

at
ik

Aralık 2024
Cilt: 1, Sayı: 2

December 2024
Volume:1, Issue: 2



ATMOSFER VE İKLİM DERGİSİ

JOURNAL OF ATMOSPHERE AND CLIMATE

atik @ Dergipark



İTÜ



ATMOSFER VE İKLİM DERGİSİ

ATİK

JOURNAL OF ATMOSPHERE AND CLIMATE

Aralık 2024, Cilt:1, Sayı:2
December 2024, Volume:1, Issue:2
e-ISSN: 3023-8560

DERGİ KURULLARI

BAŞ EDİTÖR

Ahmet ÖZTOPAL, Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye

YARDIMCI EDİTÖR

Ceyhan KAHYA, Dr. Öğretim Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye

EDİTÖR VE DANIŞMA KURULU

Ahmet Duran ŞAHİN, Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
Ali Ümran KÖMÜŞÇÜ, Prof. Dr., Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Türkiye
Ali TOKAY, Prof. Dr., University of Maryland, Amerika Birleşik Devletleri
Hasan TATLI, Prof. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Türkiye
Ömer Lütfi ŞEN, Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
Selahattin İNCECİK, Prof. Dr., Nükleer Düzenleme Kurulu, Türkiye

DERGİ KURULU

Ahmet ÖZTOPAL, Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
Ceyhan KAHYA, Dr. Öğretim Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye

DİL EDİTÖRÜ

Ceyhan KAHYA, Dr. Öğretim Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye

MİZANPAJ EDİTÖRÜ

Abdurrahman DURMAZ, Araş. Gör., İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye

SEKRETER

Sena Çağla APAYDIN, Mühendis, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye

İÇİNDEKİLER

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN EN UYGUN ALANIN BELİRLENMESİ, PERFORMANS VE EKONOMİK ANALİZİ: BAĞIRGANLI MAHALLESİ ÖRNEĞİ - Araştırma Makalesi <i>Sena Ecem Yakut Şevik, Simge Karapınar, Sıla Sever, Ayşegül Biçe, Enes Murat Çakma, Beyza Karabey, Ahmet Duran Şahin</i>	59
TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE KÜRESEL SALINIMLARIN OLASI MAKSİMUM YAĞIŞ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ - Araştırma Makalesi <i>Ömer Oğuzhan Arabacı, Sevinç Asilhan Sırdaş</i>	78
TÜRKİYE'NİN YAKIN KIYILARI ÜZERİNDEKİ RÜZGAR POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ - Araştırma Makalesi <i>Melek Akın</i>	94
YAĞIŞ HÜCRESİ TESPİT VE TAKİBİNDE ANVİL VE TİTAN UYGULAMALARININ KARŞILAŞTIRILMALI ANALİZİ - Araştırma Makalesi <i>Kurtuluş Öztürk, Alper Çubuk, Esin Oğuz</i>	105
KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SÜRECİNDE İZMİR'DEKİ SICAKLIKLARIN TREND ANALİZİ - Araştırma Makalesi <i>Fatma Ekin Hüner</i>	118

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN EN UYGUN ALANIN BELİRLENMESİ, PERFORMANS VE EKONOMİK ANALİZİ: BAĞIRGANLI MAHALLESİ ÖRNEĞİ

Sena Ecem Yakut Şevik^{ID}, Simge Karapınar^{ID}, Sıla Sever^{ID}, Ayşegül Biçer^{ID}, Enes Murat Çakmak^{ID}, Beyza Karabey^{ID}, Ahmet Duran Şahin^{ID}

İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İklim Bilimi ve Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Sürdürülebilir Enerji ve İklim Sistemleri Laboratuvarı
yakuts@itu.edu.tr, karapinars18@itu.edu.tr, severs18@itu.edu.tr, bicera18@itu.edu.tr, cakmeken18@itu.edu.tr, karabey18@itu.edu.tr, sahind@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, güneş enerjisi potansiyeli Türkiye ortalamasının altında olan Kandıra ilçesine (41°04'16.48"K, 30°09'07.60"D) bağlı Bağırğanlı Mahallesi'nde yapılan senaryolar ile ilçenin elektrik üretim potansiyeli değerlendirilmiştir. Mahalle sınırları içerisinde üç farklı uygulama alanı (UA) belirlenmiştir. Farklı eğim açıları, güneş takip sistemleri ve panel türleri (CWT455-144PM-V ve SPR-P5-530-UPP) kullanılarak 24 senaryo geliştirilmiş ve PV*Sol yazılımıyla enerji analizleri yapılmıştır. Yapılan senaryolar sonucunda, en yüksek kurulu gücün 708,9 kWp olduğu ve bunun UA1'de güneş takip sistemli dikey olarak konuşlandırılmış CWT455-144PM-V panellerine ait senaryo olduğu anlaşılmıştır. Yıllık elektrik üretiminin de 1.116.038 kWh ile en fazla bu senaryoda gerçekleştiği görülmüştür. PV*Sol ile yapılan analizler sonucunda Net Bugünkü Değer (NBD), İç Karlılık Oranı (İKO) ve Geri Ödeme Süresi (GÖS) yöntemleriyle yatırımın finansal analizleri yapılmıştır. Finansal analiz, öz sermayeli ve yarı öz sermayeli olmak üzere iki farklı senaryo kapsamında gerçekleştirilmiştir. Ekonomik analiz sonucunda, en karlı yatırımın UA1'de SPR-P5-530-UPP panellerinin 17,74°'lik eğimle dikey yerleştirildiği senaryoda olduğu görülmüştür. Bu senaryoda öz sermaye ve yarı öz sermayeyle yapılan analizlerde sırasıyla NBD 38.518,39\$ ve 38.804,89 \$, İKO ise % 18 ve % 11 olarak hesaplanmıştır. Her iki durumda da hesaplanan İKO değerleri, iskonto oranını aşması nedeniyle yatırımın uygun olduğunu göstermektedir. Öz sermayeyle yapılan yatırımın GÖS'ü 6 yıl iken, yarı öz sermayeyle yapılan yatırımın GÖS'ü 9 yıldır. Güneş Enerjisi Santrali yatırımı için 6 yıllık GÖS'ün daha karlı bir seçenek olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak, doğru konumlandırma stratejileri ve yenilikçi teknolojiler kullanılarak, ortalamanın altında güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgelerde güneş enerjisi sistemlerinden daha yüksek verimle elektrik üretimi sağlanacağı ve dolayısıyla ilçenin enerji ihtiyacının daha sürdürülebilir bir yaklaşımla karşılanabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Fotovoltaik, PV*SOL, Bağırğanlı, Ekonomik Analiz

DETERMINING THE OPTIMAL LOCATION FOR SOLAR POWER PLANTS, PERFORMANCE, AND ECONOMIC ANALYSIS: THE CASE OF BAĞIRGANLI NEIGHBOURHOOD

Abstract

This study aims to evaluate the potential for electricity generation in the Bağırğanlı neighborhood of Kandıra district (41°04'16.48"N, 30°09'07.60"E), where the solar energy potential is below the Turkish average. Three different application areas (AA) were identified within the neighborhood. Additionally, 24 scenarios were developed using different tilt angles, solar tracking systems, and panel types (CWT455-144PM-V and SPR-P5-530-UPP), with energy analyses conducted using PV*Sol software. The highest installed power was 708.9 kWp, achieved with vertically installed CWT455-144PM-V panels using a solar tracking system in AA1. The highest annual electricity production of 1,116,038 kWh was also achieved in this scenario. Financial analyses were carried out using Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period (PBP) methods. Two financing scenarios were considered: equity-financed and semi-equity-financed. The economic analysis results indicated that the most profitable investment was the scenario with SPR-P5-530-UPP panels installed vertically at a 17.74° tilt in AA1. The NPV was calculated as \$38,518.39 and \$38,804.89 for the equity and semi-equity financing scenarios, respectively, with IRRs of 18% and 11%. In both cases, the calculated IRR values exceed the discount rate, indicating that the investment is viable. The PBP for the equity-financed investment was 6 years, while it was 9 years for the semi-equity-financed investment. A 6-year PBP is considered a more profitable option. In conclusion, it is anticipated that by utilizing proper positioning strategies and innovative technologies, higher efficiency in electricity production from solar energy systems can be achieved even in regions with below-average solar energy potential, thereby meeting the district's energy needs in a more sustainable manner.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic, PV*SOL, Bağırğanlı, Economic Analysis

Sorumlu Yazar: Sena Ecem Yakut Şevik

Geliş Tarihi: 28 Nisan 2024

Kabul Tarihi: 29 Ekim 2024

Yayın Tarihi: 31 Aralık 2024

Atıf Şekli: Yakut Şevik, S.E., Karapınar, S., Sever, S., Biçer, A., Çakmak, E.M., Karabey, B., Şahin, A.D. (2024). Güneş Enerjisi Santralleri İçin En Uygun Alanın Belirlenmesi, Performans Ve Ekonomik Analizi: Bağırğanlı Mahallesi Örneği, *Atmosfer ve İklim Dergisi*, 2(1), 59-77.

Makale Tipi: Araştırma Makalesi

e-ISSN: 3023-8560

GİRİŞ

İklim krizi, günümüzün en önemli sorunlarından biridir (Pierrehumbert, 2019). Sanayi Devrimi ile fosil yakıt kullanımı, arazi değişikliği, ormansızlaşma ve sanayileşme artarak sera gazı emisyonlarını artırmış ve küresel ısınmaya yol açmıştır (Dağlı, 2019). Küresel CO₂ emisyonları, 2024 yılında 427 ppm seviyesine ulaşmıştır. Türkiye'de de yıllar içinde hızla artış gösteren sera gazı emisyonları, 2022 yılında 558,3 milyon ton CO₂ eşdeğerine ulaşmıştır (TÜİK, 2024). Dünya genelinde ve Türkiye'de sera gazı emisyonlarının en büyük kaynağı enerji sektörüdür (Ritchie ve Roser, 2020). Enerji üretiminin %80'inin fosil yakıtlarla sağlandığı dünyada, artan nüfus ve gelişen ekonomi ile birlikte enerji ihtiyacının da artacağı öngörülmektedir. Ancak, artan enerji ihtiyacını fosil yakıtlarla karşılamak, iklim krizi açısından sürdürülebilir bir yaklaşım değildir (Karabağ vd., 2021). Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmak önemli çözüm yöntemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Başol, 2021). İklim krizine ek olarak, dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, ülkelerin enerji bağımsızlığı ve güvenliği açısından da büyük önem taşımaktadır (Sadiqa vd., 2018). Enerjide dışa bağımlı olan Türkiye, enerji tüketiminin üçte ikisini ithalat yoluyla karşılamakta ve enerji ithalatları toplam ithalatın yaklaşık dörtte birini oluşturmaktadır. Türkiye'nin enerji politikası, enerji arz güvenliğinin sağlanması ve enerji verimliliğinin artırılması üzerine kuruludur (ETKB, 2024). Bu politikalar doğrultusunda, enerjide dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar artırılmış ve son on yılda bu yatırımlar beş katına çıkarılmıştır (Bulut ve Muratoğlu, 2018; Kayışoğlu ve Diken, 2019). Bu şekilde, hem fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması hem de çevresel hedeflerle uyumlu, sürdürülebilir bir enerji geleceği için sağlam bir temel oluşturulması hedeflenmiştir (Yılankıran vd., 2020).

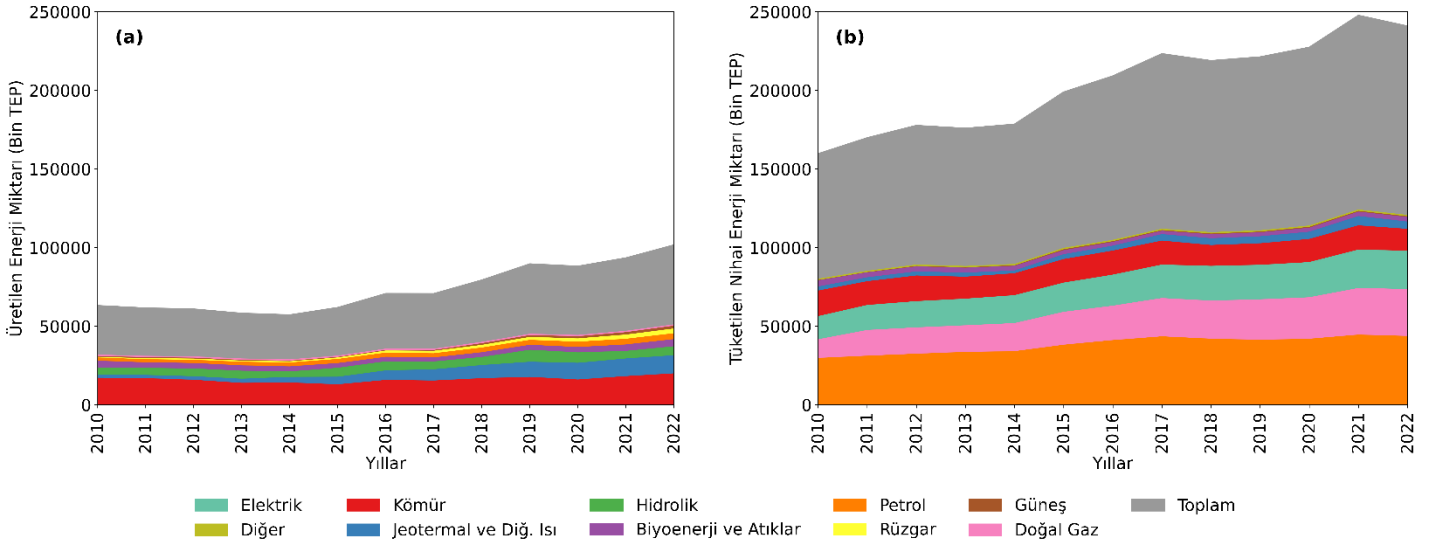
Yenilenebilir enerji, sürekli yenilenen doğal süreçlerden elde edilmektedir. Bu doğal süreçlere doğrudan güneş ışığı, rüzgâr, yağmur, biyokütle ve yerin derinliklerinde üretilen ısı örnek verilebilir. Güneş enerjisi, mevcut potansiyeliyle dünyadaki enerji ihtiyacını fazlasıyla karşılayabilen, çevre dostu ve temiz bir enerji kaynağı olması nedeniyle alternatif enerji kaynakları arasında büyük bir öneme sahiptir (Akpolat vd., 2019). Diğer enerji kaynaklarına kıyasla en önemli avantajlarından biri ise dünyada en hızlı büyüyen enerji teknolojisi olmasıdır (Breyer vd., 2017). Dünya genelinde 2009 yılına kadar güneş enerjisi kullanımına fazla ilgi gösterilmemiş olsa da, son yıllarda bu ilgi giderek artmakta ve 2023 yılında küresel elektrik üretiminin %5,5'ini oluşturmaktadır (Fernández, 2024). Bu artışa özellikle Çin'in 2023 yılında yaklaşık 217 GW fotovoltaik (FV) panel kurması büyük katkı sağlamıştır (Carbon Brief, 2024). Yapılan öngörülere göre, güneş enerjisi kurulu gücünün 2025'in başlarında 2 TW'a ve 2027'nin sonunda ise 3,5 TW'a ulaşacağı; 2050 yılına kadar ise 9 TW'ın üzerinde çıkacağı öngörülmektedir (Acar, 2023; SolarPower Europe, 2023).

Literatürde, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde farklı sektörlerin enerji gereksinimlerini karşılamak amacıyla, çeşitli güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgelerde kurulan güneş enerjisi santrallerine (GES) ilişkin fizibilite çalışmaları yapılmıştır (Dağtekin vd., 2014; Raturi vd., 2016; Rashwan vd., 2017; Akpolat vd., 2019; Gürtürk, 2019; Kwaśniewski vd., 2020). Durmaz vd. (2017) çalışmasında, Turgutlu'da bir FV Güneş Sistemi'nin (FVGS) doğru kurulması ve tarımsal işletmelerin elektrik tüketimine göre yönetilmesi durumunda enerji ihtiyacını karşılamak için uygun bir çözüm olduğunu belirtmiştir. Taktak ve Ilı (2018), Uşak'ta üç alternatif arazi üzerinde ön fizibilite çalışması yapmış ve 24.100 m²lik bir alana kurulacak GES'in 10 yıl içinde kendini amorti edeceğini öngörmüştür. Emiroğlu vd. (2021), Kahramanmaraş'taki off-grid ve on-grid FV enerji sistemlerinin 4-5 yıl içinde elektrik maliyetlerini sıfırladığını ve fazla elektriğin şebekeye verilmesiyle yılda 312 bin TL kâr elde edildiğini belirtmiştir. Ulaş vd. (2023), PV*Sol kullanarak Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi'ne çatı üstü FVGS simülasyonu gerçekleştirmiş ve özellikle yaz aylarında üretilen elektriğin tüketimi karşıladığını gözlemlemiştir. Akpolat vd. (2019), Marmara Üniversitesi fakülte binaları için PV*Sol ile on-grid çatı üstü FVGS simülasyonu yapmış ve sistemin yıllık enerji tüketiminin %13,2'sini karşıladığını hesaplamıştır. Aziz vd. (2020), Bağdat'ta elektrik kesintilerini önlemek amacıyla HOMER yazılımı ile FV mikro şebeke sistemi simülasyonu yapmış ve bu sistemlerin Irak için uygulanabilir olduğunu bulmuştur. Durna vd. (2013) ise İTÜ Maslak Yerleşkesi'nde 500 kWp gücünde bir FV tesisin ön fizibilite çalışmasını gerçekleştirmiş ve yıllık 737,31 MWh elektrik üretimi sağlanacağını öngörmüştür.

Bu çalışmanın gerçekleştirileceği Kandıra ilçesine bağlı Bağıranlı Mahallesi, Türkiye'nin kuzeyinde yer almaktadır. Buna bağlı olarak, Kandıra'nın yıllık ortalama toplam küresel radyasyon değeri (1.312 kWh/m²), Türkiye ortalamasının (1.527 kWh/m²) biraz altında kalmaktadır. Çalışmada, düşük güneş enerjisi potansiyeline sahip bir bölgeden maksimum verimi elde etmek amacıyla hem sabit eğim açılı paneller hem de güneş takibi yapan paneller kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu sayede, Bağıranlı Mahallesi'nin enerji ihtiyacının temiz bir enerji kaynağından karşılanması hedeflenmiştir. PV*Sol kullanılarak yapılan simülasyonlar sonucunda, FV sistemlerinin enerji üretim performansı, ekonomik analizi ve karbon emisyonu çıktıları sunulmuştur. Bağıranlı'daki farklı konumlar temel alınarak gerçekleştirilen simülasyonun uygulama adımlarının ve elde edilen çıktıların benzer çalışmalara rehberlik edebileceği öngörülmektedir.

TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ DURUMU

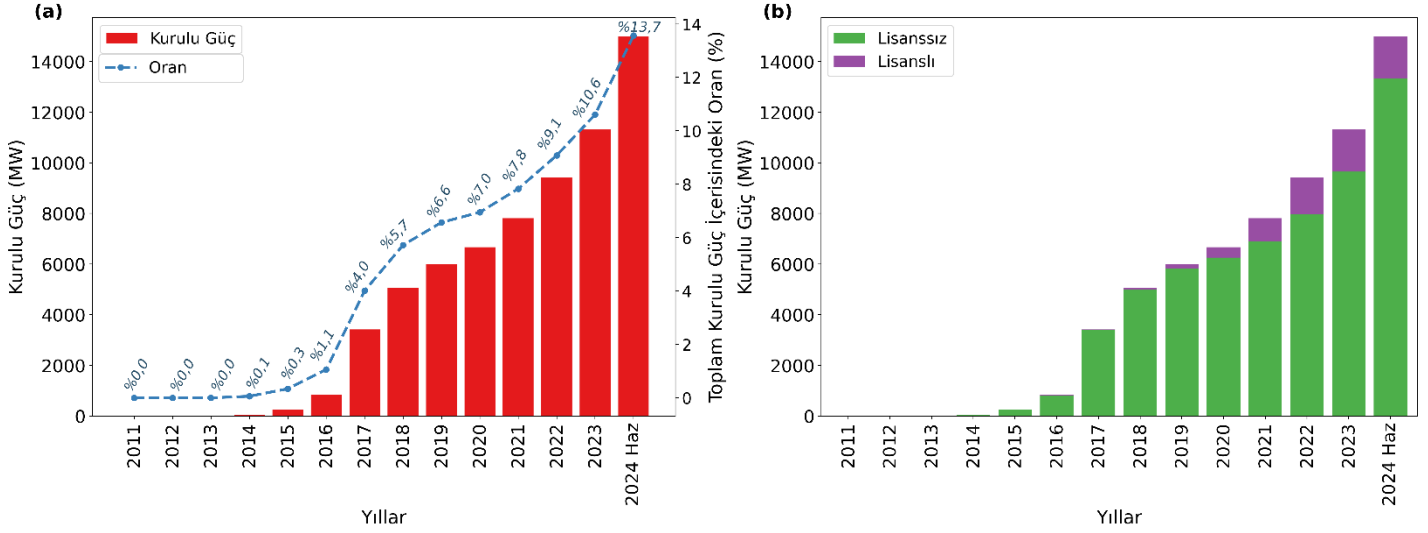
Türkiye, gelişmekte olan bir ekonomik yapıya sahiptir ve bu nedenle, son yıllarda yaşanan hızlı kentsel dönüşüm, olumlu demografik eğilimler, ekonomik büyüme ve kişi başına gelirdeki artış, enerji tüketiminin artmasına yol açmaktadır (Bayraç ve Çemrek, 2022). Bu eğilim devam ederse, ülkedeki enerji tüketiminin önümüzdeki on yıl boyunca yıllık %4 ila %6 arasında artacağı tahmin edilmektedir. Ancak mevcut enerji üretimi, sürekli artan enerji talebini karşılamada yetersiz kalmaktadır. Örneğin, 2022 yılında Türkiye'de çeşitli kaynaklardan üretilen toplam enerji 50.830 bin ton eşdeğer petrol (bin TEP) iken, toplam enerji tüketimi 120.438 bin TEP olmuştur (Şekil 1). Bu durum, Türkiye'yi enerji ithalatçısı konumuna getirerek enerjide dışa bağımlı hale getirmektedir. Bu sorunlar, ülkenin alternatif enerji kaynaklarına yönelmesine ve yenilenebilir enerji kaynaklarına hızlı bir geçiş yapmasına neden olmuştur (Bulut ve Muratoğlu, 2018; Bayraç ve Çemrek, 2022; Balcı, 2023; Kılınç Pala, 2024). Ayrıca, ülkenin topografik özellikleri sayesinde önemli bir rüzgâr ve hidrolik enerji potansiyeline, coğrafi konumu nedeniyle ise yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olması, yenilenebilir enerjiye geçişi kolaylaştırmıştır (Özkaya, 2022).



