasında oluşacak egzoz gazlarının önüne geçilecek karbon ayak izinin azaltılmasında da fayda sağlayacaktır.

Yapılan bazı çalışmalarda günlük panel temizliğinin yaklaşık verimi %5 civarında artırıldığı görülmektedir [62]. GES PV Modül temizliği için yıllık toplam su tüketimi 15600 m³ olup, toplanan yağmur suyu (1447 bin m³/yıl) yaklaşık olarak bu değerın 93 katıdır. Toplanan su yıkama ve toz önleme amacıyla kullanılabilir. Kuru günlerde tesis çevresindeki toprak zeminin rüzgâr etkisiyle tozuma oluşturmasını ve panellerin kirlenmesini önlemek amacıyla zemin sulanarak tozuma önleme çalışmaları gerçekleştirilebilir. Bunların dışında toplanan su ilgili arıtma yöntemleri uygulanarak tesis içerisindeki işletme binalarına kullanma suyu olarak iletilebilir. Özellikle su kaynağı konusunda sıkıntı çeken bölgeler için, toplanan yağmur suları ağaçlandırma ve tarım çalışmalarını destekleyecektir. İklim değişikliği için alınan önlemler kapsamında karbon azaltımı konularında yenilenebilir enerjinin kullanılmasının yanı sıra karbon yutakları oluşturulması da oldukça önemlidir. Bu sebeple orman alanlarının oluşturulması çalışmalarında Güneş enerjisi santrallerinde yağmur suyu hasadı yapılarak elde edilen su kullanılabilir.



Şekil 5. PV panel temizleme senaryo analizi: Hasat edilen suyun günlük karşılama oranı

Bu sistemin GES'ler üzerinde uygulanmasıyla birlikte yenilenebilir kaynaklar ile elde edilen enerjinin tamamen çevreci ve sürdürülebilir olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, özellikle çatı üstü kurulumlardan elde edilen suyun ekonomik olarak kurum içerisinde kullanılmasına yönelik araştırma çalışmalarına da ağırlık verilmesi gerilmektedir [37, 53, 54].

GES'lerde panel temizliği yapılırken panel yüzeyinde leke oluşmaması için herhangi bir kimyasal veya temizleyici kullanılmamaktadır [72,73,74]. Temizlik sırasında panel yüzeyinden akan su topraktan süzülerek yeraltı sularına karışacaktır. Bu sebeple suyun olağan döngüsünde değişiklik olmayacaktır.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %11

Kaynaklar

- [1] R. Şengür-Taşdemir, ve İ. Koyuncu, Membran Teknolojileri ile Alternatif Su Temini: Desalinasyon ve Atıksu Geri Kazanımı, Sürdürülebilir Çevre Dergisi, 1(1), 18–30, 2021.
- [2] S. Sekin, Dünya Tatlı Su Rezervlerinin Coğrafi Dağılımı, Marmara Coğrafya Dergisi, 1, 247–256, 2013.
- [3] A. Boretti and L. Rosa, Reassessing the projections of the World Water Development Report, npj Clean Water, 2(15), 2019, <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>
- [4] M.S. Çelikleş, G. Sonlu, S. Özgel, Y. Atalay, Endüstriyel Devrimin Son Sürümünde Mühendisliğin Yol Haritası, 56 (662), 24–34, 2015.
- [5] N. Saygin and P. Ulusoy, Stormwater Management and Green Infrastructure Techniques for Sustainable Campus Design, Journal of Polytechnic, 14 (3), 223–231, 2011, <https://doi:10.2339/2011.14.3>

- [6] United Nations, United Nations Climate Change Summit 2019, 2019 Retrieved from <http://sdg.iisd.org/events/un-2019-climate-summit/>
- [7] WWP (United Nations World Water Assessment Programme). 2015. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris, UNESCO. Retrieved from <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1711Water%20for%20a%20Sustainable%20World.pdf>
- [8] TSKB, Dünya su haftasında sürdürülebilir kalkınmada suyun önemine dikkat çekiyor, 2021 Retrieved From <https://www.tskb.com.tr>
- [9] L. Zgheib, N. Karam, and N. Farajalla, SDGs and water management in the MENA region: A comparative analysis of Jordan, Lebanon and Tunisia, Orient, 61(1), 2020.
- [10] R. R. Weerasooriya, et al., Industrial water conservation by water footprint and sustainable development goals: a review, Environment, Development and Sustainability, 23(9), 2021, <https://doi:10.1007/s10668-020-01184-0>
- [11] M. Berger et al., Advancing the Water Footprint into an Instrument to Support Achieving the SDGs–Recommendations from the “Water as a Global Resources” Research Initiative (GRoW), Water Resources Management, 35 (4), 2021, <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02784-9>
- [12] R. Bain, R. Johnston, and T. Slaymaker, Drinking water quality and the SDGs, npj Clean Water, 3(1), 2020, <https://doi:10.1038/s41545-020-00085-z>
- [13] D. Cheng et al., Inclusive wealth index measuring sustainable development potentials for Chinese cities, Global Environment Change, 72, 2022, <https://doi:10.1016/j.gloenvcha.2021.102417>
- [14] G. Halkos and G. Argyropoulou, Using environmental indicators in performance evaluation of sustainable