Şekil 1. Türkiye'de (a) üretilen enerji miktarı (bin TEP) ve (b) tüketilen nihai enerji miktarı (bin TEP).

Türkiye'nin birincil enerji kaynakları kurulu gücü, 2024 yılı Haziran sonu itibarıyla 110.518 MW'a ulaşmış olup, bu kapasitenin yarısından fazlası yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Kurulu güçlerin dağılımı ise %29.1 hidrolik enerji, %22.4 doğal gaz, %19.7 kömür, %13.7 güneş enerjisi, %11.1 rüzgâr enerjisi, %1.5 jeotermal enerji ve %2.4 diğer kaynaklar şeklindedir. Ayrıca, Türk hükümeti yenilenebilir enerji kaynaklarının payını 2035 yılına kadar %64.7'ye çıkarmayı hedeflemektedir. Orta ve uzun vadede, güneş enerjisi kurulu gücünün 52.9 GW, hidroelektrik santrallerinin kurulu gücünün 35.1 GW, rüzgâr enerjisinin 29.6 GW, jeotermal ve biyokütle enerji santrallerinin kurulu güçlerinin ise 5.1 GW'a ulaşacağı öngörülmektedir (ETKB, 2024). Güneş enerjisi kurulu gücü, özellikle son on yılda büyük bir artış göstermiş ve güneş enerjisine yapılan yatırımlar artırılmıştır (Özbektaş vd., 2023). Şekil 2(a)'da verildiği üzere, 2024 yılı Haziran ayında güneş enerjisi kurulu

gücü bir önceki yıla kıyasla 3.677 MW artarak 14.993 MW'a ulaşmış ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı %13.7'ye çıkmıştır. Ayrıca, bu kurulu gücün lisanslı ve lisanssız değerleri Şekil 2(b)'de sunulmaktadır (Çifci & Altundağ, 2017; Akpolat vd., 2019; EPDK, 2023; TEİAŞ, 2023). Bu artışın temel sebepleri arasında güneş radyasyonunun her yerde bulunan bir kaynak olması ve FV sistem fiyatlarının son on yılda %80 düşmesi gösterilmektedir (Väisänen vd., 2019).



Şekil 2. Türkiye'de yıllara göre güneş enerjisi (a) kurulu gücü (MW) ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı (%) ile (b) kurulu gücün lisanslı ve lisanssız değerleri (MW).

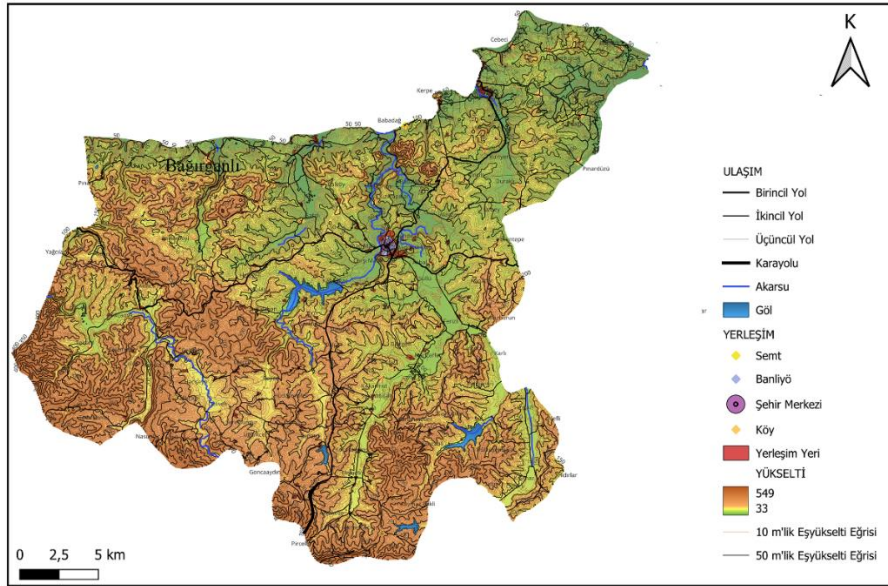
FV güç üretimi, enlem ve gelen güneş radyasyonuna ek olarak hava sıcaklığı, bulutluluk, arazi yüksekliği, albedo, modül eğimi ve konfigürasyonu, gölgelenme ve kirlenme gibi dış etkilere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. 2018 yılında yapılan bir çalışmaya göre, küresel nüfusun yalnızca %20'si FV sistemler için mükemmel koşullara (>4,5 kWh/kWp) sahiptir. Türkiye'nin de aralarında bulunduğu küresel nüfusun %71'i ise FV sistemler için uygun aralıkta (3,5-4,5 kWh/kWp) yer almaktadır. İki yüzden fazla ülke için yapılan küresel FV güç potansiyeli hesaplamasına göre, Türkiye'nin uzun vadede kurulu FV kapasitesi başına üretilen ortalama güç miktarı 4.32 kWh/kWp'tir ve bu miktar ile dünya sıralamasında 97. sırada yer almaktadır (The World Bank, 2020). Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)'na göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam küresel radyasyon değeri 1.527 kWh/m² (günlük 4.2 kWh/m²), ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi ise 2.741 saat (günlük 7.5 saat) olarak belirlenmiştir. Aylar bazında incelendiğinde, en yüksek radyasyon değerlerinin Haziran (6.57 kWh/m²-gün) ve Temmuz (6.50 kWh/m²-gün) aylarında, en düşük radyasyonun ise Aralık (1.59 kWh/m²-gün) ayında gözlemlendiği belirlenmiştir (ETKB, 2024).

MATERYAL ve METOT

Çalışma Alanı

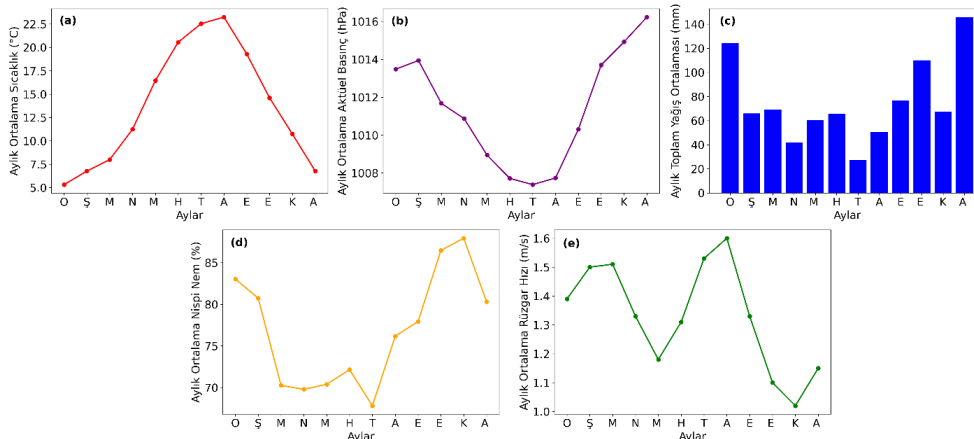
Bu çalışmada çalışma alanı olarak seçilen Bağıranlı Mahallesi, Kocaeli'ne bağlı Kandıra ilçesinde (41°04'16.48"K, 30°09'07.60"D) yer almaktadır. Kandıra ilçesi, İstanbul, Sakarya, Yalova ve Kocaeli gibi gelişmiş kentlere yakınlığıyla stratejik bir konumda bulunmaktadır. Kandıra'nın rakımı 100 m'dir ve 933 km²'lik yüzölçümüyle Kocaeli ilindeki toprakların %26'sını oluşturmaktadır. Kandıra ilçesinin 2022 yılı nüfusu 53.845 kişidir (TÜİK, 2024). Bu ilçe, bir sanayi şehri olan Kocaeli'nin doğaya açılan penceresi konumunda olup, verimli tarım arazileri, Karadeniz'e kıyısı olan 52 km'lik sahil şeridi ve yerel ürünleri ile kırsal turizm ve balıkçılık potansiyeli yüksek bir bölgedir. İlçede kıyı şeridi boyunca uzanan ormanlar büyük bir alan kaplamaktadır. Bu ormanlarda meşe, gürgen, ıhlamur, kestane, kızılıçık ve defne gibi kendiliğinden yetişen ağaç türleri bulunmaktadır. Topografik açıdan Kandıra, küçük tepelerden oluşan belirgin bir arazi formundadır. Babadağ ve Çal Tepesi, bölgede görece yüksek tepeleri oluşturmaktadır (Kandıra Valiliği, 2024). Türkiye'nin kuzeyinde bulunan Kandıra'nın güneş enerjisi potansiyeli Türkiye ortalamasının biraz altındadır. Ortalama

yıllık toplam güneşlenme süresi 2.368 saat (günlük 6.5 saat), ortalama yıllık toplam küresel radyasyon ise 1.312 kWh/m² (günlük 3.6 kWh/m²)'dir (ETKB, 2024). İklimsel açıdan incelendiğinde, Karadeniz iklimi etkisi altında olan Kandıra'nın iklimi kararlı olmayıp, geçiş iklimi özellikleri göstermektedir. Yaz aylarında yağışlar genellikle düzensizdir. Kış mevsimi genellikle çok sert olmamakla birlikte, yağışlar genellikle yağmur şeklindedir ve kar yağışı nadiren görülmektedir (Kandıra Valiliği, 2024). Şekil 3'te QGIS ile oluşturulmuş Kandıra haritası sunulmaktadır.



Şekil 3. Kandıra ilçesi fiziki haritası

Kandıra ilçesinin 2013-2022 senelerine ait beş farklı meteorolojik değişkenin (sıcaklık, aktüel basınç, yağış, nispi nem ve rüzgâr hızı) aylık ortalamasını gösteren grafikler Şekil 4'te verilmektedir. On yıllık aylık ortalama sıcaklık değerlerini gösteren Şekil 4(a)'ya bakıldığında, ilçede en yüksek ortalama sıcaklığın 22.5°C ile Temmuz ayında, en düşük ortalama sıcaklığın ise 5.3°C ile Ocak ayında gözlemlendiği görülmektedir. Şekil 4(b)'ye göre ilçenin yüksek basınç değerlerinin kış mevsiminde, düşük basınç değerlerinin ise yaz mevsiminde görüldüğü anlaşılmaktadır. Şekil 4(c)'de aylık toplam yağış ortalamasına ait bilgi sunulmaktadır. Ortalama yağışın en yüksek yaşandığı ay Aralık ayıdır ve 145.6 mm olarak gözlenmiştir. Ortalama olarak en düşük yağışın yaşandığı ay Temmuz olup, 27.3 mm olarak gözlenmektedir. Şekil 4(d)'ye göre aylık ortalama nispi nem en düşük Temmuz ayında %67.8 olarak gözlenmiştir. Son olarak, Şekil 4(e)'ye göre aylık ortalama rüzgâr hızının tüm aylarda düşük olduğu görülmüş ve Bofor skalasına göre rüzgârın genelde esinti şeklinde olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4. Kandıra ilçesinde 2013-2022 senelerine ait aylık ortalama (a) sıcaklık (°C), (b) aktüel basınç (hPa), (c) toplam yağış (mm), (d) nispi nem (%), (e) rüzgâr hızı (m/s) değerleri.

METOT

Panel Eğim Açısı Hesaplama

Güneş enerjisi sistemleri, şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve hibrit olmak üzere üç türdedir (Hassan, 2021). Dışa bağımlılık, maliyet ve karbon ayak izi azalımı açısından avantajlı olan şebekeye bağlı sistemler, artan teknoloji ile birlikte daha çok tercih edilmektedir (Waaree Energies, 2023). Bu çalışmada da simülasyonlar, şebekeye bağlı sistemler için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, şebekeye bağlı güneş sistemlerinin temel elemanlarından biri olan FV paneller, hem sabit eğim açılı hem de çift eksenli güneş takip sistemli olarak tercih edilmiştir. Bunun temel sebebi, güneş potansiyeli düşük olan bir bölgeden daha fazla verim elde etmektir. Güneş takip sistemli paneller, güneşin konumuna bağlı olarak eğim açısını ayarlayabilir. Bu durum, panellerin güneş ışığını daha dik bir açıyla almasını sağlar ve güneşe optimum şekilde yönlendirilmiş sabit FV sistemlere kıyasla daha yüksek enerji kazanımı sağlar (Eldin vd., 2016). Özellikle kış aylarında güneşin yükseklik açısı azaldığında, güneş takip sistemli paneller daha fazla güneş enerjisi yakalayabilir (Eker, 2019). Buna ek olarak, güneşin hareketine adapte olabilen bu paneller, gün boyunca daha dengeli bir enerji üretimi sağlayabilir ve gölgeleme etkilerini minimize etmek için eğim açısını daha etkili bir şekilde ayarlayabilir (Abdollahpour vd., 2018). Ancak, güneşi takip eden sistemlerin yüksek başlangıç maliyeti ve hareket edebilmeleri için elektrige ihtiyaç duymaları nedeniyle gider maliyetlerinin artması, bu sistemlerin her zaman uygulanabilir bir seçenek olmasını engellemektedir. Bu nedenle, sabit eğim açılı paneller hala rağbet görmektedir (Hassanian vd., 2021). Bu çalışmada, CWT455-144PM-V ve SPR-P5-530-UPP modelleri olmak üzere iki farklı panel kullanılarak, paneller arasında performans ve maliyet analizi ve kıyaslaması yapılmıştır. Tablo 1’de kullanılan panellere ait özellikler yer almaktadır.

Tablo 1. CWT455-144PM-V ve SPR-P5-530-UPP panel özellikleri (CW Enerji, 2021; Solar Proof, 2024).

Panel Özellikleri	CWT455-144PM-V	SPR-P5-530-UPP
Maksimum Güç (P _{max})	455 Wp	530 Wp
Maksimum Güç Gerilimi (V _{mp})	41,6 V	38,6 V
Açık Devre Gerilimi (V _{oc})	49,4 V	47,1 V
Kısa Devre Akımı (I _{sc})	11,67 A	14,78 A
Sıcaklık Katsayısı (I _{sc})	0,05 %/ °C	0,06 %/ °C
Modül Verimliliği	%20,9	%20,4
Yüzey Alanı	2,18 m ²	2,6 m ²
Sıcaklık Katsayısı (V _{oc})	-0,304 %/ °C	-0,28 %/ °C
Sıcaklık Katsayısı (P _{max})	-0,36 %/ °C	-0,34 %/ °C

Güneş panellerinin eğim açısı, panellerin absorbe edebileceği direkt güneş radyasyonunu ve dolayısıyla enerji verimliliğini etkileyeceğinden, GES tasarımlarında göz önünde bulundurulması gereken en önemli hususlardan biridir (Bakırcı, 2012; Dal, 2021). Panel eğim açısı; panelin kullanım süresi (Bakırcı, 2012), montaj teknikleri ile arazinin topografik ve iklimsel özelliklerine (Mamun vd., 2022) göre değişkenlik göstermektedir. Optimum panel eğim açısı, temelde FV panellerin konumlandırıldığı enlemler ile dünyanın ekinoks döngüleri ve dönencelerine göre belirlenmektedir. Bu nedenle, her gün değişen optimum eğim açısı, güneş takipli sistemlerde sorun oluşturmazken, sabit sistemlerde soruna neden olmaktadır (Eker, 2019). Sabit sistemleri için optimum açı net olarak belirlenmelidir. Bu yüzden, bu çalışmada farklı metotlar kullanılmaktadır. Denklem 1’de, enleme dayanan yöntemde FV panel eğimi, bulunduğu konumun enlem derecesine eşittir (Hassanian, 2021). Bu yöntemde göre Bağırhanlı için optimum FV panel eğimi 41°’dir.

$$\beta_{opt} = \varphi(^{\circ}) \quad (1)$$

Formülde kullanılan " φ ", yerel enlem açısını vermektedir. Hottel ve Woertz metodu, diğer adıyla Hottel-Whillier-Bliss (HWB) metodu, FV panellerin eğim açılarının hesaplanması için geliştirilen ve diğer metotlara göre daha doğru sonuçlar verdiği için sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir (Gezgin, 2023). Denklem 2’de verilen yöntemin Bağırhanlı için hesaplanan değerleri Tablo 2’de verilmektedir.

$$\beta_{opt} = \varphi(^{\circ}) - \delta \quad (2)$$

Tablo 2. Hottel ve Woertz metoduna göre hesaplanan Bağıranlı (41,K) için FV panel eğim açıları.

Ay	Deklınasyon Açısı (°)	Eğim Açısı (°)
Ocak	-21,28	62,28
Şubat	-13,65	54,65
Mart	-2,46	43,46
Nisan	9,37	31,63
Mayıs	16,29	24,71
Haziran	23,26	17,74
Temmuz	21,70	19,30
Ağustos	14,48	26,53
Eylül	3,48	37,52
Ekim	-8,42	49,42
Kasım	-18,12	59,12
Aralık	-23,11	64,11

Performans Oranı

Performans oranı (PO), küresel çapta kabul edilmiş bir FV tesisi performans parametresidir (Carr & Pryor, 2004). Bir FV sistemin PO'su, sistemin sağladığı enerjinin sisteme giren referans enerjiye oranını (Denklem 3) ifade eder (Başoğlu vd., 2015). Diğer bir ifadeyle, PO; gölgeleme, invertör sorunları, kablolama, kesintiler, modül sıcaklıkları vb. nedenlerden kaynaklanan kayıpların ne kadar azaltılabildiğinin bir ölçüsüdür (Micheli vd., 2014). Sistem kayıplarının düşük olduğu santraller, yüksek performans oranına sahiptir.

PO, kurulu güç değerlerinden ve arazi konumundan bağımsızdır; bu özellik, dünya üzerindeki farklı bölgelerde kurulu FV sistemlerin birbirleriyle kıyaslanabilmesini sağlar. Sistem kayıplarının düşük olduğu santraller, yüksek performans oranına sahiptir. Geçmişten günümüze PO değeri gelişim göstermiştir: 1980'lerde %50-75 PO değeri iyi olarak kabul edilirken, günümüzde bu değer %80-85'e ulaşmıştır (Reich vd., 2012). Boztepe (2017), günümüzde kurulacak FV sistemlerin PO hedefinin %85'in üzerinde olması gerektiğini vurgulamıştır.

$$PO (\%) = \frac{Y_A}{Y_R} \times 100 = \frac{E_M}{\frac{P_{STC}}{Q_{STC}} \int Q_A dt} \quad (3)$$

Denklemde verilen " Y_A " FV modülünün standart test koşullarında (STC) saat cinsinden çalıştığı süredir ve " Y_R " saat cinsinden referans zamanıdır. " P_{STC} ", STC kapsamında FV sistemin nominal veya maksimum gücüdür. " Q_{STC} ", STC kapsamındaki güneş ışınımının değeridir. " E_M ", AC formunda aylık üretilen enerjiyi ve " Q_A " düzlemde anlık olarak ölçülen ışıma miktarını (W/m^2) ifade eder.

Ekonomik Analiz

GES yatırımının ekonomik olarak kârlı olup olmadığını belirlemek amacıyla ekonomik analiz yapılmaktadır. Yatırım projelerinin değerlendirilmesinde literatürde iki yöntem bulunmaktadır. Bunlardan ilki, paranın zaman değerini göz önüne alan dinamik değerlendirme yöntemleri; ikincisi ise paranın zaman değerini göz önüne almayan statik değerlendirme yöntemleridir (Gedik vd., 2005). Bu çalışmada, statik yöntemlerden geri ödeme süresi (GÖS) yöntemi; dinamik yöntemlerden ise net bugünkü değer (NBD) ve iç kârlılık oranı (İKO) yöntemleri kullanılarak yatırımın finansal açıdan kârlılığı değerlendirilmiştir. Denklem 4'te verilen GÖS yönteminde, bir yatırımın yarattığı nakit gelirlerin orijinal yatırıma eşit olması için gereken dönem sayısı hesaplanmaktadır (Bekdaş, 2021).

$$GÖS = \frac{\text{Yatırım Tutarı}}{\text{Yıllık Ortalama Net Kar}} \quad (4)$$

NBD (Denklem 5), yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağladığı kazançların bugünkü değerleri toplamı ile yatırım maliyetlerinin bugünkü değerleri toplamı arasındaki farka göre hesaplanmaktadır (Gedik vd., 2005).

$$NBD = \sum_{t=0}^n \frac{Ft}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{Mt}{(1+i)^t} \quad (5)$$

Denklem 5'teki " t " yatırım süresi içerisindeki ilgili takvim yılını, " i " kabul edilen iskonto oranını, " n " yatırımın ekonomik ömrünü, " Ft " t . yıldaki kazanç tutarını, " Mt " t . yıldaki maliyet tutarını göstermektedir. Bu çalışmada iskonto oranı %10 olarak kabul edilmiştir. Denklem 6'da ise İKO yöntemi verilmektedir. Bu yöntem, yatırımın NBD'sini sıfıra eşitleyen bir iskonto oranı olarak tanımlanmaktadır (Kahraman, 2018).

$$\sum_{t=0}^n \frac{Ft}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{Mt}{(1+r)^t} \quad (6)$$

Denklem 6'da verilen " r " İKO'yu temsil etmektedir.

Önlenen CO₂ Emisyon Miktarı

Elektrik üretimi, sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağıdır. Fosil yakıtlara kıyasla, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak yapılan elektrik üretimi daha az emisyonla neden olmaktadır. Bu çalışmada, güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretimi sayesinde atmosfere verilmesi önlenen sera gazı emisyonu, Denklem 7 kullanılarak hesaplanmıştır (ETKB, 2024).

$$Emisyon = E_i \times EF_i \quad (7)$$

Denklem 7'de verilen " $Emisyon$ " bir yıl içerisinde elektrik üretimi kaynaklı sera gazı miktarını (tCO₂), " E_i " kaynak türüne göre elektrik üretimini (MWh), " EF_i " kaynak türüne göre birleşik emisyon faktörünü (tCO₂/MWh) ve " t " elektrik üretimi için kullanılan kaynağı ifade etmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Arazi Seçimi

GES kurulumunda en avantajlı araziye seçmek için çalışma bölgesinde farklı arazilere ait konumsal analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda, Bağıranlı Mahallesi'nde üç farklı uygulama alanı (UA) belirlenmiştir. Üç UA'nın Bağıranlı Mahallesi'nde seçilmesinden dolayı, hepsi Kocaeli'nin kuzeyinde bulunmakta ve güneye cepheidir. Yapılan fizibilite çalışmalarında, arazi büyüklüğünün etkisini ortadan kaldırmak amacıyla tüm araziler aynı boyutta ve 7.5 dönüm olacak şekilde seçilmiştir. Üçü de II. dereceden deprem riski bulunan konumda olup (AFAD, 2024), kireçtaşı, olistrostrom, şeyl ve çakıltı taşı gibi zemin özelliklerine sahiptir (Zor vd., 2007). Ayrıca, heyelan duyarlılık haritalarına göre çok düşük duyarlılığa sahiptir (AFAD, 2021).

Uygulama Alanı 1

Proje kapsamında Bağıranlı Mahallesi'nde 101 Ada 17 ve 202 Parselleri (Şekil 5(b)) üzerinde lisanssız GES kurulması planlanmıştır. UA1, Bağıranlı merkezin kuzeybatısında ve yaklaşık 1 km mesafede yer almaktadır. Diğer UA'larına kıyasla Bağıranlı Limanı'na en yakın konumda (~0,35 km) bulunmaktadır. Bu nedenle bölgede bulunan balıkçı barınaklarına yakın konumdadır. UA1'e ulaşım sorunu bulunmamaktadır; en yakın anayol hattına ~0,26 km mesafededir. TEİAŞ İsaköy Trafo Merkezi 20,6 km, Kaynarca Trafo Merkezi'ne 39,4 km ve Kandıra RES Trafo Merkezi'ne 4,6 km uzaklıkta bulunmaktadır. Tarla niteliğindeki bu arazi genel olarak eğimsizdir. Bağıranlı Göleti'ne 1,2 km ve en yakın akarsuya 1,5 km mesafededir.

Uygulama Alanı 2

Proje kapsamında Bağıranlı Mahallesi'nde 129 Ada 79 Parselinin 7,5 dönümlük alanına (Şekil 5(c)) lisanssız GES kurulması planlanmıştır. Diğer UA'larına kıyasla Bağıranlı merkeze en yakın konumda (~0,43 km) ve güneydoğusunda bulunmaktadır. Yerleşim yerine yakın konumda bulunan bu UA'nın, binalardan dolayı gölgelemeye maruz kalacağı düşünülmektedir. Bu arazi, Bağıranlı Limanı'na yaklaşık 1,8 km uzaklıkta bulunmakta ve UA1'e göre limana daha uzaktır. Ulaşım sorunu bulunmayan bu arazi, en yakın anayola ~0,14

km mesafededir. TEİAŞ İsaköy Trafo Merkezi 22 km, Kaynarca Trafo Merkezi'ne 38 km ve Kandıra RES Trafo Merkezi'ne 3,2 km uzaklıkta bulunmaktadır. Tarla niteliğinde olan bu arazi, eğimsiz bir yapıya sahiptir. Bağıranlı Göleti'ne 1,2 km ve en yakın akarsuya 1,6 km uzaklıkta bulunmaktadır.

Uygulama Alanı 3

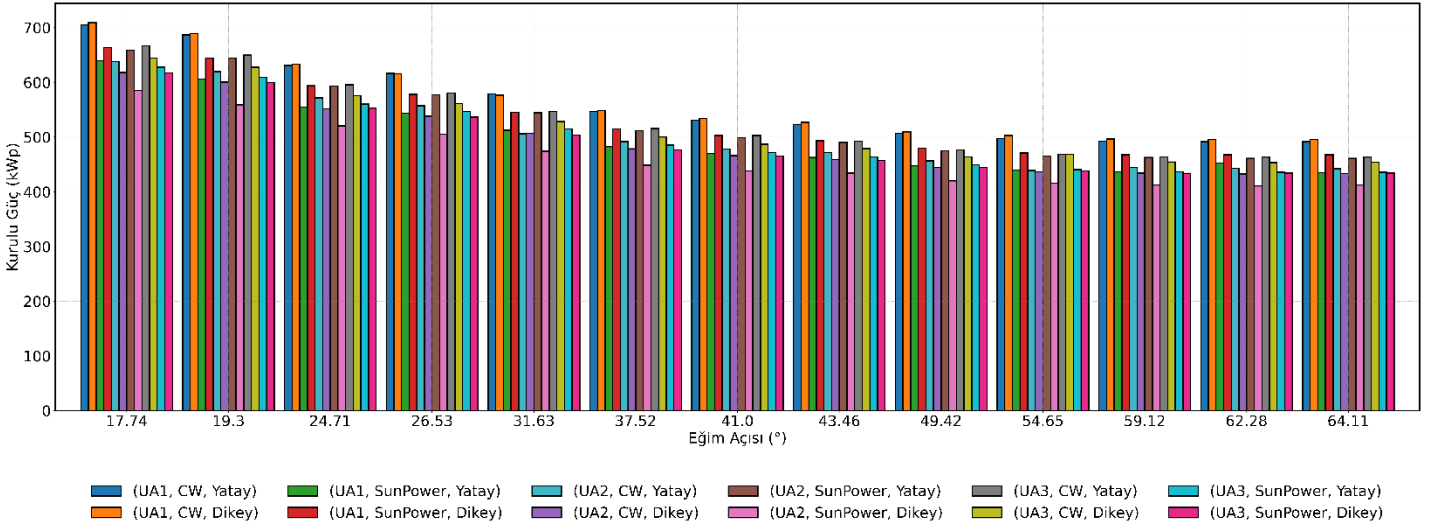
Proje kapsamında Bağıranlı Mahallesi'nde 114 Ada 63 ve 64 Parsellerinin 7,5 dönümlük alanına (Şekil 5(d)) lisanssız GES kurulması planlanmıştır. Bağıranlı merkezin güneydoğusunda bulunan UA3, diğer arazilere kıyasla daha güneyde yer almakta olup, Bağıranlı Limanı'na en uzak (~3,8 km) mesafededir. UA3'ün ulaşım sorunu bulunmamakta ve en yakın anayola uzaklığı ~0,35 km'dir. Bu arazinin, diğer arazilere kıyasla en belirgin farklılığı etrafında Kandıra Rüzgar Enerjisi Santrali'ne ait bir rüzgâr türbini bulunmasıdır. Yapılan araştırmalara göre, 200 m yüksekliğe sahip bir türbinin saat 09:27-11:01 arasında bu arazi üzerine gölgeleme yapacağı düşünülmektedir (Suncalc, 2024). TEİAŞ İsaköy Trafo Merkezi 24,1 km, Kaynarca Trafo Merkezi'ne 35,9 km ve Kandıra RES Trafo Merkezi'ne 1,1 km uzaklıkta bulunmaktadır. Diğer UA'lar gibi, tarla niteliğindeki arazi eğimsiz yapıdadır. Bağıranlı Göleti'ne 3,3 km ve en yakın akarsuya 2,4 km uzaklıkta bulunmaktadır. Bağıranlı Mahallesi'nde seçilen üç farklı UA'ya ait görseller Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5: (a) Seçilen uygulama alanlarının Bağıranlı Mahallesi'ndeki konumu, (b) UA1, (c) UA2 ve (d) UA3.

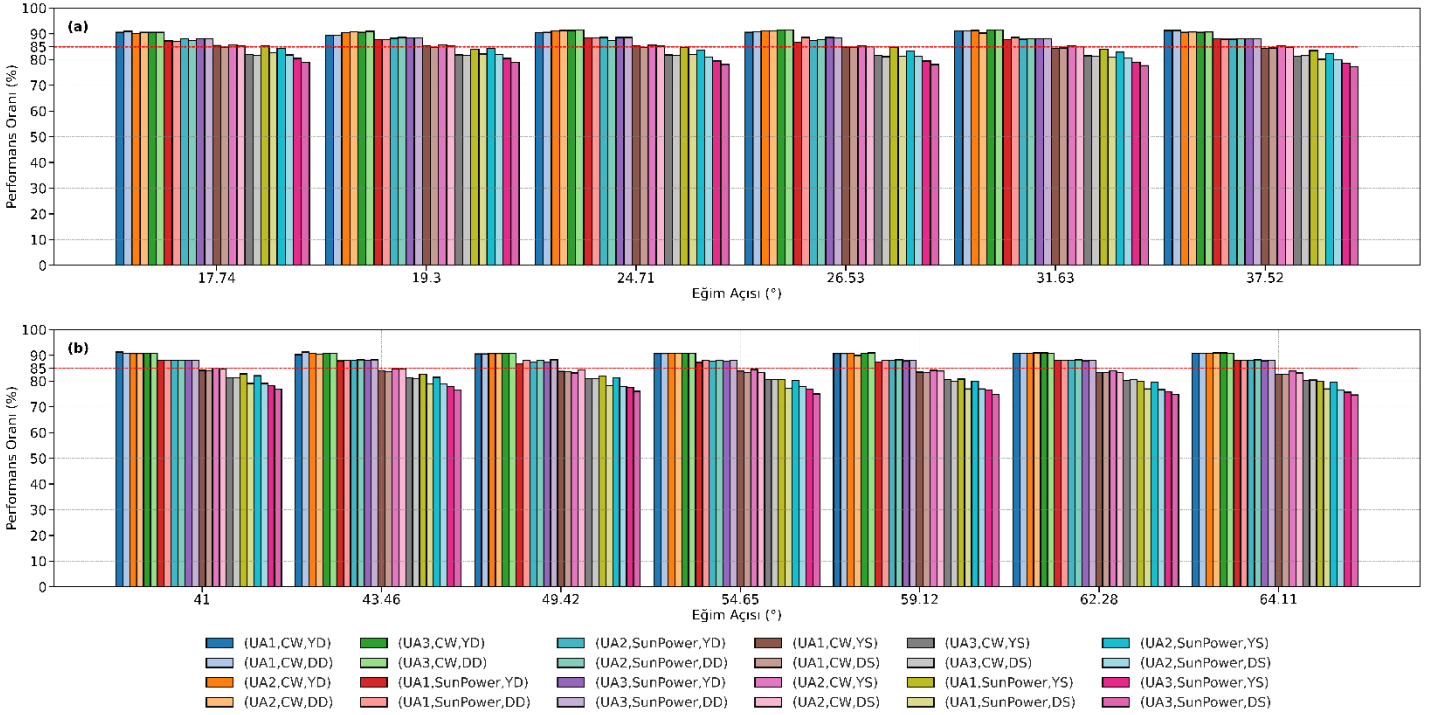
FV Sistemlerin Kurulu Gücü ve Performans Oranı

Bağıranlı'da tasarlanan GES için simülasyona başlamadan önce, PV*Sol yazılımında sistem tasarımı üç boyutlu ve şebekeye bağlı FV sistem olarak seçilmiştir. Konuma ait iklim verileri olarak PV*Sol'de bulunan 1991-2010 yıllarına ait Kocaeli MeteoSyn verileri kullanılmıştır. Çalışmada seçilen farklı arazilerin konumu ve fiziksel özellikleri göz önüne alınarak, gerçek üç boyutlu modelleme yapılmıştır. Konuşlandırma sırasında yerleşim yönünün güneye bakmasına özen gösterilmiştir. Üç farklı UA'da optimum verim elde edebilmek için hem CW hem de SunPower panelleri dikey ve yatay olarak, Tablo 2'de verilen farklı eğim açıları göz önüne alınarak yerleştirilmiştir. Panel yerleşimleri, sabit eğim açlarına göre tek tek değiştirilmiştir. Sonraki aşamada, hesaplanan panel sayıları dikkate alınarak analize çift eksenli güneş takip sistemleri de dâhil edilmiştir. Tüm eğim açıları için yerleşim tamamlandıktan sonra her alana ait kurulu güç (kWp) değerleri elde edilmiştir. FV panellerin kurulu gücü, panelin fiziksel özellikleri, güneş ışığına maruz kalma süresi, açısı ve koordinatları gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Şekil 6'da çalışmada kullanılan üç farklı UA, iki farklı panel tipi ve on üç farklı eğim açısına göre kurulu güç değerleri verilmektedir. Bu sonuçlar birbirleriyle kıyaslandığında, en yüksek kurulu gücün UA1'e 17,74° eğim ile dikey olarak yerleştirilmiş CW panelleri ile oluşturulan senaryoya ait olduğu görülmektedir. En düşük kurulu gücün ise UA2'ye 62,28° eğim ile dikey olarak yerleştirilmiş SunPower panelleri ile oluşturulan senaryoya ait olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Farklı arazi, panel türü ve yerleşim şekline göre elde edilen kurulu güç değerleri (kWp).

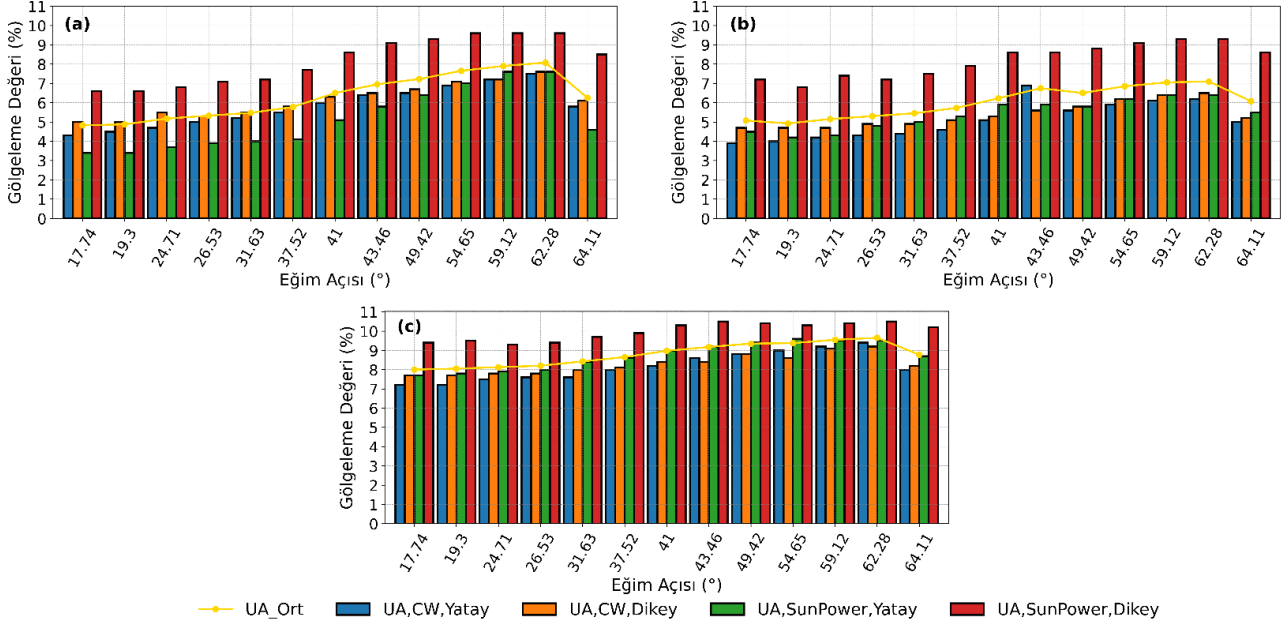
Bağırçanlı Mahallesi’nde kurulacak GES için en uygun arazi, panel ve eğim belirlemek amacıyla değerlendirilen parametrelerden biri de PO’dur. Bağırçanlı Mahallesi için yapılan 24 farklı senaryoya ait PO grafiği Şekil 9’da sunulmaktadır. Şekil 7’de, “YD” yatay olarak konuşlandırılmış dinamik açılı paneli, “DD” dikey olarak konuşlandırılmış dinamik açılı paneli, “YS” yatay olarak konuşlandırılmış sabit açılı paneli ve “DS” dikey olarak konuşlandırılmış sabit açılı paneli ifade etmektedir. Bu çalışmada, PO eşik değeri %85 olarak belirlenmiştir (Boztepe, 2017). Elde edilen sonuçlara göre, güneş takip sistemli paneller kullanıldığında PO’nun %90’lara kadar ulaşabildiği görülmüştür. Sabit açılı panellerde ise, özellikle UA2’de düşük eğim açısı ile konumlandırılmış sistemlerin %85’e yaklaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 7. Farklı arazi, panel türü ve yerleşim şekline göre PO değerleri (%).

UA’lar açısından değerlendirildiğinde, UA3’ün diğerlerine kıyasla daha düşük PO değerlerine sahip olduğu fark edilmiştir. PO’ya etki eden gölgeleme, invertör sorunları, kablolama, kesintiler, modül sıcaklıkları gibi kayıplar dikkate alındığında, UA’lar arasında yalnızca gölgeleme etkisinin farklılık yarattığı, diğer parametrelerin tüm

araziler için aynı olduğu söylenebilir. Tüm eğim açıları ve panel türleri için gölgelemeden kaynaklanan kayıplara bakıldığında, UA3'teki kayıpların her zaman daha fazla olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 8).



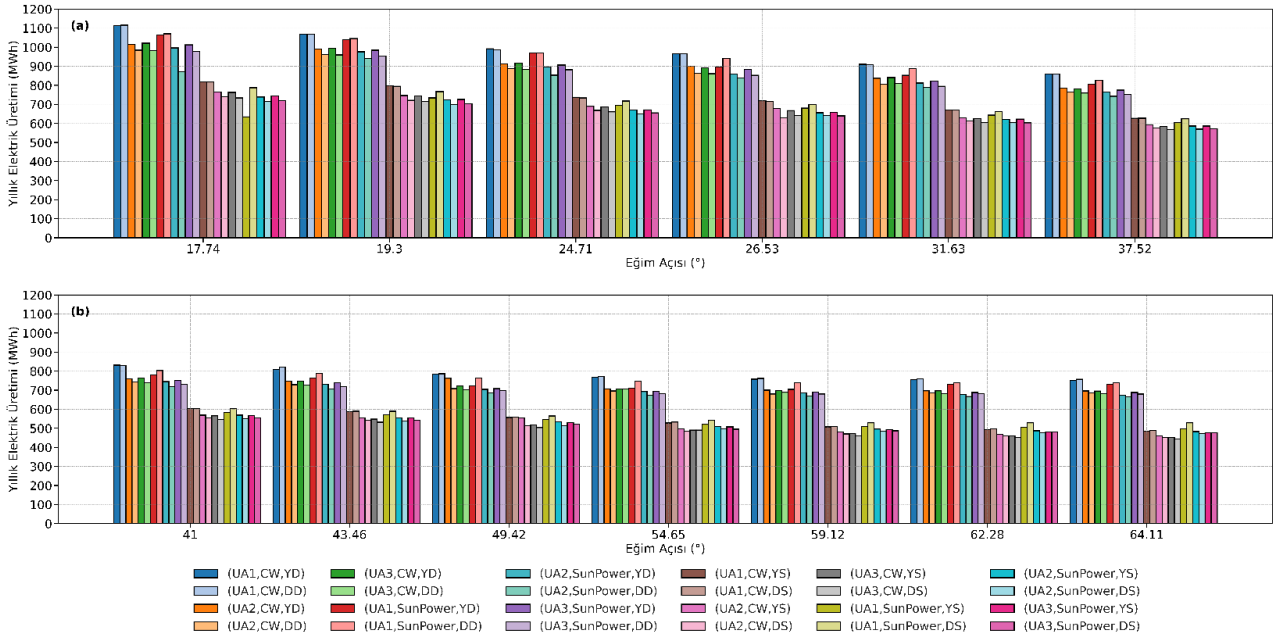
Şekil 8. Farklı eğim açılarına göre konumlandırılmış (a) UA1, (b) UA2 ve (c) UA3'teki çeşitli paneller üzerindeki gölgeleme etkisi (%).

FV Sistemlerin Üretim Değerleri

Seçilen üç farklı arazide yapılan çeşitli senaryolar sonucunda, Bağıranlı Mahallesi'nde şebekeye verilen elektrik miktarı hesaplanmıştır. Tüm panel türleri ve yerleştirme şekilleri düşünüldüğünde, en yüksek yıllık üretimlerin her zaman güneş takip sistemli panellerden kaynaklandığı görülmektedir (Şekil 9). Güneş takip sistemleri, panellerin gün boyunca güneşe daha uzun süre maruz kalmasını sağlayarak güneş ışığını en iyi şekilde kullanmalarına olanak tanır ve ayrıca panellerin gölgeleme etkilerini de azaltabilir. Bu sayede, güneş potansiyeli Türkiye ortalamasının altında olan Bağıranlı Mahallesi'nde güneş takip sistemleri kullanıldığında daha yüksek elektrik üretimi sağlanacağı öngörülmektedir.