- development health goals, *Ecological Economics*, 192, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107263>
- [15] L. Quinlivan, D. V. Chapman, and T. Sullivan, Validating citizen science monitoring of ambient water quality for the United Nations sustainable development goals, *Science of the Total Environment*, 699, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134255>
- [16] G. Mersin, and M.S. Çeliktas, Integration of Renewable Energy Systems. In: Fathi, M., Zio, E., Pardalos, P.M. (eds) *Handbook of Smart Energy Systems*. Springer, Cham. 2022, https://doi.org/10.1007/978-3-030-72322-4_93-1
- [17] United Nations Development Programme, World Energy Assessment. Energy and the challenge of Sustainability. UNDP, 2000. Retrieved From <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>
- [18] “Sustainable Development Goals, SDGs,” 2021. Retrieved From <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- [19] UNDP, “UNDP Strategic Plan, 2018-2021,” Exec. Board United Nations Dev. Program. United Nations Popul. Fund United Nations Off. Proj. Serv., vol. 18438, no. October 2017, 2017.
- [20] S. Dağdeviren, Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Türkiye’de Çevre Politikaları, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı İktisat Yüksek Lisans Programı, Türkiye, 2019.
- [21] UNDP, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Nelerdir?, 2022, Retrieved From <https://turkiye.un.org/tr/sdgs>
- [22] B. Maurya, Global Overview of Large-Scale Photovoltaic System and Its Electrical Energy Storage Implementation, in *Smart Innovation, Systems and Technologies*, (239), 2022, https://doi.org/10.1007/978-981-16-2857-3_16
- [23] F. Kaya, G. Şahin, and M. H. Alma, Investigation effects of environmental and operating factors on PV panel efficiency using by multivariate linear regression, *International Journal of Energy Research*, 45(1). 554-567, 2020, <https://doi.org/10.1002/er.5717>
- [24] R. Stropnik and U. Stritih, Increasing the efficiency of PV panel with the use of PCM, *Renewable Energy*, 97, 671-679, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.06.011>
- [25] S. K. Marudai pillai, B. Karuppudayar Ramaraj, R. K. Kottala, and M. Lakshmanan, Experimental study on thermal management and performance improvement of solar PV panel cooling using form stable phase change material, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. 45(1), 160-177, 2023 <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.18064092020>
- [26] W. Liu, C. Liu, Y. Lin, L. Ma, F. Xiong, and J. Li, Ultra-short-term forecast of photovoltaic output power under fog and haze weather, *Energies*, 11(3), 528, 2018, <https://doi.org/10.3390/en11030528>
- [27] S. Lasfar et al., Study of the influence of dust deposits on photovoltaic solar panels: Case of Nouakchott, *Energy for Sustainable Development*, 63, 7-15, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.05.002>
- [28] E. Şen ve M. S. Çeliktas, A Review of PV Cooling and Thermal Energy Storage In PV/T Systems Based Phase Change Materials, *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(1), 55-76, 2022, <https://doi.org/10.20854/bujse.1071145>
- [29] J. K. Kaldellis and A. Kokala, Quantifying the decrease of the photovoltaic panels’ energy yield due to phenomena of natural air pollution disposal, *Energy*, 35 (12), 4862-4869, 2010, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.09.002>
- [30] D. Thevenard, Review and recommendations for improving the modelling of building integrated photovoltaic systems, in *IBPSA 2005 - International Building Performance Simulation Association 2005*, 2005.
- [31] C. Del Pero, N. Aste, and F. Leonforte, The effect of rain on photovoltaic systems, *Renewable Energy*, 179, 1803-1814, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.130>
- [32] E. G. Luque, F. Antonanzas-Torres, and R. Escobar, Effect of soiling in bifacial PV modules and cleaning schedule optimization, *Energy Conversion and Management*, vol. 174, 615-625, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.08.065>
- [33] W. T. Chong et al., Performance assessment of a hybrid solar-wind-rain eco-roof system for buildings, *Energy and Buildings*, 127, 1028-1042, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.065>
- [34] R. Appels et al., Effect of soiling on photovoltaic modules, *Solar Energy*, 96, 283-291, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.07.017>
- [35] M. Yalılı Kılıç ve M. N. Abuş, Bahçeli Bir Konut Örneğinde Yağmur Suyu Hasadı, *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilim. Derg.*, 4(2), 209-215, 2018, <https://doi.org/10.24180/ijaws.426795>
- [36] A. Campisano et al., Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives, *Water Research*, 115, 195-209, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>
- [37] C. C. Amos, A. Rahman, and J. M. Gathenya, Economic analysis and feasibility of rainwater harvesting systems in urban and peri-urban environments: A Review of the Global Situation with a Special Focus on Australia and Kenya, *Water (Switzerland)*, 8(4), 149, 2016, <https://doi.org/10.3390/w8040149>
- [38] R. A. AbdelKhaleq and I. Alhaj Ahmed, Rainwater harvesting in ancient civilizations in Jordan, *Water Supply*, 7(1), 85-93, 2007, <https://doi.org/10.2166/ws.2007.010>
- [39] Y. Gao et al., Thermal performance improvement of a horizontal ground-coupled heat exchanger by rainwater harvest, *Energy and Building*, 110, 302-313, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.10.030>
- [40] E. Kucukkaya, A. Kelesoglu, H. Gunaydin, G. A. Kilic, and U. Unver, Design of a passive rainwater harvesting system with green building approach, *International*