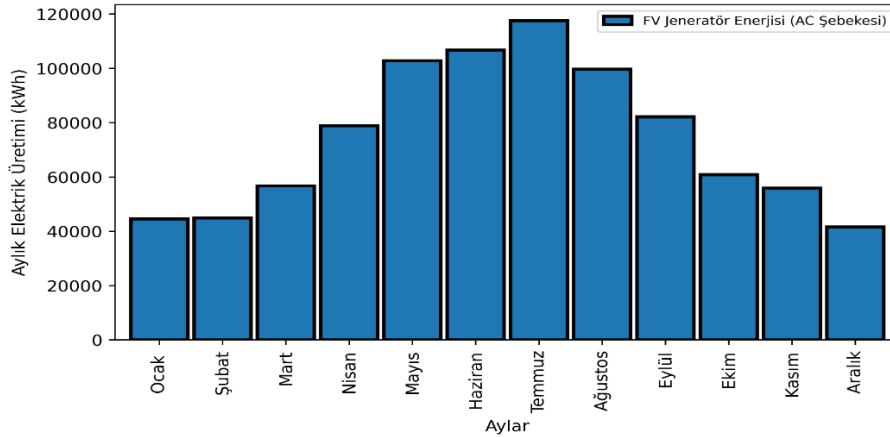
Sabit eğim açıları birbirleri ile kıyaslandığında, Bağıranlı Mahallesi için en yüksek yıllık elektrik üretiminin 17,74° eğim açısıyla yerleştirilen panellerde gerçekleştiği anlaşılmıştır. Bu durumda, paneller ayrı ayrı incelendiğinde özellikle Nisan-Eylül ayları arasında 17,74°'lik açı ile konumlandırılmış panel yüzeyine düşen ışınım miktarının diğerlerinden daha fazla olduğu ve bunun panel yüzeyine düşen yıllık toplam ışınım değerleri üzerinde güçlü bir etkisi olduğu anlaşılmıştır. Yalnızca UA3'te, SunPower panelinin yatay yerleşiminde en yüksek elektrik üretiminin 19,3° eğim açısında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Paneller açısından bakıldığında, güneş takip sistemlerinde en yüksek üretimin her zaman CW panellerinde olduğu anlaşılmıştır. Bu durum, panellerin farklı verimlilik oranlarına sahip olmasından kaynaklanıyor olabilir. Daha yüksek verimliliğe sahip paneller, aynı miktarda güneş ışığından daha fazla elektrik üretmektedir. CWT455-144PM panelinin %20,91, SPR-P5-530-UPP panelinin ise %20,4 verimliliğe sahip olması bu farklılığa yol açmış olabilir. Ayrıca, panellerin sıcaklık katsayısı da önemli bir parametredir. Bir panelin sıcaklık katsayısı ne kadar düşükse, yüksek sıcaklık koşullarında daha iyi performans gösterme eğilimindedir. İki panel kıyaslandığında, CWT455-144PM panelinin daha düşük bir sıcaklık katsayısına sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Çeşitli senaryoların yıllık elektrik üretim (MWh) değerleri.

Bu bulgular sonucunda, en yüksek kurulu gücün 708,89 kWp ile UA1'de güneş takip sistemli CW panelinin eğimli dikey yerleşim senaryosunda elde edildiği görülmüştür. Bu senaryo için sistemin kapasite faktörü %17,9 ve şebekeye verilen elektrik miktarı 1.116.038 kWh olarak hesaplanmıştır. Şekil 10'da aylık üretim değerleri görülmektedir. Buna göre, en fazla elektrik üretimi, Kandıra'nın güneşlenme süresinin en yüksek olduğu Temmuz ayında 117.540 kWh olarak gerçekleşmiştir. En az üretim ise, beklendiği üzere kış aylarında gerçekleşmiştir.



Şekil 10. En yüksek elektrik üretimine ait senaryonun aylık elektrik üretim (kWh) değerleri.

Ekonomik Analiz

Çalışmada, Bağırhanlı Mahallesi'nde kurulması planlanan GES için maliyet analizi yapılmıştır. Projenin maliyet unsurları, yatırım maliyetleri ile işletme ve bakım maliyetleri olarak sınıflandırılabilir. Yatırım maliyetleri, arazi bedelini, ekipman ve montaj harcamalarını içermekte; işletme ve bakım maliyetleri ise santralin yıpranma payı göz önüne alınarak yapılacak personel, bakım ve ek ekipman harcamalarını kapsamaktadır (Yalılı, 2021). Projenin kurulacağı arazinin satın alınacağı varsayılmıştır. Seçilen arazinin bulunduğu bölgede, GES kurulumuna uygun m² başına ortalama arazi fiyatının 31,3 \$/m² olduğu görülmüştür. Proje için seçilen arazi 7.500 m² olduğundan, arazi bedeli ABD Doları cinsinden 2 Şubat 2024 tarihli satış bazlı dolar kuru USD/TRY 30.36 olarak kabul edilmiş ve 234.750 \$ olarak hesaplanmıştır (TCMB, 2024). Hesaplanan arazi, güneş paneli

ve invertör fiyatları 2024 yılı güncel fiyatları olup, diğer ekipman giderleri hakkında ortalama fiyat bilgileri literatürden elde edilmiştir (Kahraman, 2018). Bu çalışmadan edinilen ortalama fiyatlar, 2018'den bu yana dolar enflasyonu göz önünde bulundurularak %19,20 zamlı hale uyarlanmıştır. Daha önce belirtilen 24 farklı senaryo için maliyet analizi gerçekleştirilmiş olup, en yüksek elektrik üretimine sahip UA1'de güneş takip sistemli CW panelleri ile yapılan GES'in maliyetinin 1.144.087,5\$ olduğu görülmüştür. Güneş takip sistemlerinin eklenmesi, CW panelinin SunPower paneline kıyasla daha yüksek maliyetli olması ve panel sayısının diğer senaryolara kıyasla daha fazla olması bu senaryonun maliyetini yükseltmiştir. Maliyet açısından tüm senaryolar incelendiğinde, en kârlı senaryonun UA1'de SPR-P5-530-UPP panellerinin 17,74° eğimle dikey yerleştirildiği durum olduğu görülmüştür. Tablo 3'te en kârlı senaryonun doğrudan ve diğer maliyet kalemleri sunulmaktadır. Burada, doğrudan maliyet kalemlerinde verilen ekipman ve teçhizatlar, 1 MW GES yatırımlarında genel olarak yer alması gereken unsurlardan oluşmakta olup, kurulum yapılacak arazinin yapısına, cephesine, panel çeşidine veya bağlantı özelliklerine göre farklılık gösterebilmektedir.

Tablo 3. Doğrudan ve diğer maliyet kalemleri.

	İhtiyaç Kalemi	Açıklama	Miktar	Birim	Birim Maliyet (\$)	Toplam Maliyet (\$)			
DOĞRUDAN MALİYETLER	Arazi	Satın alma	7500	m ²	31,3	234750,0			
	Güneş Paneli	SPR-P5-530-UPP	1264	Adet	111,4	140809,6			
	İnvertör	Huawei Technologies SUN2000-100KTL-M1 (480Vac)	5	Adet	7366	36830			
	Altyapı- Yapı	Çelik	Alüminyum bağlantı elemanları, alüminyum profil vb.	66	Set	804,6	53103,6		
			Profil, Boru, Menhol, vb. (Altyapı)	1	Set	6765,8	6765,8		
			4 mm solar kablo	9240	m	0,95	8778		
			6 mm solar kablo	7920	m	0,89	7048,8		
	Kablo Grubu		4X16 mm ² YXV-R (N2XY) kablo	660	Set	8,34	5504,4		
			4X70 mm ² YXV-R (N2XY) kablo	660	Set	9,54	6293,8		
			4X95 mm ² YXV-R (N2XY)	660	Set	11,32	7473,8		
			1x120 mm ² NYY	660	Set	14,30	9440,6		
			XLPE 1x240/35 kablo	660	Set	7,15	4720,3		
			İletişim kablosu İİ2 YCY 2x2x1,5mm ²	660	Set	5,96	3933,6		
			MC4 Solar Konektörü	1	Adet	1370,8	1370,8		
			DC Koruma Sigortaları	29,7	Adet	7,2	212,4		
			Bağlantı Ekipmanları		Topraklama malzemeleri, topraklama kabloları, kablo tavaları ve diğer gerekli sarf malzemeler	1	Set	7445,9	7445,9
					AG Ana pano	1	Adet	14065,6	14065,6
	Panolar		İnverter toplama panosu	6	Adet	1585,4	9512,2		
			Trafo	1	Adet	18476	18476		
	Şebeke Bağlantı Ekipmanları		OG Hücre ve Ekipmanları	1	Set	29895,4	29895,4		
			ENH OG Direkleri ve Ekipmanları	1	Set	3933,6	3933,6		
			Konstrüksiyon sisteminin toprak üstü betonlama yöntemiyle montajı	1	Set	60090	60090		
	Montaj		Tüm santralin topraklama bağlantıları	1	Set	41578	41578		
			Solar sistem işçilik ve montajı	1	Set	41578	41578		
			Kabin Montajı Kabin OG/AG bağlantıları	1	Set	41578	41578		
	SCADA		Kontrol ve İzleme Sistemi	1	Set	7202	7202		
			Paratoner	1	Set	532,33	532,33		
	Güvenlik		Kamera Sistemi	6	Adet	143,04	858,24		
Çit Sistemi			1320	m	12,52	16521,12			
D İ Ğ	Diğer	İş Makinesi	1	Set	1716	1716			
		Vergi Ve Sigorta	1	Set	4554	4554			
E R	Personel	Mühendis	1	Adet	1605,5	1605,5			
		İşçi	2	Adet	729,58	1459,2			
Ekipmanlar – Konstrüksiyon Yatırım Maliyeti	Harcamaları	Servis Ve Bakım Giderleri	1	Yıl	2950	2950			
Toplam Yatırım Maliyeti					719766,4 \$	746480,4 \$			

Güneş ve rüzgâr enerjisinden elektrik üretilmesine yönelik yatırımlara getirilen yeni teşvik kapsamında, işletmelerin yapacakları lisanssız enerji yatırımlarına en az 4. Bölge teşviki sağlanacağı belirtilmiştir. Bu doğrultuda, proje yatırımı teşvik kapsamına dâhil edilmiş olup; kurumlar vergisi, SGK, KDV ve gümrük vergisi desteklerinden yararlanabilir duruma gelmiştir (YDYHKUİT, 2022). Bağıranlı GES yatırımı projesinin yararlanabileceği destek avantajları Tablo 4’te gösterilmiştir. Alınacak teşvikler sonrasında net yatırım tutarı 392.978,3 \$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Teşvik unsurları ve net yatırım tutarı.

Destek Unsurları	İndirim Oranı	İndirim Miktarı
KDV İstisnası	% 18	129557,9 \$
Gümrük Vergisi Muafiyeti	-	VAR
Kurumlar Vergisi İndirimi	%30	223944,1
Kazanç		353502,1 \$
Net Yatırım Tutarı		392978,3 \$

Tüm senaryolar için yapılan ekonomik analiz sonucunda, en uygun yatırımın UA1’de SPR-P5-530-UPP panellerinin 17,74° eğimle dikey yerleştirildiği senaryoda ortaya çıktığı görülmüştür. Bu senaryoda, kurulu gücü 663,6 kWp, elektrik üretimi 787.719 kWh olan lisanssız ve şebekeye bağlı GES yatırımı için öz sermaye ve yarı öz sermayeli nakit akış senaryoları geliştirilmiştir. GES projelerinde nakit akışı, öz sermaye ve yarı öz sermaye ile hesaplanırken sırasıyla yatırım başlangıcı, ekonomik ömür, elektrik üretimine başlama tarihi, yatırım maliyetleri, nakit akışları ve NBD veya İKO gibi çeşitli finansal değerlendirme adımları bulunmaktadır. Buna göre, GES projesinin yatırımına başlandığı tarih 0. yıl olarak kabul edilmiş ve 1. yıl elektrik üretimine başlanacağı yıl olarak belirlenmiştir. Ekonomik ömür 25 yıl olarak alınmış ve bu süre boyunca yıl bazında elektrik üretiminin %0,07 oranında azalacağı öngörülmüştür. Yatırım maliyetleri ve nakit akışları Tablo 5’te gösterilmiştir. Son olarak, çeşitli finansal değerlendirme yöntemleriyle projenin ekonomik açıdan uygunluğuna karar verilmiştir.

Tablo 5: Yatırımın öz sermaye ile yapılması durumundaki nakit akışı.

Yıl	Masraf		Fayda	Kar	Net
	Yatırım	Bakım	Yıllık Kazanç		
0	392978,32	0	0	-392978,32	-392978,32
1		2950	80951,36	78001,36	-314976,96
2		2950	80384,70	77434,70	-237542,26
3		2950	79822,01	76872,01	-160670,26
4		2950	79263,25	76313,25	-84357,00
5		2950	78708,41	75758,41	-8598,59
6		2950	78157,45	75207,45	66608,86
7		2950	77610,35	74660,35	141269,21
8		2950	77067,08	74117,08	215386,29
9		2950	76527,61	73577,61	288963,89
10		2950	75991,91	73041,91	362005,81
11		2950	75459,97	72509,97	434515,78
12		2950	74931,75	71981,75	506497,53
13		2950	74407,23	71457,23	577954,76
14		2950	73886,38	70936,38	648891,14
15		2950	73369,17	70419,17	719310,31
16		2950	72855,59	69905,59	789215,90
17		2950	72345,60	69395,60	858611,50
18		2950	71839,18	68889,18	927500,68
19		2950	71336,31	68386,31	995886,99
20		2950	70836,95	67886,95	1063773,94
21		2950	70341,09	67391,09	1131165,03
22		2950	69848,71	66898,71	1198063,74
23		2950	69359,77	66409,77	1264473,50
24		2950	68874,25	65924,25	1330397,75
25		2950	285360,61	282410,61	1612808,36

Yatırımın yarı öz sermaye ile yapılması durumunda, 392.978,32 \$ tutarındaki yatırımın 196.978,32 \$'lık kısmının öz sermayeden, geri kalanının ise kredi ile finanse edileceği düşünülmüştür. Kredi faizi %8,25 ve kredisi vadesi 10 yıl olarak kabul edilmiştir. Yapılan kabuller sonucunda, kredinin yıllık ödemesi 28.650,96 \$ olarak hesaplanmıştır. Tablo 6'da yarı öz sermaye ile yapılan yatırıma ait nakit akış gösterilmektedir.

Tablo 6: Yatırımın yarı öz sermaye ile yapılması durumundaki nakit akışı.

Yıllar	Fayda		Masraf		Net Getiri	Genel Yatırım Durumu
	Yıllık Kazanç	Kredi Taksitleri	Yatırım	Bakım Masrafı		
0	0	0	392978.32	0.00	0	-392978.32
1	80951.36	28650.96		2950	49350.40	-343627.92
2	80384.70	28650.96		2950	48783.74	-294844.18
3	79822.01	28650.96		2950	48221.05	-246623.13
4	79263.25	28650.96		2950	47662.29	-198960.84
5	78708.41	28650.96		2950	47107.45	-151853.39
6	78157.45	28650.96		2950	46556.49	-105296.90
7	77610.35	28650.96		2950	46009.39	-59287.51
8	77067.08	28650.96		2950	45466.12	-13821.39
9	76527.61	28650.96		2950	44926.65	31105.26
10	75991.91	28650.96		2950	44390.95	75496.21
11	75459.97			2950	72509.97	148006.18
12	74931.75			2950	71981.75	219987.93
13	74407.23			2950	71457.23	291445.16
14	73886.38			2950	70936.38	362381.54
15	73369.17			2950	70419.17	432800.71
16	72855.59			2950	69905.59	502706.30
17	72345.60			2950	69395.60	572101.90
18	71839.18			2950	68889.18	640991.08
19	71336.31			2950	68386.31	709377.39
20	70836.95			2950	67886.95	777264.34
21	70341.09			2950	67391.09	844655.44
22	69848.71			2950	66898.71	911554.14
23	69359.77			2950	66409.77	977963.91
24	68874.25			2950	65924.25	1043888.15
25	285360.61			2950	282410.61	1326298.76

Tablo 7'de, öz sermaye ve yarı öz sermaye ile yapılan yatırım için NBD, İKO ve GÖS yöntemleriyle finansal değerlendirme yapılmıştır. Öz sermaye ile yapılan yatırımda, sermaye maliyetlerinin 6. yılda geri ödendiği görülmüştür. Ancak kredi ile yapılan yatırımda GÖS 9 yıla kadar çıkmaktadır. Bu durum, öz sermaye ile yapılan yatırımın daha hızlı geri dönüş sağladığını ve daha erken pozitif net kâr elde ettiğini göstermektedir. Hesaplanan İKO'dan daha düşük orandaki iskonto oranlarında (%10) yatırımın NBD'si artmakta yani yatırım daha kârlı hale gelmektedir. Bu bağlamda, İKO'nun yatırımcı tarafından kabul edilebilir iskonto oranından daha yüksek çıkması durumunda yatırım kararı verilmesi uygun olmaktadır. Böylece, iki farklı sermaye yönteminin kullanılması bu proje için uygun olduğu söylenebilir.

Finansal değerlendirme sonuçları incelendiğinde, Kocaeli ili Bağırganlı Mahallesi'nde yapılması planlanan GES yatırımının maliyetlerinin tamamen öz sermaye ve yarı öz sermaye ile karşılanmasının benzer sonuçlar ortaya koyduğu görülmektedir. Ancak öz sermaye ile yapılan yatırımın daha avantajlı olduğu görülmüştür. Yapılan değerlendirmeler sonucunda yatırımın öz sermaye ile yapılmasına karar verilmiştir.

Tablo 7: Finansal değerlendirme sonuçları.

	Yatırımın Öz Sermaye ile Yapılması	Yatırımın Yarı Öz Sermaye ile Yapılması
NBD	38518,39 \$	38804,89 \$
İKO	%18	%11
GÖS	6 Yıl	9 Yıl

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Kandıra ilçesine bağlı Bağıranlı Mahallesi'ne GES kurulması hedeflenmiştir. Güneş enerjisi potansiyeli açısından Türkiye ortalamasının biraz altında olan Kandıra'da, en fazla verimle elektrik üretimi sağlamak amacıyla çeşitli senaryolar geliştirilmiştir. İlk olarak, çeşitli kriterlere bağlı olarak uygun arazi seçimleri yapılmıştır. Farklı konumlarda bulunan üç farklı 7.5 dönümlük arazi belirlenmiştir. Arazilerin alanları aynı tutulmuş olup, bunun temel sebebi, arazi kıyaslaması yapılırken alansal etkinin göz ardı edilebilmesidir. Daha sonra, literatürde bulunan çeşitli yöntemler kullanılarak 41° Kuzey enleminde bulunan Bağıranlı Mahallesi'nde FV panellerin konuşlandırılması için 13 farklı eğim açısı hesaplanmıştır. Enerji analizleri için PV*Sol yazılımı kullanılmıştır. FV panel olarak CWT455-144PM-V ve SPR-P5-530-UPP panelleri seçilmiştir. Bu panellerin yatay ve dikey olarak yerleştirileceği senaryolar oluşturulmuştur. Sabit eğim açılı panellere ek olarak, PV*Sol yazılımının sunduğu iki boyutlu güneş takip sistemi hesaplamaları da çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmada, sabit eğim açılı panellere ek olarak güneş takip sistemli paneller de kullanılmıştır. Farklı araziler, eğim açıları ve panel türleri için toplamda 24 farklı senaryo geliştirilmiştir. Yapılan senaryolar sonucunda, en yüksek kurulu güç UA1'de güneş takip sistemli CWT455-144PM-V paneline ait olup, toplam kurulu güç 708,9 kWp'tir. En düşük kurulu güç ise UA2'de 62,28° eğim açısı ile dikey olarak yerleştirilmiş SPR-P5-530-UPP paneline aittir ve toplam kurulu güç 410,6 kWp'tir. Bulduğu konuma bağlı olarak en yüksek gölgeleme etkisine maruz kalan bölge UA3'tür. Yıllık elektrik üretimi açısından incelendiğinde, en yüksek elektrik üretiminin en büyük kurulu güce sahip olan UA1'de güneş takip sistemli CWT455-144PM-V panellerine ait senaryoda gerçekleştiği anlaşılmıştır. Bu senaryodaki toplam elektrik üretimi 1.116.038 kWh olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, bu senaryonun maliyeti 1,144,087.5\$ olarak hesaplanmıştır. Maliyet analizi, öz sermayeli ve yarı öz sermayeli olmak üzere iki farklı senaryoda gerçekleştirilmiştir. Yapılan ekonomik analiz sonucunda, en fazla elektrik üretiminin gerçekleştiği senaryodan farklı bir senaryo daha kârlı olarak bulunmuştur. En kârlı yatırımın, UA1'de SPR-P5-530-UPP panellerinin 17,74°'lik sabit bir eğimle dikey yerleştirildiğinde ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Buradaki fark, kullanılan panel türü, güneş takip sistemi ve panel sayısıdır. Daha az ve ucuz panel kullanılarak ve güneş takip sistemi kullanılmayarak yapılan yatırımın daha kârlı bir sonuç ortaya çıkardığı anlaşılmıştır. Yatırımın öz sermaye ve yarı öz sermaye ile yapılması durumunda, sırasıyla NBD 38.518,39 \$ ve 38.804,89 \$, İKO %18 ve %11 olarak hesaplanmıştır. Her iki senaryoda da hesaplanan İKO, iskonto oranından daha yüksek olduğu için yatırımın kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Öz sermaye ile yapılan yatırımın GÖS'ü 6 yıl iken, yarı öz sermaye ile yapılan yatırımın GÖS'ü 9 yıldır. GES yatırımı için 6 yıllık GÖS'ün daha makul olduğu ve daha kârlı bir yatırım olduğu düşünülmektedir.

Kandıra ilçesinin güneş enerjisi potansiyelinin Türkiye ortalamasının altında olması, yenilenebilir enerji yatırımlarının stratejik önemini daha da artırmaktadır. Bu durum, güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırmak için teknolojik yeniliklere ve doğru konumlandırma stratejilerine odaklanmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu stratejilerin doğru bir şekilde uygulanması, güneş enerjisi sistemlerinden elde edilen elektrik miktarını artırabilir ve böylece ilçenin enerji ihtiyacını daha sürdürülebilir bir şekilde karşılayabilir. Yerel düzeyde gerçekleştirilecek yenilenebilir enerji projeleri, yalnızca enerji sektörünü dönüştürmekle kalmayıp, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik kalkınma açısından da önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu projeler sayesinde, çevreye zararlı sera gazı emisyonları azaltılarak iklim değişikliğiyle mücadelede etkili adımlar atılabilir ve yerel ekonomilere ekonomik katkı sağlanabilir. Ayrıca, yenilenebilir enerji sektöründeki büyüme, iş olanaklarının artması ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi gibi alanlarda da olumlu etkiler yaratabilir. Dolayısıyla, yerel yönetimlerin ve işletmelerin yenilenebilir enerji projelerine yönelik teşvik edici politikalar ve yatırımlar yapması, bölgesel kalkınma ve çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdollahpour, M., Golzarian, M.R., Rohani, A., Abootorabi Zarchi, H. (2018). Development of a machine vision dual-axis solar tracking system, *Solar Energy*, 169, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.03.059>
- Acar, M. (2023). Edirne ili güneş enerji potansiyelinin araştırılması ve örnek bir güneş enerji santrali analizi, *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hesaplamalı Bilimler Anabilim Dalı, Edirne.
- AFAD (2021). İl afet risk azaltma planı, *Kocaeli İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü*. <https://kocaeli.afad.gov.tr/kurumlar/kocaeli.afad/Kocaeli-IRAP.pdf>
- AFAD (2024). Türkiye deprem tehlike haritası, *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>
- Akpolat, A.N., Dursun, E., Kuzucuoğlu, A.E., Yang, Y., Blaabjerg, F., Baba, A.F. (2019). Performance analysis of a grid-connected rooftop solar photovoltaic system, *Electronics*, 8(8), 905. <https://doi.org/10.3390/electronics8080905>
- Aziz, A.S., Tajuddin, M.F.N., Adzman, M.R., Mohammed, M.F., Ramli, M.A.M. (2020). Feasibility analysis of grid-connected and islanded operation of a solar PV microgrid system: A case study of Iraq, *Energy*, 191, 116591. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116591>
- Bakırcı, K. (2012). General models for optimum tilt angles of solar panels: Turkey case study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 6149–6159. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.009>
- Balcı, A. (2023). Enerji güvenliğinde Türkiye'nin rolü ve yenilenebilir enerji kaynakları, *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (44), 200–233.
- Başol, F. (2021). Yenilenebilir enerji kaynaklarının avantaj, risk ve tehlikeleri. *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*, Çankaya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve İş Güvenliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Başıoğlu, M.E., Kazdaloğlu, A., Erfidan, T., Bilgin, M.Z., Çakır, B. (2015). Performance analyzes of different photovoltaic module technologies under İzmit, Kocaeli climatic conditions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 357–365. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.108>
- Bayraç, H.N., Çemrek, F. (2022). Avrupa Birliği ve Türkiye'nin enerji bağımlılığı ve enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 742-762. <https://doi.org/10.30798/makuiibf.799842>
- Bekdaş, D. (2021). Yatırım proje değerlemesinde yeni yaklaşım, *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 216-224. <https://doi.org/10.29106/fesa.862638>
- Boztepe, M. (2017). Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler, *Elektrik Mühendisleri Odası*. https://www.emo.org.tr/ekler/65eb10e64749410_ek.pdf
- Breyer, C., Bogdanov, D., Gulagi, A., Aghahosseini, A., Barbosa, L.S.N.S., Koskinen, O., Barasa, M., Caldera, U., Afanasyeva, S., Child, M., Farfan, J., Vainikka, P. (2017). On the role of solar photovoltaics in global energy transition scenarios, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 25(8), 727–745. <https://doi.org/10.1002/pip.2885>
- Bulut, U., Muratoglu, G. (2018). Renewable energy in Turkey: Great potential, low but increasing utilization, and an empirical analysis on renewable energy-growth nexus, *Energy Policy*, 123, 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.057>
- Carbon Brief. (2024, 29 Ocak). China added more solar panels in 2023 than US did in its entire history, *Carbon Brief*. <https://www.carbonbrief.org/daily-brief/china-added-more-solar-panels-in-2023-than-us-did-in-its-entire-history/>
- Carr, A. J., Pryor, T.L. (2004). A comparison of the performance of different PV module types in temperate climates, *Solar Energy*, 76(1–3), 285–294. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.07.026>
- CW Enerji. (2021). Perc monokristal 144PM [Broşür]. https://www.atakale.com.tr/image/catalog/urunler/paneller/cw/half/410w_405w_400w_cw_tommatech_solar_perc_module_half_cut_9busbar_multibusbar_monokristal_144hucre.pdf
- Çifci, A., Altundağ, E. (2017). Burdur bölgesi güneş enerjisi potansiyelinin elektrik üretiminde kullanılabilirliği, *Mesleki Bilimler Dergisi*, 6(2), 111-120.
- Dağlı, H. (2019). İklim değişikliği ile mücadelede iktisadi mali araç: Karbon vergisi, *Uluslararası Bankacılık Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 30-42.
- Dağtekin, M., Kaya, D., Öztürk, H.H., Kılıç, F.Ç. (2014). A study of techno-economic feasibility analysis of solar photovoltaic (PV) power generation in the province of Adana in Turkey, *Energy Exploration & Exploitation*, 32(4), 719-735. <https://doi.org/10.1260/0144-5987.32.4.719>
- Dal, A. R. (2021). Investigation of the effect of optimum tilt angle on yield in solar energy panels, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 241–250. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.878795>
- Durmaz, F., Akdeniz, R.C., Kömekçi, F. (2017). Fotovoltaik enerji ile tarımsal işletmelerin enerji gereksiniminin karşılanabilirliği: Manisa - Turgutlu örneği, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 13(3), 193-199.
- Durna, B., Özdemir, E.T., Sezen, İ., Kaymak, M.K., Efe, B., Eftimiyadis, K., Şahin, A.D. (2013). 500 kWp kurulu güce haiz bir fotovoltaik tesisin İTÜ Maslak yerleşkesinde HOMER ve Retscreen enerji model yazılımları kullanılarak fizibilite analizinin yapılması, *6th Atmospheric Science Symposium*, 24-26 Nisan, İstanbul, Türkiye.
- Eker, B.S. (2019). Güneş panelleri için optimum eğim açısının belirlenmesi, rüzgarın soğutma etkisinin verime etkilerinin incelenmesi, *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

- Eldin, S.A.S., Abd-Elhady, M.S., Kandil, H.A. (2016). Feasibility of solar tracking systems for PV panels in hot and cold regions, *Renewable Energy*, 85, 228–233. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.051>
- EPDK. (2023). Elektrik piyasası yıllık rapor-elektrik piyasası gelişim raporları listesi, *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*. <https://epdk.gov.tr/detay/icerik/3-0-0-102/yillik-rapor-elektrik-piyasasi-gelisim-raporlari>
- EPDK. (2024). Elektrik faturalarına esas tarife tabloları, *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolarlari>
- ETKB. (2024). Bilgi merkezi, *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. <https://www.enerji.gov.tr/anasayfa>
- Fernández, L. (2024). Share of solar electricity generation worldwide 2010–2023, *Statista*. <https://www.statista.com/statistics/1302055/global-solar-energy-share-electricity-mix/>
- Gedik, T., Akyüz, K.C., Akyüz, İ. (2005). Yatırım projelerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi (İç Karlılık Oranı ve Net Bugünkü Değer yöntemlerinin incelenmesi), *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7(7), 51–61.
- Gezgin, Ç.D. (2023). Güneş panellerinde, güneş takip sistemlerinin ve panel kirliliğinin panel verimliliğine etkisinin incelenmesi, *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne.
- Gürtürk, M. (2019). Economic feasibility of solar power plants based on PV module with leveled cost analysis, *Energy*, 171, 866–878. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.090>
- Hassan, Q. (2021). Evaluation and optimization of off-grid and on-grid photovoltaic power system for typical household electrification, *Renewable Energy*, 164, 375–390. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.008>
- Hassanian, R., Riedel, M., Yeganeh, N., Unnthorsson, R. (2021). A practical approach for estimating the optimum tilt angle of a photovoltaic panel for a long period—experimental recorded data, *Solar*, 1(1), 41–51. <https://doi.org/10.3390/solar1010005>
- Kahraman, M.Ü. (2018). Kütahya bölgesi güneş ve rüzgar enerji potansiyellerinin tekno-ekonomik analizi, *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Anabilim Dalı, Kütahya.
- Kandıra Valiliği. (2024). Kandıra. Kocaeli Valiliği. <http://www.kocaeli.gov.tr/kandira>
- Karabağ, N., Çobanoğlu Kayıkçı, C.B., Öngen, A. (2021). %100 yenilenebilir enerjiye geçiş yolunda dünya ve Türkiye, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21, 230–240. <https://doi.org/10.31590/ejosat.780856>
- Kayıoğlu, B., Diken, B. (2019). Türkiye'de yenilenebilir enerji kullanımının mevcut durumu ve sorunları, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 15(2), 61–65.
- Kılınç Pala, P.B. (2024). Küresel enerji dönüşümü: Yeşil enerji kavramı ve teşvik programları, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(90), 599–610. <https://doi.org/10.17755/esosder.1362565>
- Kwaśniewski, D., Akdeniz, C., Durmaz, F., Kömekçi, F. (2020). Economic analysis of the photovoltaic installation use possibilities in farms, *Agricultural Engineering*, 24(4), 47–60. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2020-0035>
- Mamun, M., Islam, M., Hasanuzzaman, M., Selvaraj, J. (2022). Effect of tilt angle on the performance and electrical parameters of a PV module: Comparative indoor and outdoor experimental investigation, *Energy and Built Environment*, 3(3), 278–290. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.02.001>
- Micheli, D., Alessandrini, S., Radu, R., Casula, I. (2014). Analysis of the outdoor performance and efficiency of two grid connected photovoltaic systems in Northern Italy, *Energy Conversion and Management*, 80, 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.01.053>
- Özbektaş, S., Şenel, M.C., Sungur, B. (2023). Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji durumu ve kurulum maliyetleri, *Mühendis ve Makine*, 64(711), 317–351. <https://doi.org/muhendismakina.1319183>
- Özkaya, S.Y. (2022). Yenilenebilir enerji kaynakları, T.C. Dışişleri Bakanlığı. <https://www.mfa.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.tr.mfa#:~:text=Türkiye%27nin%2C%20hydroenerji%2C%20jeotermal,şanslı%20bölgelerinden%20birinde%20yer%20almaktadır.>
- Pierrehumbert, R. (2019). There is no Plan B for dealing with the climate crisis, *Bulletin of the Atomic Scientists*, 75(5), 215–221. <https://doi.org/10.1080/00963402.2019.1654255>
- Rashwan, S.S., Shaaban, A.M., Al-Suliman, F. (2017). A comparative study of a small-scale solar PV power plant in Saudi Arabia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 313–318. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.233>
- Raturi, A., Singh, A., Prasad, R.D. (2016). Grid-connected PV systems in the Pacific Island countries, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 419–428. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.141>
- Reich, N.H., Mueller, B., Armbruster, A., van Sark, W.G., Kiefer, K., Reise, C. (2012). Performance ratio revisited: Is PR > 90% realistic? Progress in photovoltaics, *Research and Applications*, 20(6), 717–726. <https://doi.org/10.1002/pip.1219>
- Resmi Gazete. (2022, 24 Şubat). Yatırımlarda Devlet Yardımları Hakkında Kararın Uygulanmasına İlişkin Tebliğ (Tebliğ No: 2012/1)’de değişiklik yapılmasına dair tebliğ. Resmi Gazete (Sayı: 31760 (Mükerrer)). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/02/20220224-20.htm>
- Ritchie, H., Roser, M., Rosado, P. (2020). Emissions by sector, Our World in Data. <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>
- Sadiqa, A., Gulagi, A., Breyer, C. (2018). Energy transition roadmap towards 100% renewable energy and role of storage technologies for Pakistan by 2050, *Energy*, 147, 518–533. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.027>
- Solar Proof. (2024). Solar panel information (SPR-P5-530-UPP) [Broşür], *Solar Proof*. <https://www.solarproof.com.au/products/SPR-P5-530-UPP/>
- SolarPower Europe (2023). Global market outlook for solar power 2023–2027, *SolarPower Europe*. <https://www.gensed.org/bilgi-bankasi/global-market-outlook-for-solar-power-2023-2027>

- Suncalc (2024). *Suncalc*. <https://www.suncalc.org/#/41.1122,30.0295,15/2024.02.02/11:01/200/1>
- Taktak, F., Ilı, M. (2018). Güneş enerji santrali (GES) geliştirme: Uşak örneği, *Geomatik Dergisi*, 3(1), 1-21.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.329561>
- TCMB (2024). Gösterge niteliğindeki Merkez Bankası kurları, *Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası*.
https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/kurlar_tr.html
- The World Bank (2020). Global photovoltaic power potential by country, *The World Bank*.
<https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/8a711495-4034-52d3-a5cc-3fcbc98d0738/content>
- TÜİK (2024). TÜİK kurumsal, *Türkiye İstatistik Kurumu*. <https://www.tuik.gov.tr>
- Ulaş, M.S., Damarseçkin, S., Taşkesen, E., Turşucu, A. (2023, Nisan). Çatı GES sistemlerinde örnek portal uygulaması ve verimli panel seçimi, *1st International Conference on Scientific and Innovative Studies*, Konya, Türkiye.
- Väisänen, J., Kosonen, A., Ahola, J., Sallinen, T., Hannula, T. (2019). Optimal sizing ratio of a solar PV inverter for minimizing the levelized cost of electricity in Finnish irradiation conditions, *Solar Energy*, 185, 350–362.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.064>
- Waaree Energies (2023, 23 Mart). What is a grid connected PV system?, *Waaree Energies*.
<https://www.waaree.com/blog/grid-connected-pv-system#>
- Yalılı, M. (2021). İşletmelerde yatırım projelerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi teknikleri, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 1055-1074.
- Zor, E., Cevher, M., Mengüç, G., Soydabaş, M., Bilgiç, A., Ayan, E., Özalaybey, S. (2007). Kocaeli ilinde zemin sınıflaması ve sismik tehlike değerlendirme çalışmaları, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16–20 Ekim, İstanbul, Türkiye.

TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE KÜRESEL SALINIMLARIN OLASI MAKSİMUM YAĞIŞ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Ömer Oğuzhan Arabacı¹, Sevinç Asilhan Sırdaş²

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erzurum 12. Bölge Müdürlüğü, Erzurum Meydan Meteoroloji Müdürlüğü, Erzurum

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İklim Bilimi ve Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Maslak 34469, İstanbul, Türkiye

oarabaci@mgm.gov.tr, sirdas@itu.edu.tr

Özet

Doğal afetler zamanımızın göz ardı edilemez problemlerinin başında gelmektedir. Bu doğal afetlerin insan hayatını en çok etkileyenlerinin başında kuraklık ve sel gelmektedir. Bu makalede Olası Maksimum Yağış (PMP) yöntemi için Türkiye'de bulunan her bir il için birer istasyon seçilmiş ve 81 il için PMP hesaplaması yapılmıştır. 1975-2022 yılları arasında günlük toplam maksimum yağış değerleri ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. 48 yıllık verilere uygulanan formüller sonucu her il için birer tane PMP değeri elde edilmiştir. Olası Maksimum Yağış (PMP) yönetimi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, özellikle Akdeniz kıyı şehirlerinde PMP değerleri diğer illere göre daha yüksek çıkmıştır. Mezo ölçekteki analizler neticesinde yağışların kümülönimbus bulutları ile konvektif hava hareketlerinin maksimum olduğu yerlerin PMP değerlerinin de yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun neticesinde günlük toplam yağışın maksimum olduğu şehirler bu yağışları konvektif hava hareketleri sayesinde almaktadır. İç kesimlerde ise çok büyük PMP değerleri olmamasına rağmen gerekli tedbirler alınmazsa buralarda da sel ve taşkın riskleri vardır ama risk analizi yapıldığında sel ve taşkın için sadece günlük toplam yağış baz alındığında kıyı şeritleri genel olarak çok daha risklidir. Günlük toplam maksimum yağış değerlerinin küresel okyanus salınımları ile korelasyonu incelendiğinde 5-20 yıllık değişen periyotlarda korelasyonlar mevcuttur ama genel olarak bir korelasyondan söz edilemez. Bu yüzden Olası Maksimum Yağış (PMP) verisinin indekslerle karşılaştırmak sağlıklı bir sonuç vermeyebilir ama kısa süreli analizler için etkileşimler mevcuttur. GFDL-ESM4 modelinin SSP1-1.9 ve SSP5-8.5 iklim değişikliği senaryolarına göre, Türkiye'de 2050 yılına kadar sıcaklık değerlerinin artması ve yağış değerlerinin azalması beklenmektedir. PMP analizleri sonucu, PMP değerlerinin en yüksek olduğu bölgeler yıl içerisinde en çok konvektif hava olaylarına maruz kalan Akdeniz bölgesinde olduğu için buradaki sıcaklık değişimlerinin konvektif hareketlerin tetiklenmesine yol açarak PMP değerlerinin artmasına neden olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Türkiye Olası Maksimum Yağış Analizi, Küresel Salınımlar, İklim Değişikliği

EFFECTS OF CLIMATE CHANGE AND GLOBAL OSCILLATIONS ON PROBABLE MAXIMUM PRECIPITATION IN TURKEY

Abstract

Natural disasters are one of the most unignorable problems of today. Among these natural disasters, drought and flood are among the ones that affect human life the most. In this article, to use the Probable Maximum Precipitation (PMP) method, one station from each province in Turkey was selected and PMP calculation was made for 81 provinces. Calculations were made with daily total maximum precipitation values between 1975-2022. The results obtained as a result of the Probable Maximum Precipitation (PMP) method show us that PMP values are higher in provinces on the Mediterranean coast than in other provinces. As a consequence of mesoscale analysis, it was determined that PMP values were high in places where cumulonimbus clouds and convective air movements were frequently observed. When the correlation of daily total maximum precipitation values with global ocean oscillations is reviewed, there are some minor correlations in periods ranging from 5 to 20 years, but in general, a dependable correlation cannot be mentioned. Therefore, comparing Maximum Possible Precipitation data with indices may not give a trustworthy result, but it has relatively meaningful interactions with analyses for short periods. As reported by the SSP1-1.9 and SSP5-8.5 climate change scenarios of the GFDL-ESM4 model, an increase in temperature values and a decrease in precipitation values are expected in Turkey until 2050. The region with the highest PMP values is the Mediterranean region, and since the Mediterranean is the region most exposed to convective weather events throughout the year, temperature changes here may trigger convective movements and cause an increase in PMP values.

Keywords: Turkey Probable Maximum Precipitation Analysis, Global Oscillations, Climate Change

Sorumlu Yazar: Ömer Oğuzhan Arabacı

Geliş Tarihi: 25 Nisan 2024

Kabul Tarihi: 20 Kasım 2024

Yayın Tarihi: 31 Aralık 2024

Atıf Şekli: Arabacı, Ö.O., Sırdaş, S.A. (2024). Türkiye'de İklim Değişikliği Ve Küresel Salınımların Olası Maksimum Yağış Üzerindeki Etkileri, *Atmosfer ve İklim Dergisi*, 2(1), 78-94.

Makale Tipi: Araştırma Makalesi

e-ISSN: 3023-8560

GİRİŞ

Olası veya olması mümkün olan maksimum yağış (PMP), uzun vadeli iklim eğilimleri dikkate alınmadan, yılın belirli bir zamanında belirli bir yerde, tasarım havzası veya belirli bir fırtına alanı için meteorolojik olarak mümkün olan belirli bir süre boyunca meteorolojik olarak mümkün olan en büyük yağış derinliğidir (WMO, 2009). Olası Maksimum Yağış (PMP)'in hesaplanması ve tahmini için literatürde birçok farklı yöntem mevcuttur. Temel olarak bu yöntemlerin iki ayrı kategoriye ayrıldığı söylenebilir. Bunlar, fiziksel yöntemler ve istatistiksel yöntemlerdir. Bunların arasında PMP hesaplaması ve analizi için Hershfield yöntemi, etkili bir istatistiksel araç olarak kabul edilmektedir (Sarkar ve Maity, 2020). Yeterince uzun yağış verilerin olması durumunda başka verilere ihtiyaç duyulmadan hesaplamalar bu yöntem ile yapılabilmektedir. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından çeşitli kılavuzlarda ve teknik yayınlarda PMP'yi tahmin etme yöntemlerinden biri olarak Hershfield yöntemini önerilmiştir (WMO, 2009).

Hershfield'in Olası Maksimum Yağış tahmini için yapılan çalışmalar incelendiğinde elde edilen sonuçların tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Dünyanın farklı ülkelerinde yapılan bu çalışmalara Kanada'da (Bruce ve Clark, 1980), Amerika Birleşik Devletleri'nde (Meyers, 1967), İzlanda'da (Eliasson, 1997) ve Avustralya'da (Wiesner, 1970) örnek gösterilebilir. Bu çalışmalar incelendiğinde PMP'nin birçok farklı kıtada çalışıldığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden Hershfield'in yöntemi bu çalışmada seçilmiştir.

PMP değerlerinin elde edilmesi birçok gelecek çalışmanın da temelini oluşturabileceği için önem taşımaktadır. Hidrologlar maksimum güvenilirlik ve emniyet için hidrolojik yapıların tasarımında kullanılan çeşitli kavramsal taşkın olaylarından biri olan Olası Maksimum Taşkın (PMF) değerlerini tahmin etmek için PMP büyüklüğünü ve bunun mekansal ve zamansal dağılımlarını kullanır (Casas vd., 2008). Bu yüzden Türkiye'nin taşkın ve sel değerlendirmelerini yapabilmek için PMP yöntemini kullanmak gerekebilmektedir. Bu çalışmada PMF hesaplarına girilmeden PMP için en doğru hesaplamayı yapıp farklı istatistiksel yöntemlerle ve farklı meteorolojik olaylarla ilişkileri incelenmesine karar verilmiştir.

PMP yaklaşımı gerçekte hiçbir şekilde sıfır risk anlamına gelmez (Koutsoyiannis, 1999). Farklı istatistiksel yaklaşımlarla ve farklı meteorolojik olaylarla ilişkilendirilerek bu riski en aza indirmek hedeflenmiştir. Bu yüzden Türkiye'yi dolaylı etkileme ihtimali bile az olan salınımlarla bile korelasyonları incelenerek sonuçların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

YÖNTEM

Bu çalışma için günlük toplam yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Veriler 1975 Ocak ayından başlayıp 2022 Aralık ayına kadardır ve 81 ilin her birisi için ayrı bir istasyon seçilmiştir. Veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından istasyonda yapılan manuel ölçümlerden elde edilmiştir çünkü Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) verileri geçmiş yıllara kadar bulunmamaktadır.

Her istasyona ayrı olarak Hershfield (1961a ve 1961b) ve Chow (1951) tarafından önerilen genel frekans denkleminde dayanarak Olası Maksimum Yağış (PMP) tahmini için temel denklem aşağıdaki gibidir.

$$K_m = (X_m - \bar{X}_{n-1}) / (\sigma_{n-1}) \quad (1)$$

$$PMP = \bar{X}_n + K_m * \sigma_n \quad (2)$$

Kullanılan 1 ve 2 denklemlerinde X_m veri kümesinin maksimum değerini, \bar{X}_{n-1} maksimum değer hariç veri setinin ortalamasını, σ_{n-1} maksimum değer hariç veri setinin standart sapmasını ifade eder. Bu parametreler kullanılarak K_m katsayısı elde edilir. Bu katsayı ile birlikte, \bar{X}_n tüm veri setinin ortalamasını, σ_n tüm veri setinin standart sapmasını ifade eder ve bu değişkenlerle PMP katsayısı bulunur. PMP katsayısı (kg/m^2) bölgeye düşebilecek olası maksimum yağışın ifadesidir.