- Journal of Sustainable Energy, 40(2), 175-187, 2021, <https://doi:10.1080/14786451.2020.1801681>
- [41] T. Abbasi and S. A. Abbasi, Sources of pollution in rooftop rainwater harvesting systems and their control, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(23), 2097-2167, 2011, <https://doi:10.1080/10643389.2010.497438>
- [42] M. A. Alim, A. Rahman, Z. Tao, B. Samali, M. M. Khan, and S. Shirin, Suitability of roof harvested rainwater for potential potable water production: A scoping review, *Journal of Cleaner Production*, 248, 2020, <https://doi:10.1016/j.jclepro.2019.119226>
- [43] C. M. Silva, V. Sousa, and N. V. Carvalho, Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: Application to single-family residences, *Resources, Conservation and Recycling*, 94, 21-34, 2015, <https://doi:10.1016/j.resconrec.2014.11.004>
- [44] D. J. Sample and J. Liu, Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture, *Journal of Cleaner Production*, 75, 174-194, 2014, <https://doi:10.1016/j.jclepro.2014.03.075>
- [45] Y. R. Chiu, C. H. Liaw, and L. C. Chen, Optimizing rainwater harvesting systems as an innovative approach to saving energy in hilly communities, *Renewable Energy*, 34(3), 492-498, 2009, <https://doi:10.1016/j.renene.2008.06.016>
- [46] M. Semaan, S. D. Day, M. Garvin, N. Ramakrishnan, and A. Pearce, Optimal sizing of rainwater harvesting systems for domestic water usages: A systematic literature review, *Resources, Conservation and Recycling*, 6, 2020, <https://doi:10.1016/j.rcrx.2020.100033>
- [47] D. Roman, A. Braga, N. Shetty, and P. Culligan, Design and modeling of an adaptively controlled rainwater harvesting system, *Water (Switzerland)*, 9(12), 974, 2017, <https://doi:10.3390/w9120974>
- [48] Z. Ö. Bektaş, İ., Dinçer ve A. Parlak Biçer, Değişen İklim Koşullarında Çatı Kaplama Malzemelerinin Verimliliğinin İncelenmesi – Safranbolu Örneği, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 33(3), 35–53, 2017, Retrieved From <https://dergipark.org.tr/tr/pub/erciyesfen/issue/35954/403437>
- [49] TEIAS, “Kurulu güç raporları,” 2021, Retrieved From <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari>
- [50] U. Şahin, Forecasting of Turkey’s electricity generation and CO2 emissions in estimating capacity factor, *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 38(1), 56-65, 2019, <https://doi:10.1002/ep.13076>
- [51] IRENA, Innovative Operation of Pumped Hydropower Storage Innovation Landscape Brief, International Renewable Energy Agency, 2020, Retrieved From https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Innovative_PHS_operation_2020.pdf
- [52] A. Jäger-Waldau, Snapshot of photovoltaics - March 2021, *EPJ Photovoltaics*, 12, 2, 2021, <https://doi:10.1051/epjpv/2021002>
- [53] C. Matos, I. Bentes, C. Santos, M. Imteaz, and S. Pereira, Economic Analysis of a Rainwater Harvesting System in a Commercial Building, *Water Resources Management*, 29(11), 3971–3986, 2015, <https://doi:10.1007/s11269-015-1040-9>
- [54] P. E. Abas and T. M. I. Mahlia, Techno-economic and sensitivity analysis of rainwater harvesting system as alternative water source, *Sustainability*, 11(8), 2365, 2019, <https://doi:10.3390/su11082365>
- [55] T.C. Çevre, Şehircilik Ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021 Retrieved From <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H>
- [56] C. M. Silva, V. Sousa ve N. V. Carvalho, Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: Application to single-family residences, *Resources, Conservation and Recycling*, 94, 21-34, 2015, <https://doi:10.1016/j.resconrec.2014.11.004>
- [57] RG, Resmi Gazete (2017). Yağmursuyu toplama, depolama ve deşarj sistemleri hakkında yönetmelik, 30105 sayılı, 23 Haziran 2017.
- [58] RG, Resmi Gazete (2021). Planlı alanlar imar yönetmeliğinde değişiklik Yapılmasına dair yönetmelik, 31538 Sayılı, 11 Temmuz 2021.
- [59] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Konya ili 2019 yılı çevre durum raporu, 2019 Retrieved From https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/2019_cdr_konya-20200722143120.pdf
- [60] B. El-Khozondar, ve M. Köksal, Elektrik Üretiminde Su Tüketimi ve Co₂ Salımı İlişkisi, VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, Hava Kirlenmesi Araştırmaları ve Denetimi Türk Milli Komitesi, Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 1-3 Kasım 2017-Antalya
- [61] E. Sesli ve diğerleri, Yağmur Suyu Kullanan Güneş Enerjili Damla Sulama Sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2019
- [62] S. Şevik ve A. Aktaş, Performance enhancing and improvement studies in a 600 kW solar photovoltaic (PV) power plant; manual and natural cleaning, rainwater harvesting and the snow load removal on the PV arrays, *Renewable Energy*, 181, 490-503, 2022, <https://doi:10.1016/j.renene.2021.09.064>
- [63] C. R. Fonseca, V. Hidalgo, C. Díaz-Delgado, A. Y. Vilchis-Francés, and I. Gallego Design of optimal tank size for rainwater harvesting systems through use of a web application and geo-referenced rainfall patterns. *Journal of Cleaner Production*, 145, 323-335, 2017 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.057>
- [64] V. A. R. Lopes, G. F. Marques, F. Dornelles and J. Medellin-Azuara, Performance of rainwater harvesting systems under scenarios of non-potable water demand and roof area typologies using a stochastic approach. *Journal of Cleaner Production*, 148, 304-313, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.132>
- [65] C. Ozay ve M. S. Celiktas, Stochastic optimization energy and reserve scheduling model application for alaçatı, Turkey, *Smart Energy*, 3, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100045>