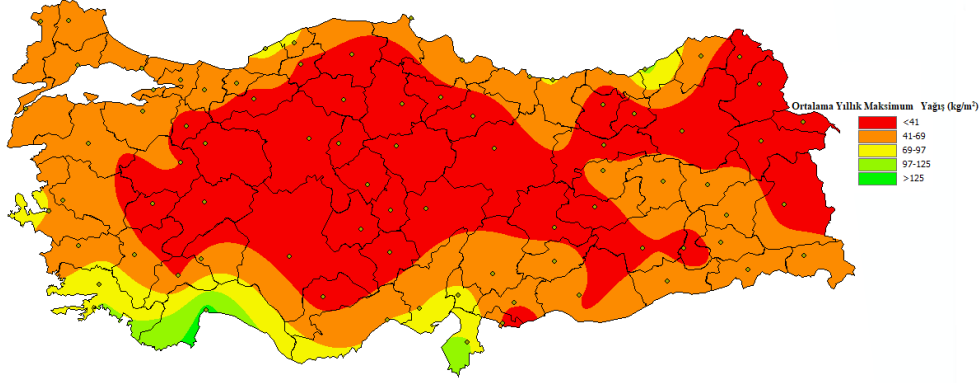
İklim değişikliği verilerinin analizi için Python programlama dili kullanılmıştır. Copernicus İklim Değişikliği Hizmeti (Web 1) sitesinden alınan veriler Python ile çalıştırılıp 2023'ten 2100'e kadar İstanbul için yağış

verilerinin ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen verilerinin görselleştirilmesi için ArcGIS programının ArcMap uzantısı çalıştırılmıştır. Yapılan tüm haritalarda noktasal veriyi harita üzerinde tamamlamak için ArcMap'te tekrarlamalı sonlu farklar interpolasyonu kullanılmıştır. Korelasyon analizleri için Pearson Korelasyon Analizi yöntemi kullanılmıştır. Bu makalenin amacı, PMP yöntemi kullanılarak Türkiye'nin her ili için sonuç elde etmek ve bu sonuçları bir harita üzerinde gösterip güncel bir Türkiye PMP haritası oluşturmaktır. Ayrıca çıktılar küresel okyanus salınımları ile karşılaştırıp uyumlu olup olmadığını incelemek ve iklim değişikliği senaryolarına göre bu çıktıları yorumlamaktır. 81 il için seçilen istasyonlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan şehirler ve istasyon numaraları

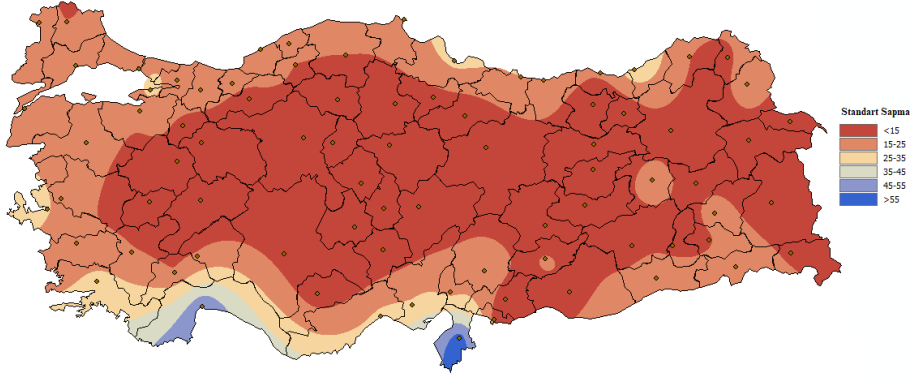
Şehir	İstasyon No	Şehir	İstasyon No	Şehir	İstasyon No	Şehir	İstasyon No
Adana	17351	Çanakkale	17112	Karabük	17078	Osmaniye	17355
Adıyaman	17265	Çankırı	17080	Karaman	17246	Rize	17040
Afyonkarahisar	17190	Çorum	17084	Kars	17097	Sakarya	17069
Aksaray	17192	Denizli	17237	Kastamonu	17074	Samsun	17030
Amasya	17085	Diyarbakır	17280	Kayseri	17196	Siirt	17210
Ankara	17130	Düzce	17072	Kilis	17262	Sinop	17026
Antalya	17300	Edirne	17050	Kocaeli	17066	Sivas	17090
Ardahan	17046	Elazığ	17201	Konya	17244	Şanlıurfa	17270
Artvin	17045	Erzincan	17094	Kütahya	17155	Şırnak	17287
Aydın	17234	Erzurum	17096	Kırklareli	17052	Tekirdağ	17056
Ağrı	17099	Eskişehir	17226	Kırıkkale	17135	Tokat	17086
Bahkesir	17152	Gaziantep	17261	Kırşehir	17160	Trabzon	17037
Bartın	17020	Giresun	17034	Malatya	17199	Tunceli	17165
Batman	17282	Gümüşhane	17088	Manisa	17186	Uşak	17188
Bayburt	17089	Hakkari	17285	Mardin	17275	Van	17172
Bilecik	17120	Hatay	17372	Mersin	17340	Yalova	17119
Bingöl	17203	Isparta	17240	Muğla	17292	Yozgat	17140
Bitlis	17207	Iğdır	17100	Muş	17204	Zonguldak	17022
Bolu	17070	İstanbul	17064	Nevşehir	17193		
Burdur	17238	İzmir	17220	Niğde	17250		
Bursa	17116	Kahramanmaraş	17255	Ordu	17033		

Kullanılan 1 ve 2 denklemleri için elde edilen katsayı ve istatistiksel veriler harita haline getirilmiştir. Bu haritalar Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.

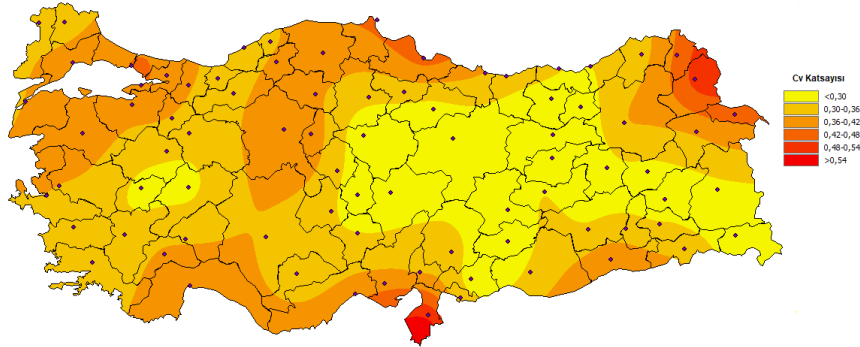


Şekil 1. 1975-2022 günlük maksimum yağışların yıllık ortalaması (kg/m²)

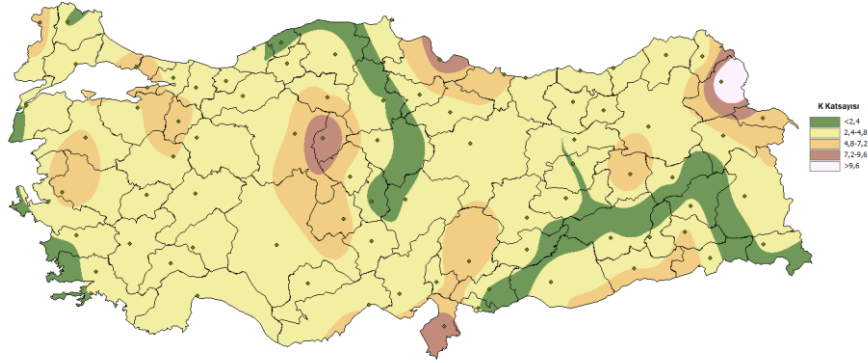
Şekil 1'de 1975-2022 arası Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan veriler ile 81 şehir için 48 yıllık ortalamalar hesaplanmıştır. Akdeniz Bölgesi'nde ortalamalar diğer şehirlere göre oldukça fazladır. Bu bölgede elde edilen yüksek ortalamalar PMP'nin de yüksek çıktığı bölgelere etki etmiştir.



Şekil 2. 1975-2022 günlük maksimum yağışların standart sapması



Şekil 3. 1975-2022 günlük maksimum yağışların Cv katsayısı

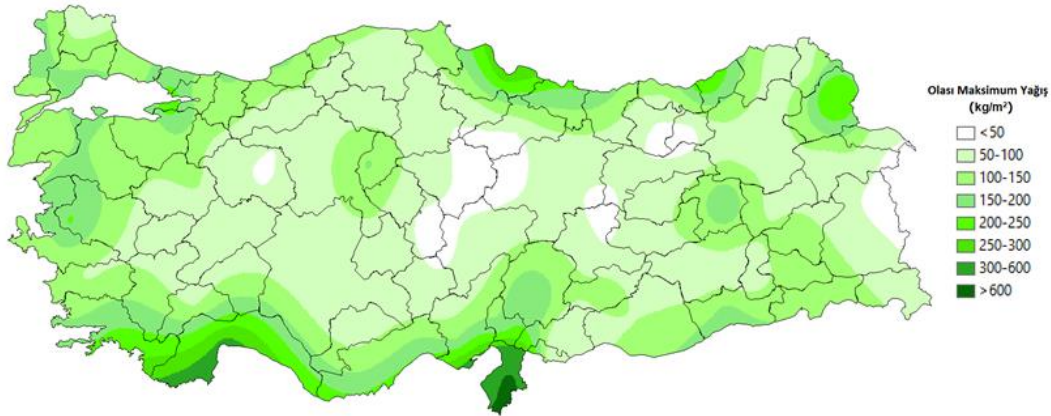


Şekil 4. 1975-2022 günlük maksimum yağışların K katsayısı

Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te, 1975-2022 arası 48 yıllık veri ile hesaplanan standart sapmalar, Cv ve K katsayıları görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde standart sapma haritası genel olarak ortalama yağış haritası ile benzerlik göstermektedir. Şekil 3 ise aynı veri setinin Cv katsayısı yani standart sapmanın ortalamaya bölünmesi ile elde edilen katsayının haritasıdır. Şekil 3'te verilen Cv katsayıları Şekil 1 ve 2'ye benzerlik gösterse de özellikle İç Anadolu'da farklılıklar mevcuttur. Şekil 4'ten ise, K katsayılarının en yüksek olduğu yerin PMP haritasından farklı olarak Akdeniz'de değil Kars'ta olduğu görülmektedir. Kırıkkale ve Samsun'da da yüksek K değerleri mevcuttur.

BULGU VE DEĞERLENDİRMELER

Yapılan çalışma sonucu 81 il için 48 yıllık veriler kullanılarak, her ilin Olası Maksimum Yağış'ı (PMP) bulunmuştur. PMP verileri için analiz yapıldığında Akdeniz ve Karadeniz kıyıları gibi belirli bölgelerde yüksek değerler olduğu gözükmemektedir. Şekil 5'e bakıldığında Türkiye haritası üzerinde şehirlerin PMP dağılımı haritası görülmektedir.



Şekil 5. Türkiye PMP dağılımı

Türkiye üzerindeki dağılımda kıyı bölgeleri ile iç bölgeler arasında oldukça fazla fark vardır. Karadeniz, Ege Denizi, Marmara Denizi ve Akdeniz'e kıyısı olan şehirlerde maksimum yağış değerleri fazlayken özellikle İç Anadolu Bölgesi'nde maksimum yağış değerleri kıyı şehirlerine göre oldukça düşüktür. Bu da yıl içerisindeki maksimum yağışların kıyılarda çok daha fazla olduğunu göstermektedir.

PMP'nin yüksek olduğu yerlerde diğer şehirlere göre daha çok sel ve su baskınına maruz kalacağı söylenemez. PMP değerlerinin yüksek olduğu yerlerde şehirleşme, dere yataklarının kullanımı, toprak geçirgenliği gibi faktörler dikkate alınarak yapılan çalışmalar sonucu sel ve su baskını olayları önlenabilir. Tam tersine PMP

değerlerinin ortalama veya düşük olduğu şehirlerde bu konular dikkate alınmazsa gelecek yıllarda sel ve su baskını sayısı PMP değerlerinin yüksek olduğu şehirlere göre daha fazla olabilir. Bu yüzden PMP hesabının kullanılırken yüksek PMP değerlerine sahip şehirler önem arz ederken, daha düşük PMP değerine sahip şehirlerde göz ardı edilmemelidir. İleride yapılacak çalışmalarda Türkiye'nin kıyı ve iç bölgelerin yağışa etkisi, kara ve deniz etkileşimi, topoğrafik olarak kısa mesafede artan yükseklik değişimleri ve yüksek çözünürlüklü uyduların verilerinin kullanılması daha faydalı sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir.

Küresel Salınımlar

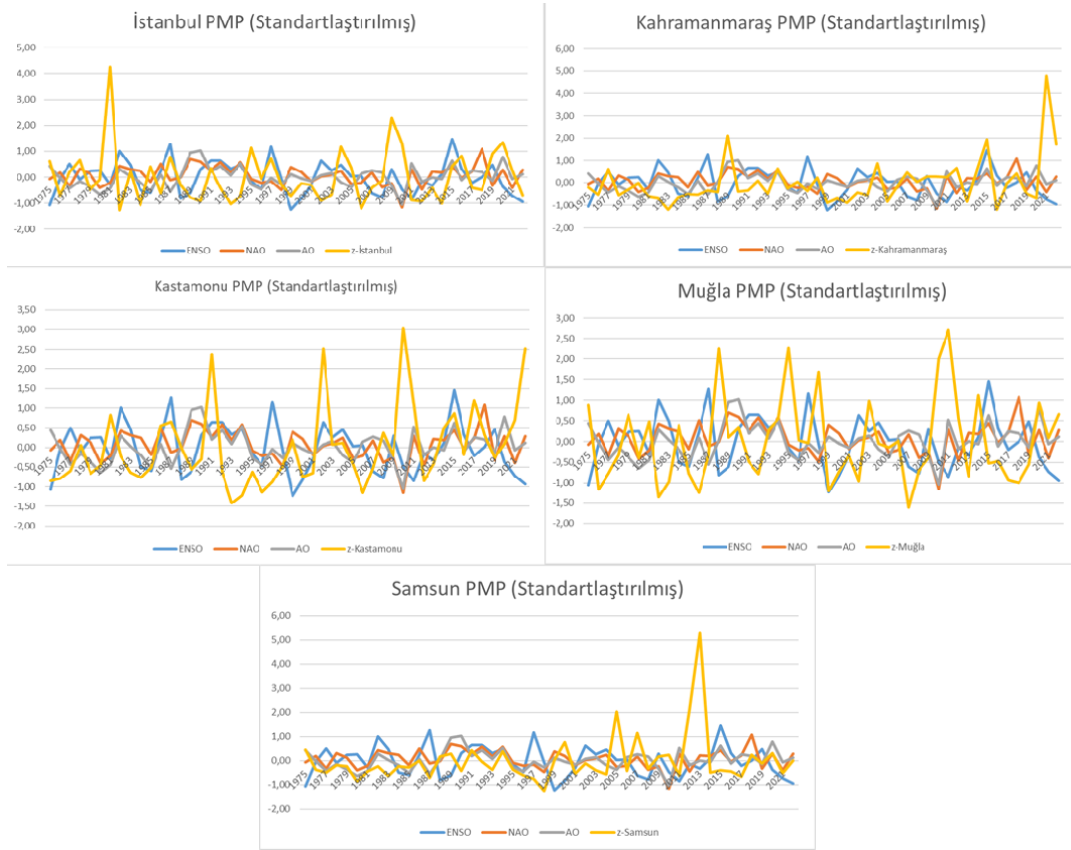
Atmosferik sirkülasyonlar dünya ikliminin önemli belirleyicilerindedir ve atmosferik dolaşımdaki sapmalar iklimsel değişikliklerle kuvvetli bir şekilde ilişkilidir (Nicholls vd., 1996). El Nino Güney Salınımı (ENSO), Arktik Salınım (AO) ve Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) dünyanın birçok bölgesini farklı bir şekilde etkilemektedir. Örnek olarak Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) indeksine göre negatif değerler Akdeniz bölgesindeki yağışları artırır (Cook vd., 2016). Arktik Salınım (AO) indeksine göre ise negatif değerler kutup havasının güneye kaymasına ve Akdeniz havzasının soğuk kış ayları geçirmesine sebep olur (Rigor vd., 2002). El Nino Güney Salınımı'nda (ENSO) etkilediği bölgelerde okyanus suyu sıcaklıklarının artmasına ve dolayısıyla bu bölgelerdeki atmosferin ısınmasına yol açar (US Department of Commerce, 2016). Bu yüzden bu bölgelerde konvektif hava hareketlerinin artması ve konvektif hareket kaynaklı şiddetli yağışların oluşması beklenir.

Olası Maksimum Yağış (PMP) verilerinin hesaplanmasında kullanılan günlük maksimum yağış verileri ile küresel okyanus salınımları arasındaki ilişki incelenmiştir. Bunun için Türkiye'de son yıllarda sel felaketine maruz kalmış 5 il seçilmiştir. İstanbul, Kahramanmaraş, Kastamonu, Muğla ve Samsun örnek kümesi olarak seçilmiş ve bu 5 ilin standartlaştırılmış maksimum günlük toplam yağış değerleri ENSO, AO ve NAO indeksleri ile karşılaştırılmıştır. Tablo 2'de Pearson korelasyon analizi sonuçları mevcuttur. Şekil 6'da ise seçilen 5 şehrin standartlaştırılmış verisinin yıllara göre ENSO, NAO ve AO ile grafikleri verilmiştir.

Tablo 2. Kastamonu, Muğla, Kahramanmaraş, İstanbul ve Samsun illerinin standartlaştırılmış yağış verisinin ENSO, NAO ve AO indeksleri ile Pearson korelasyonu değerleri

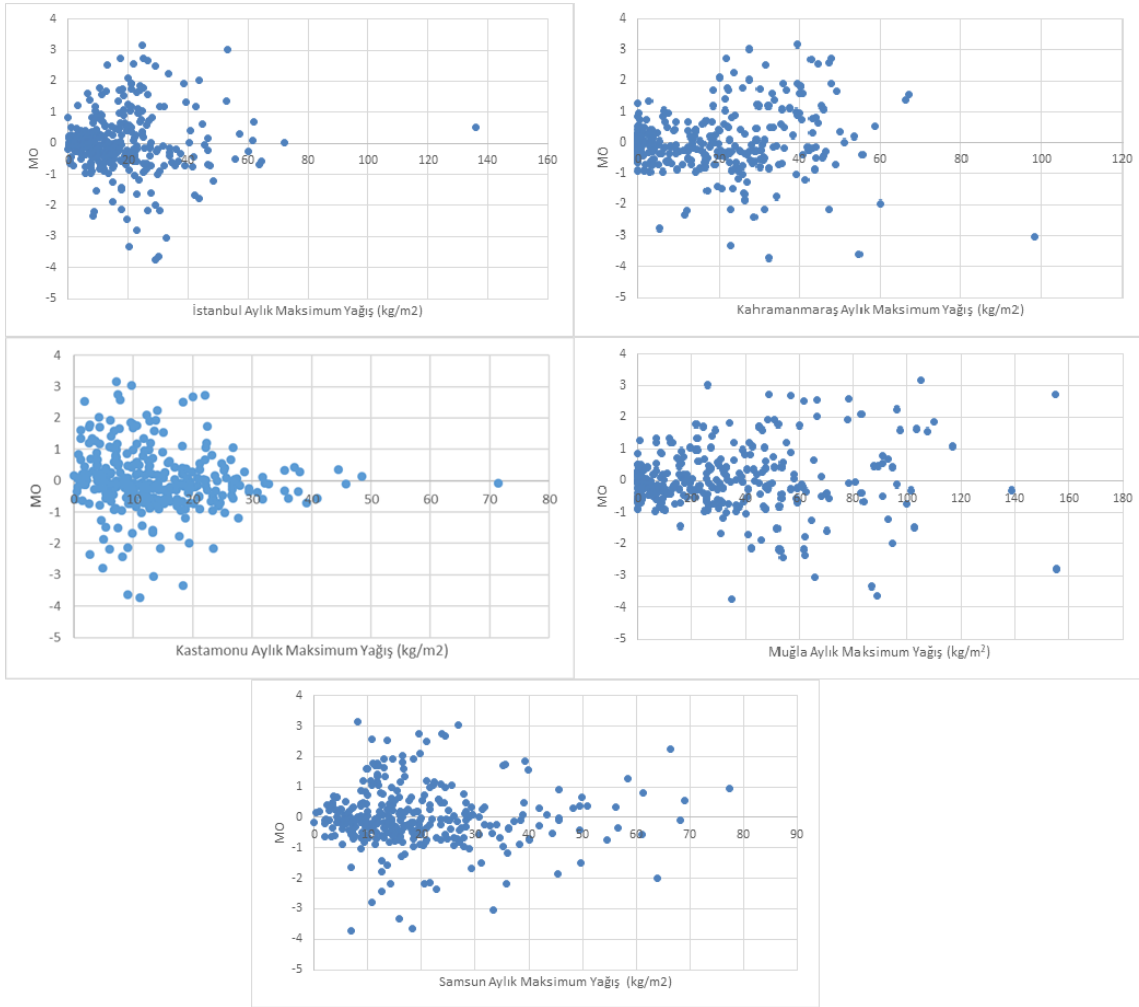
Salınım İndeksleri	Kastamonu	Muğla	Kahramanmaraş	İstanbul	Samsun
ENSO	-0,03	-0,27	-0,11	0,07	-0,20
NAO	-0,09	-0,28	-0,03	-0,37	0,06
AO	-0,07	-0,06	0,15	-0,38	0,06

Seçilen 5 il için ENSO, NAO ve AO indeksleri ile 48 yıllık veri kümesine Pearson Korelasyon Analizi uygulanmıştır (Tablo 2). Anlamlılık katsayısı 0,5 seçilmiştir. 0,5 değerinin üzerinde veya -0,5 değerinin altında bir değer olmadığı için korelasyon tüm veri seti için anlamlı olmadığı sonucu çıkarılmıştır. Burada -0,37 ve -0,38 değerleri anlamlılık katsayısına yakın olduğu için küçük bir ilişkiden söz edilebilir. Genel olarak 0'a yakın değerler alan korelasyon sonuçları, veri kümeleri arasında güçlü bir korelasyon olmadığını göstermektedir. Daha kısa süreli korelasyon analizi yapıldığında, örnek olarak 2011-2019 yılları arası Kahramanmaraş ile AO indeksi arasında sonuç 0,59 olarak bulunmuştur. Bu yüzden bu yıllar arası AO ile Kahramanmaraş yağış verisi arasında güçlü bir korelasyon mevcuttur ama 48 yıllık veri setinde bir uyum söz konusu değildir. AO indeksine göre bu yıllar arası genel olarak negatif olan değerler bu bölgede soğuk kış ayları geçirmesine sebep olur (Kryzhov ve Gorelits, 2015). Soğuk geçen kış aylarında konvektif hareketler kaynaklı yağışlarında daha az olması beklendiği için Kahramanmaraş maksimum yağış verisi incelenmiş ve bu aralıkta yağışların genel olarak ortalamada seyrettiği belirlenmiştir. Bu da Kahramanmaraş'ın yağış verilerinin bu yıllar arasında AO kaynaklı anlık maksimum değerlere ulaşma ihtimalinin azaldığını gösterebilir.



Şekil 6. İstanbul, Kahramanmaraş, Kastamonu, Muğla ve Samsun illerinin standartlaştırılmış maksimum yağış verileri ile ENSO, NAO, AO karşılaştırması

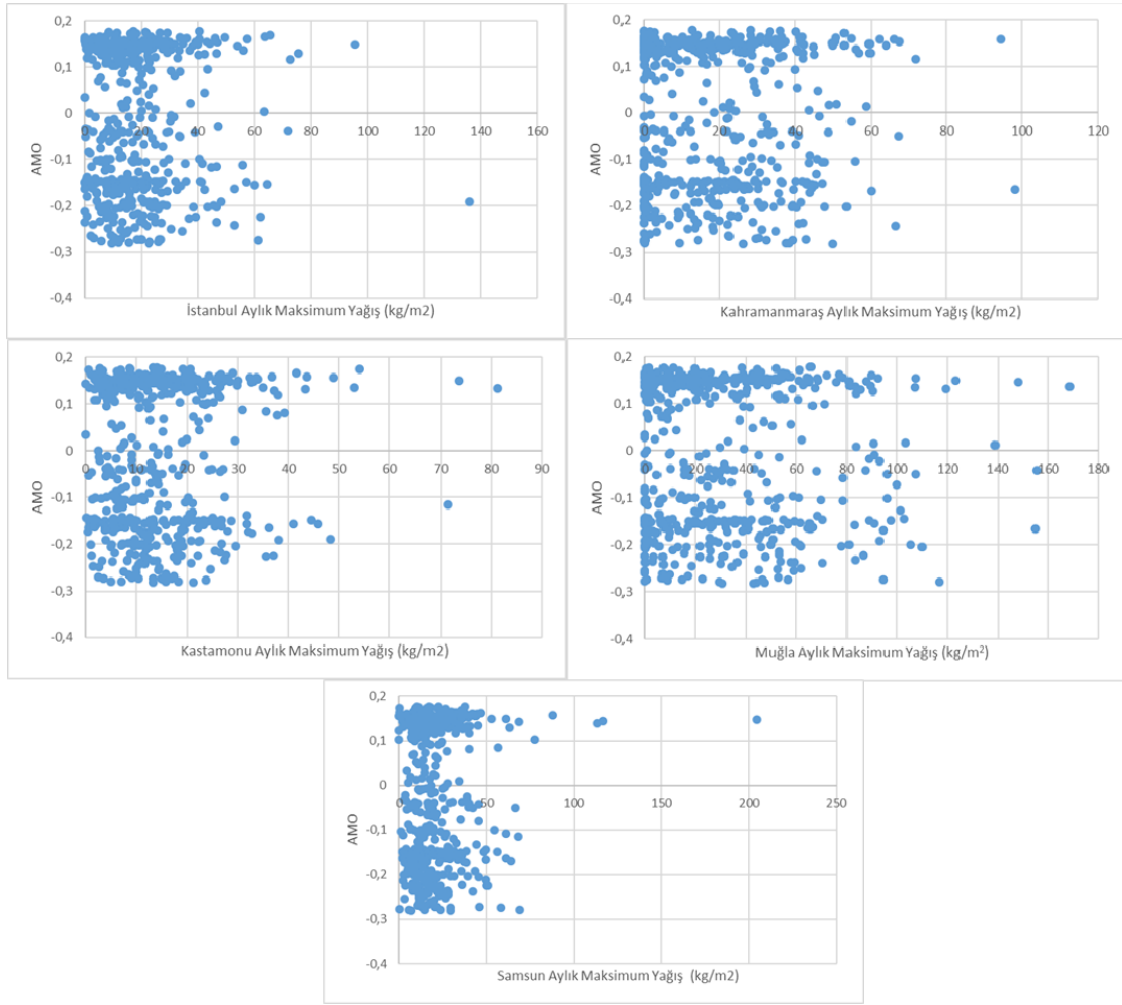
Şekil 6 incelendiğinde, genel olarak İstanbul verisi ile ENSO arasında bazı yıllarda korelasyon vardır ama genel olarak bir korelasyondan söz edilemez. 1984-1989 yılları arasında ENSO indeksi incelendiğinde genel olarak negatif değerler vardır ve bu değerler okyanus suyu sıcaklıklarının ortalamasının altında olduğunu ifade eder. ENSO'nun Türkiye sahillerini direkt olarak etkilemesi beklenmez ama dolaylı yollardan etkileyebileceği için korelasyon analizi yapılmıştır. Etrafı su ile çevrili olan İstanbul'da deniz suyu sıcaklıklarının azalmasıyla atmosferik konvektif hareketlerin zayıfladığı düşünülürse anlık şiddetli yağışların azalması da beklenir. Aynı yıl aralığında İstanbul maksimum yağış verisi incelendiğinde ortalamasının altında seyreden yağış verileri ENSO indeksi ile uyumludur, ancak durumun daha ayrıntılı analiz edilmesi gerekmektedir. Kastamonu ili için 3 indeks ile aralarında bir korelasyon mevcut değildir. Daha kısa süreli periyotlarda korelasyon analizleri de yapılmıştır ama anlamlı bir sonuç bulunamamıştır ve bu da Kastamonu ilinin maksimum yağışlarının küresel okyanus salınımları ile ilişkili olmadığını göstermektedir. Muğla ilinde ekstrem veri şeklinde birkaç tepe noktası vardır ve bunlar ENSO indeksinde de bir miktar benzerlik gösterse de genel olarak korelasyon mevcut değildir. Samsun ilinin maksimum yağış verileri ile NAO indeksinin özellikle 2002-2006 yılları arasında ters bir ilişkide olduğu tespit edilmiştir. Bu yıllar arası NAO ve Samsun ili maksimum yağış verileri ile korelasyon analizi yapıldığında sonuç $-0,67$ bulunmuştur. NAO indeksinin negatif olduğu yıllarda Akdeniz havzası ve civarında yağışların artması beklenmektedir. Bu yıllar arası negatif NAO değerleri varken Samsun'da maksimum yağış değerleri yüksektir, pozitif NAO değerleri varken maksimum yağış değerleri düşüktür. Bu yüzden 2002-2006 yılları arasında yağışların NAO kaynaklı olabileceği söylenebilir. Şekil 7'de seçilen 5 şehrin Akdeniz Salınımı ile saçılma diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 7. İstanbul, Kahramanmaraş, Kastamonu, Muğla ve Samsun illerinin maksimum yağış verileri ile Akdeniz Salınımı (MO) saçılma diyagramı

Türkiye'yi ve Akdeniz havzasıyla asıl ilişkilendirilebilir salınımlardan birisi Akdeniz Salınımı (MO)'dur. Akdeniz salınımı ilk olarak Cezayir ve Kahire bölgeleri arasındaki yüzey seviyesi basıncı anomalileri olarak tanımlanmıştır (Conte vd., 1989). Daha sonra Palutikof (2003) Cebelitarık ve İsrail bölgeleri arasındaki yüzey seviyesi basıncını hesaplayarak Akdeniz Salınımı (MO)'nu tanımladı. Özellikle Türkiye'de ki deniz kıyısındaki şehirlerin MO indeksi ile karşılaştırılması salınımın oluştuğu merkezin Türkiye'ye konumsal olarak daha uzak salınımlara göre daha tutarlı sonuçlar verebilir. Akdeniz Salınımı'nın pozitif fazında siklogenez anormal derecede yoğunken, negatif fazda ise anormal derecede zayıftır (Suşelj ve Bergant, 2006). Bu yüzden MO indeks değerleri pozitifken şiddetli yağışların oluşması beklenirken negatif değerlerde konvektif kaynaklı şiddetli yağışların oluşması beklenmez.

Şekil 7 incelendiğinde genel olarak 5 şehirde MO indeks değerleri ile aylık maksimum yağışlar arasında 0'a yakın korelasyon katsayısı bulunmuştur. Diğer salınım indekslerinde olduğu gibi dönemsel olarak bakıldığında ise birkaç aylık ve yıllık değerlerde kısa süreli korelasyonlar olsa da genel olarak bir korelasyonda söz edilemez. Atlantik 60-80 Yıllık Salınım (Multi-decadal Oscillation; AMO)'ı indeksine göre pozitif aşamalar Kuzey Atlantik'in büyük bölümünde okyanus yüzeyi sıcaklığında artma etkisi yaparken, negatif faz Kuzey Atlantik üzerinde soğuk okyanus yüzeyi sıcaklıkları anlamına gelir (Web 2). Okyanus yüzeyi sıcaklıkları konvektif hava hareketlerini etkilediği için ve Atlantik üzerinden Akdeniz'in de deniz yüzeyi sıcaklıklarını etkileyebileceği için seçilen 5 şehir için AMO değerleri ile korelasyonu incelenmiştir. Şekil 8'de seçilen 5 şehrin AMO indeksi ile saçılma diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 8. İstanbul, Kahramanmaraş, Kastamonu, Muğla ve Samsun illerinin maksimum yağış verileri ile AMO saçılma diyagramı

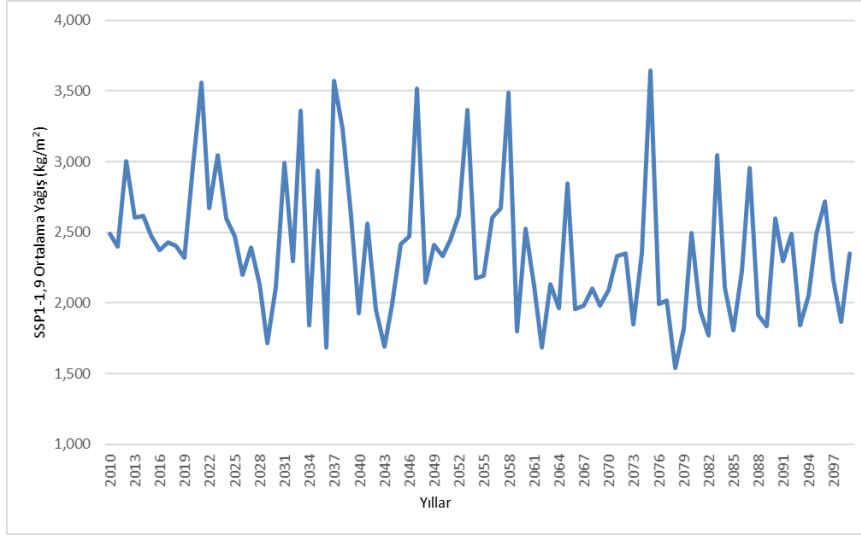
Şekil 8 incelendiğinde seçilen şehirler için diğer tüm salımlarla ilişkisinde olduğu gibi AMO indeksi değerleri arasında da genel olarak anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır. Korelasyon katsayısı genel olarak 0'a yakındır.

İklim Değişikliği, Aşılma Olasılığı, Tahmini Dönüş Aralığı ve Sıklık Grafikleri

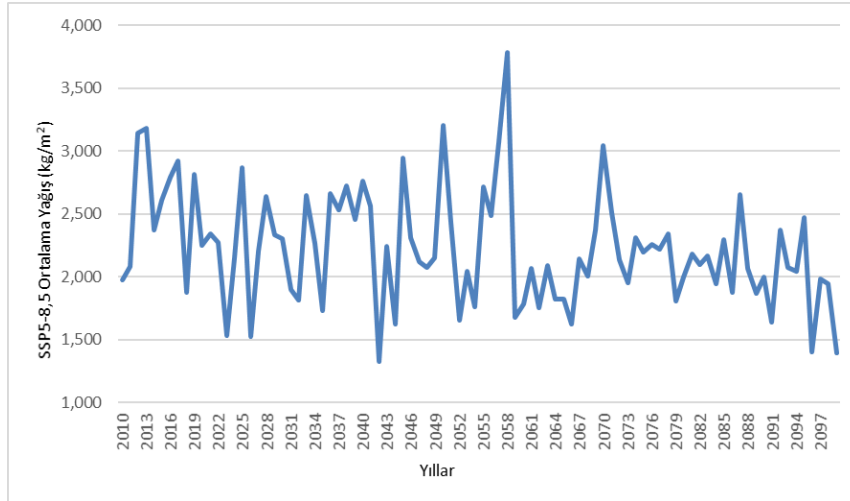
Geçtiğimiz yüzyıl boyunca hem sıcaklıkta hem de yağışta belirgin bir artışla birlikte küresel iklim değişiklikleri gözlemlenmiştir (Alexander vd., 2006). Isınan iklimin önemli bir sonucu ise hem gözlemsel hem de model bazlı çalışmaların da desteklediği üzere aşırı yağışların artmasıdır (Christensen ve Christensen 2004; Sırdaş, Öztöpal ve Şen, 2013; Wang vd., 2017; Papalexiou ve Montanari, 2019). Bu yüzden iklim değişikliği ile beraber ısınan bölgelerde meydana gelebilecek aşırı yağışlar şiddetli sel ve taşkın felaketlerine yol açabilir. Bunun için iklim değişikliği senaryoları ile PMP verilerini yorumlamak ileride meydana gelebilecek seller için önlem alınması adına önem arz etmektedir.

İklim değişikliği senaryoları için bilim insanları Paylaşılan Sosyoekonomik Rotalar (Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)) ismi verilen senaryolar geliştirmiştir. Bu senaryolarda modeller çalıştırılıp gelecek yüzyıllar için meteorolojik parametrelerin nasıl değişeceği tahmin edilmektedir. 2100 yılına kadar karbondioksit konsantrasyonları en düşük (SSP1-1,9) ve en yüksek (SSP5-8,5) emisyon senaryoları için 393 ila 1135 ppm arasında değişmektedir (Meinshausen vd., 2020). Fosil yakıtlarındaki kullanımın gelecekte artmasına ve karbondioksit başlıca olmak üzere sera gazlarının miktarındaki artışla bu senaryolar belirlenmiştir.

İklim değişikliğinin modellenmesi için GFDL-ESM4 modeli kullanılmıştır. Bu modelin SSP1-1.9 ve SSP5-8.5 senaryoları incelenmiş ve PMP ve yıllık maksimum yağışlar ile karşılaştırılmıştır. Bu senaryolara göre genel olarak ortalama yağışların Türkiye genelinde 2050'ye kadar azalması ve ortalama sıcaklık değerlerinin artması beklenmektedir. 2050'den sonra 2100 yılına kadar yağış rejimindeki değişimlerin çok daha fazla olması beklenmektedir. SSP1-1.9 ve SSP5-8.5 (Paylaşılan Sosyoekonomik Rotalar) senaryolarında, SSP1-1.9 senaryosu sürdürülebilir bir gelecek için daha iyimser olarak hazırlanmış ve fosil yakıtların kullanımının minimum ölçüye indirildiği senaryo iken, SSP5-8.5 senaryosu fosil yakıtların kullanımının devam ettiği kötümser bir senaryodur. İstanbul için 2023'ten 2100'e kadar değişim Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 9. SSP1-1.9 İstanbul beklenen ortalama günlük yağış verisi (kg/m²).



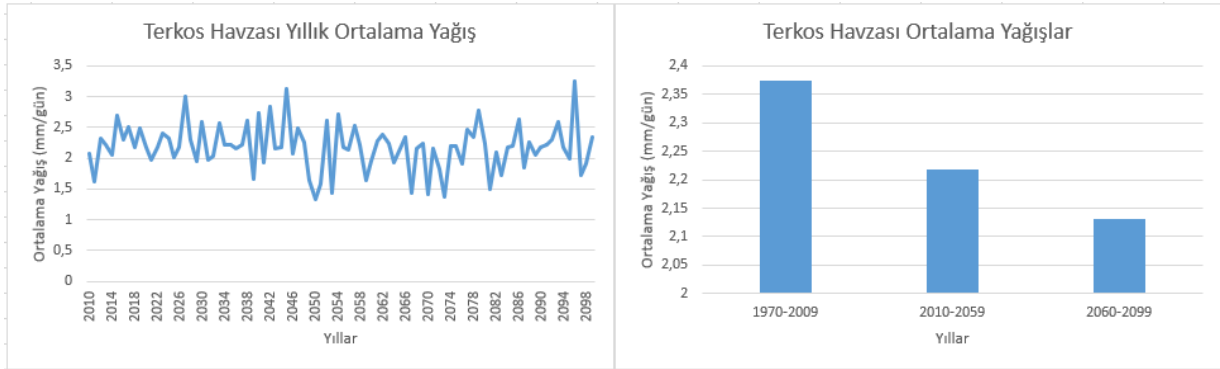
Şekil 10. SSP5-8.5 İstanbul beklenen ortalama günlük yağış verisi (kg/m²).

Şekil 9'a göre SSP1-1.9 senaryosu iyimser bir senaryo olduğu için sonuçlarında da yıllık toplam yağış değerleri nispeten daha fazladır. Genel olarak yağışların yıllık bazda azaldığı verilerde gözlemlenmiştir. Şekil 10'a göre SSP5-8.5 senaryosunda fosil yakıtlarının kullanımına devam edilen bir senaryodur ve burada yıllık yağışların diğer senaryoya göre daha fazla düştüğü gözlemlenmiştir. İki senaryoya göre de genel olarak yıllık bazda yağışların düşmesi beklenirken özellikle sıcaklık değişimleri ile kısa süreli yoğun yağışların artması beklenmektedir. Bu da sel ve taşkın için risk oluşturmaktadır. Elde edilen veri setinin ortalama değerleri hesaplandığında SSP5-8,5 senaryosunda ortalama günlük yağış 2,23 kg/m² iken SSP1-1,9 senaryosunda 2,38 kg/m²'dir.

İklim değişikliği senaryolarının maksimum yağış verileri ile yorumlanması için küresel salımlarda da kullanılan sel felaketine maruz kalmış 5 ilden bir tanesi olan İstanbul seçilmiştir. Özellikle 2010'a kadar artan maksimum günlük toplam yağış, bu yıldan sonra 5-6 yıllık azalma trendine girmiş ve tekrardan artış trendi göstermeye başlamıştır. İklim değişikliği senaryoları ile birlikte incelendiğinde 2022 yılına kadar genel olarak artış eğiliminde olan maksimum yağışların, 2023'ten itibaren model verilerine bakıldığında 2050 yılına kadar hem SSP1-1.9 hem de SSP5-8.5 için toplam yağışların azalması beklenirken, sıcaklık değerlerindeki artış ile anlık yağışlarda artış olabileceği söylenebilir. 2050'den 2100 yılına kadar her iki senaryo içinde sıcaklık değerlerinin daha fazla artacağı tahmin edilirken bu süreçte bir önceki periyoda göre çok daha fazla anlık yağış olabileceği söylenebilir.

1975'ten 2023'e kadar MGM'den alınan verilerde genel olarak artış eğiliminde olduğu söylenebilir. 2023'ten 2100'e kadar ise sıcaklıklardaki artışla anlık şiddetli yağışların artması beklenmektedir. Bu yüzden 2 ayrı veri setinin uyumlu olduğu söylenebilir. Tahmin edilen senaryolar gerçekleşirse gelecek yıllarda PMP değerlerinin daha fazla yükseleceği söylenebilir.

İklim değişikliği senaryolarını daha mikro ölçekte incelemek için Şekil 11'de Terkos için analiz yapılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 1970-2009 verileri ile Emisyon Senaryoları Özel Raporu (SRES)'nin A1B senaryosunun verileri kullanılmıştır. Bu senaryo A1FI senaryosundan daha az fosil yakıt kullanılan ama A1T senaryosuna göre daha fazla fosil yakıt kullanılan dengeli bir senaryodur.