- [66] B. Helmreich and H. Horn, Opportunities in rainwater harvesting, *Desalination*, 248(1–3), 118-124, 2009 <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.046>
- [67] K. O. Odhiambo, B. T. Iro Ong’Or, and E. K. Kanda, Optimization of rainwater harvesting system design for smallholder irrigation farmers in Kenya: A review. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 70(4), 483-492, 2021, <https://doi.org/10.2166/aqua.2021.087>
- [68] A. E. Coşgun, Türkiye’de 50MW Üstü GES Üretimi Gerçekleştiren Şehirlerimizde Agrivoltaic Sistem Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 711-718. 2021, <http://doi.org/10.29137/umagd.892391>
- [69] Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirmesi, 2022, Retrieved From <https://kalyonpv.com/documents/Cevresel-ve-Sosyal-Etki-Degerlendirmesi.pdf>
- [70] İ. Bektaş ve diğerleri, Değişen İklim Koşullarında Çatı Kaplama Malzemelerinin Verimliliğinin İncelenmesi–Safranbolu Örneği, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 33(3), 35-53, 2017. Retrieved From <https://dergipark.org.tr/tr/pub/erciyesfen/issue/35954/403437>
- [71] S. Temizkan ve M. Tuna Kayılı, Yağmur Suyu Toplama Sistemlerinde Optimum Depolama Yönteminin Belirlenmesi: Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezi Örneği, *El-Cezeri*, 8(1), 102-116, 2021, <http://doi.org/10.31202/ecjse.778973>
- [72] A. Erat, Fotovoltaik panel yüzey temizliği için akıllı sistem tasarımı, *Doktora Tezi*, Necmettin Erbakan Üniversitesi, 2018.
- [73] M. Eker, Y. Avşar, ve A. Fenercioğlu, FV Panel Temizliği için Doğrusal Motor ve Mekanizma Tasarımı, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(3), 570-578, <http://doi.org/10.35414/akufemu.bid.890076>
- [74] D. Deb and N.L. Brahmhatt, Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water-free automated cleaning solution, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3306-3313, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.014>