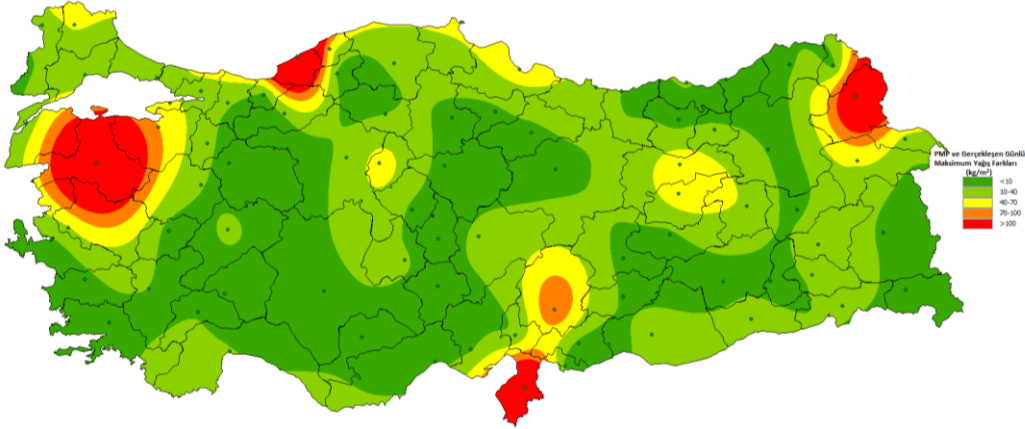
Şekil 11. Terkos Havzası Yıllık Ortalama Yağışları (mm/gün)

Şekil 11 incelendiğinde ilk olarak Terkos Havzası'nın yıllık ortalama yağışları yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Histogram grafiğinde ise 1970-2009 ölçülen değerler ile 2010-2059 ve 2060-2099 yılları arası ortalama yağışların histogramı gözükmemektedir. Ölçülen değerlere göre analiz edildiğinde ilk zaman aralığı olan 2010-2059 zaman aralığında ortalama yağışların yaklaşık %8 azaldığı belirlenmiştir. Günümüzün en önemli meteorolojik doğal afetlerinden olan kuraklık için ciddi risk teşkil eden bu durum, senaryo gerçekleşirse gelecekte kuraklığın daha şiddetli etki edecek bir doğal afet olacağını göstermektedir. 2060-2099 zaman aralığına göre ise ölçülen değerlere göre ortalama yağışların %11 azalması beklenmektedir. Önümüzdeki yıllarda beklenen bu azalma trendinin hem Terkos Havzası için hem de İstanbul için risk teşkil etmektedir. İstanbul'un kullanım suyunun önemli bir miktarını karşılayan Terkos Durusu Gölü yağışların azalmasıyla göl suyunun seviyesi azalması beklendiği için gelecek içinde kullanım suyu problemlerine yol açacağı beklenebilir. Küresel iklim değişikliği ile sıcaklık değerlerinin artmasıyla konvektif hareketlerin artmasını beklenirken bu sebeple anlık yağışlarında artması beklenmektedir. Ortalama yağışlar ise senaryolara göre azalması beklendiği için kullanılan su miktarında azalma olacaktır. Anlık şiddetli yağışlar ile akışa geçen su miktarı daha fazla olacağı için sel ve taşkın gibi doğal afetlerin artması beklenirken, akışa geçip denize ulaşan su artacağı için göl, yeraltı kaynakları gibi tatlı su kaynaklarına ulaşan su miktarı daha az olması beklenmektedir. Yıllık ortalama yağışlarında daha az olması ile ve sıcaklıkların artmasıyla gelecekte su sıkıntısı daha önemli bir sorun olabilir. Bu sonuçlar neticesinde yıllık bazda hem sel hem de kuraklık afetinin artması beklendiği söylenebilir (Sırdaş, Öztopal ve Şen, 2013).

PMP analizleri sonucu PMP değerlerinin en yüksek olduğu şehirlerin yıl içerisinde en çok konvektif hava olaylarına maruz kaldığı Akdeniz bölgesinde olduğu için buradaki sıcaklık değişimleri konvektif hareketlerin tetiklenmesine ve PMP değerlerinin artmasına sebep olabilmektedir. İklim değişikliği ile birlikte Türkiye'deki toplam yağış miktarı azalması beklenirken anlık şiddetli yağışların artması da beklenmektedir. Bu maksimum yağışlar artmaya devam ettikçe PMP değerleri daha fazla yükselecektir. Yapılan çalışma sonucu birçok şehir için PMP verileri gerçekleşen yağışlara göre fazla çıkmıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den alınan 48 yıllık veri ile yapılan PMP çalışması, yine Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan ölçülen maksimum değerler ile karşılaştırılmıştır. Her şehir için geçmiş verinin başlangıç tarihi farklı olsa da birçok şehir için 1929'dan itibaren günlük toplam maksimum yağış verisi bulunmaktadır. Bu sonuçlar analiz edildiğinde en düşük sapmalar Nevşehir, Isparta ve Eskişehir'de olmuştur. Nevşehir için 1975-2022 verileri ile analiz yapıp $41,42 \text{ kg/m}^2$ PMP hesaplanmıştır ve Nevşehir'de ölçülen günlük toplam maksimum yağış $40,7 \text{ kg/m}^2$ meydana gelmiştir ve 1 kg/m^2 'den daha düşük bir hata payı elde edilmiştir. Isparta ili içinde 1975-2022 verileri ile yapılan analiz sonucu PMP $109,5 \text{ kg/m}^2$ hesaplanmıştır ve Isparta ili için gerçekleşen maksimum yağış verisi 1953 yılında $108,6 \text{ kg/m}^2$ olmuştur ve burada da hata payı %1'den az olacak şekilde hesaplanmıştır. Hatanın en fazla çıktığı illerde ise farklar Zonguldak'ta $275,93 \text{ kg/m}^2$, Hatay'da 223 kg/m^2 ve Balıkesir'de $204,95 \text{ kg/m}^2$ çıkmıştır.

Bazı illerde analiz ile ölçülen veri arasındaki sapmaların yüksek çıkma sebebi maksimum yağışın ölçüldüğü istasyonların şehrin başka bir ilçesindeki veya başka bir konumundaki istasyon verisinin şehrin maksimum yağış verisi olmasıdır. Ayrıca PMP hesaplaması 1975-2022 aralığındaki veri seti ile yapıldığı için daha önceki yıllarda meydana gelmiş şiddetli yağışlar veri setinde yer almamaktadır. Şekil 12'de PMP ve günlük maksimum yağış verileri arasındaki farkların haritası gösterilmiştir.

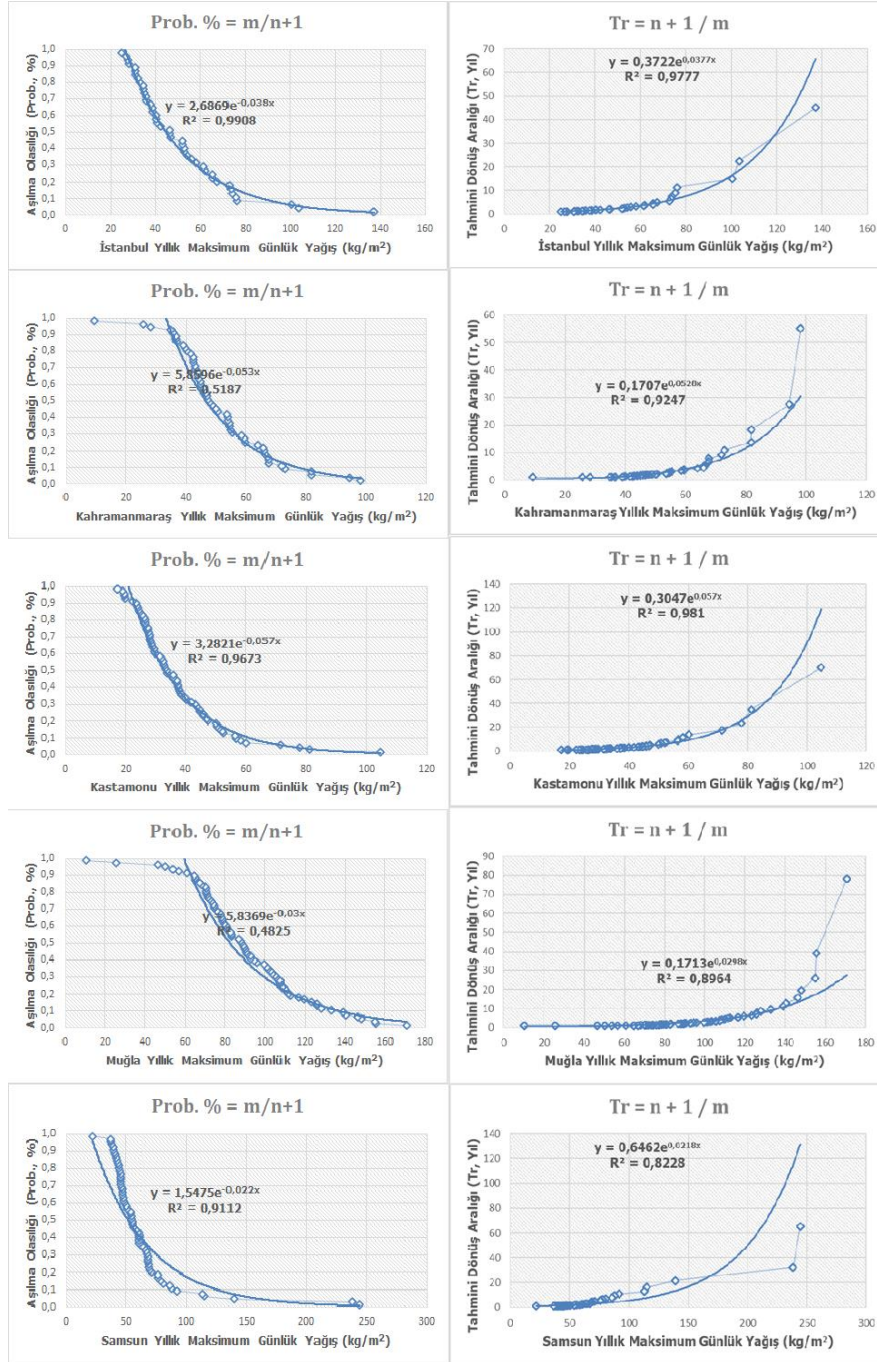


Şekil 12. PMP ile gerçekleşen günlük maksimum yağış farkları (kg/m^2)

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den alınan 24 saatlik gözlenen en büyük yağışlar verisi ile aşılma olasılığı ve tahmini dönüş aralığı grafikleri ve hesaplamaları yapılmıştır. Her istasyonun gözlem yılı süresi farklı olduğu için bu hesaplamalar Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Standart Sürelerde Gözlenen En Büyük Yağışlar verisi ile yapılmıştır.

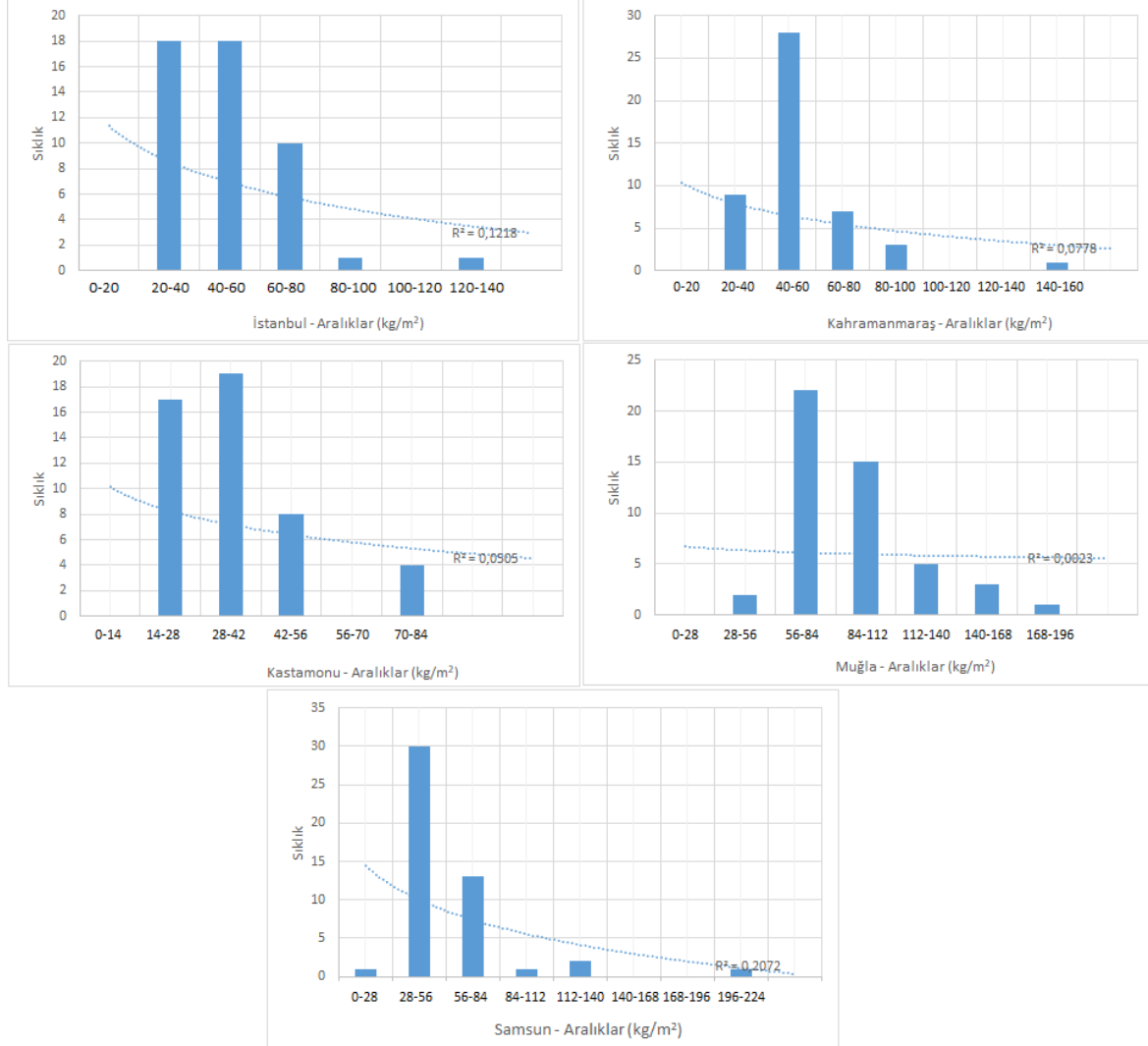
Şekil 13'de de gözüktüğü üzere seçilen 5 şehrin aşılma olasılığı ve tahmini dönüş aralığı grafikleri ve formülleri görülmektedir. Bu formüllere göre; İstanbul için hesaplanan PMP değeri aşılma olasılığı ve tahmini dönüş aralığı hesaplanmıştır. İstanbul için PMP $161,17 \text{ kg/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer ile aşılma olasılığı %0,006 ve tahmini dönüş aralığı yaklaşık 162 yıl olarak hesaplanmıştır. Kahramanmaraş için hesaplanan PMP değeri kullanılarak aşılma olasılığı ve tahmini dönüş aralığı hesaplanmıştır. Kahramanmaraş için PMP $195,49 \text{ kg/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer ile aşılma olasılığı %0,0002 ve tahmini dönüş aralığı yaklaşık 5188 yıl olarak hesaplanmıştır. Kahramanmaraş için kıyaslama yapılması için en büyük yağışlar verisi 1966'dan 2020

yılına kadar mevcuttur ve bu veriyle aşılma olasılığı ve dönüş aralığı hesaplanmıştır. PMP analizinde maksimum yağış değeri 2022 yılına ait veri olduğu için aşılma olasılığı çok düşük değer çıkarken, tahmini dönüş aralığı yıl olarak diğer şehirlere göre çok daha yüksek çıkmıştır. Kastamonu için hesaplanan PMP değeri 86,95 kg/m² kullanılarak aşılma olasılığı %0,023 ve tahmini dönüş aralığı yaklaşık 43 yıl olarak hesaplanmıştır. Muğla için hesaplanan PMP değeri 176,39 kg/m² ile aşılma olasılığı %0,029 ve tahmini dönüş aralığı yaklaşık 33 yıl olarak hesaplanmıştır. Samsun için hesaplanan PMP değeri 293,04 kg/m² ile aşılma olasılığı %0,0025 ve tahmini dönüş aralığı yaklaşık 384 yıl olarak hesaplanmıştır.



Şekil 13. İstanbul, Kahramanmaraş, Kastamonu, Muğla ve Samsun illerinin maksimum yağış verisi ile Aşılma Olasılığı ve Tahmini Dönüş Aralığı Grafikleri

Seçilen 5 şehir için, her yıl için günlük maksimum yağış verisi ile verinin standart sapması genişliğinde aralıklar seçilip sıklık grafikleri elde edilmiştir. Şekil 14’te sırasıyla İstanbul, Kahramanmaraş, Kastamonu, Muğla ve Samsun illerinin sıklık grafikleri verilmiştir.



Şekil 14. İstanbul, Kahramanmaraş, Kastamonu, Muğla ve Samsun illerinin maksimum yağış verisi ile Sıklık Grafikleri

SONUÇLAR

Olası Maksimum Yağış (PMP) analizi yapıldığında özellikle Akdeniz bölgesi için PMP değerlerinin yüksek çıktığı gözlemlenmiştir ve gerçekleşen maksimum günlük toplam yağış verileri ile karşılaştırıldığında sonuçların oldukça gerçeğe yakın çıktığı tespit edilmiştir. Akdeniz bölgesinde hem PMP değerleri yüksektir hem de analiz ile ölçümler arasındaki sapmalar düşüktür. Akdeniz bölgesindeki tutarlılığın yüksek olma sebebinin mezo ölçekte yapılan analiz sonucu kümülonimbus bulutları ile konvektif hava hareketlerinin maksimum olduğu yerlerde daha tutarlı sonuç vermesi olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak konvektif hava hareketleri sonucu ekstrem yağışlar oluştuğu için ve bu sistemlerin deniz üzerinden beslenerek geldiği için kıyı bölgelerinde yer alan şehirlerdeki maksimum yağış ihtimali ve PMP hesabının tutarlılığı daha yüksek olmaktadır. Akdeniz bölgesi haricindeki yüksek PMP değerine sahip diğer iller ise İzmir, Manisa, Rize, Samsun, Yalova, Ordu ve Kars olmuştur. Kars hariç diğer şehirler denize çok yakın olduğu için bu şehirlerde taşkın ve sel riski çok fazladır. Kars ise aldığı yağışların büyük bir kısmını kar olarak aldığı için sel ve taşkın ihtimali diğer şehirlere göre biraz daha azdır. Burası için dikkat edilmesi gereken konu, karın erimesiyle anlık akışa geçen yüklü miktarda yağışın sel ve taşkın riski oluşturmasıdır. PMP değerinin en az olduğu şehirler ise

Nevşehir, Bayburt, Tokat, Erzincan ve Kayseri olmuştur. Bu şehirlerde de sel ve taşkın riski vardır ancak PMP analizine göre daha düşüktür.

Ortalama PMP değeri 81 il için $122,9 \text{ kg/m}^2$ 'dir. PMP sıralaması yapıldığında 8. Sırada bulunan Manisa ilinden itibaren PMP değeri 200 kg/m^2 'nin altına düşmektedir. Özellikle Hatay için çıkan $655,8 \text{ kg/m}^2$ değeri çok yüksektir. Hatay için bu kadar yüksek PMP değeri çok riskli bir yerleşim yeri anlamına gelmektedir ve günlük toplam yağışın bu kadar yüksek olması sürekli sel ve taşkın olma ihtimalini arttırmaktadır. 2. Sırada bulunan Antalya $320,3 \text{ kg/m}^2$ ve 3. Sırada bulunan Samsun 293 kg/m^2 'de riskli diğer şehirlerdir.

Günlük toplam maksimum yağış değerlerinin küresel okyanus salınımları ile ilişkisi incelendiğinde 5-15 yıllık değişen periyotlarda temsil eden aralıklar vardır ama genel olarak yağışların salınımlardan etkilendiği söylenemez. Bu yüzden PMP değerleri ile küresel okyanus salınımlarının indekslerinin korelasyon içinde olduğu söylenemez.

İklim değişikliği ile PMP değerleri incelendiğinde iklim değişikliği senaryolarında da belirtildiği gibi toplam yağışların azalması ama anlık şiddetli yağışların artması beklenmektedir. Günlük toplam yağışların geçmişten günümüze incelendiğinde kurak geçen yıllardan sonra artış trendi olduğunu gözükmektedir. Bu yüzden iklim değişikliği senaryoları ile PMP değerlerinin birbiriyle örtüştüğü gözlemlenmektedir. İklim değişikliği ile birlikte artan sıcaklıklar ve kararsız ve sıcaklığı değişen atmosferde konvektif hareketler daha belirgin olacağı için anlık şiddetli yağışlarında artabileceği beklenmektedir.

PMP değerleri ile gerçekleşen maksimum yağışlar analiz edildiğinde genel olarak 40 kg/m^2 altında sapmalar vardır. Günlük toplam yağış analizi için bu miktarın tutarlı bir sonuç olduğu söylenebilir. Özellikle Akdeniz bölgesinde birçok şehirde %1'in altında çıkan hata payları konvektif aktivitenin fazla olduğu bu bölgede tutarlı sonuçlar olduğu söylenebilir. Bazı şehirlerde hatalar çok yüksektir, bunun sebebi ise analizi yapılan istasyon ile şehirde ölçülen maksimum yağışın gerçekleştiği istasyonun farklı olmasıdır.

Özet olarak PMP hesaplaması Türkiye geneli için tutarlı bir sonuç vermiştir ve iklim değişikliği senaryolarıyla da örtüşmektedir. Bu yüzden riskli olarak belirtilen şehirlerin sel ve taşkın afetlerine yakalanmaması için gerekli önlemlerin alınması, diğer şehirlerinde maksimum yağış hesaplarına göre tedbirler alması gerekmektedir. Şehir yapılarının planlanmasında sadece Olası Maksimum Yağış değerleri göz önüne alınmamalıdır çünkü maksimum yağış değeri bir bölgede diğer bölgelere göre daha az bir miktarda olsa bile toprağın geçirgenliği, dere yataklarının taşıma kapasitesi gibi faktörler düşük ise yine sel ve taşkın felaketi meydana gelebilmektedir.

Bu çalışmada her şehir için 1 istasyon seçilmiştir ve 81 ilin olduğu harita yapılmıştır. Maksimum kapsayıcılık için şehirlerin veri setlerindeki en büyük aralık seçilmiştir ve 48 yıllık günlük veriler ile çalışma tamamlanmıştır. Küresel salınımlarla maksimum yağışlar arasındaki ilişki yıl sayısı arttıkça anlamlı sonuçlar vermemektedir. Bu yüzden salınımlarla maksimum yağışlar arasındaki ilişki incelenecekse veri periyodunun daha kısa süreli seçilmesi sonuçların daha tutarlı hale gelmesini sağlayacaktır. Gelecek yıllarda yağış ölçüm sürelerinin ve ölçüm sistemlerinin daha da artmasıyla bu çalışmanın daha kapsamlı yapılması ve ilçe merkezlerinin de eklenerek Türkiye PMP haritasının zenginleştirilmesi hem ekonomik açıdan hem de insan hayatı açısından birçok sorunun en aza indirilmesine yardımcı olacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmada kullanılan istasyon verileri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., ... Vazquez-Aguirre, J.L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5). <https://doi.org/10.1029/2005jd006290>

- Bruce, J.P., Clark, R.H. (1980). Introduction to hydrometeorology. *Pergamon Press*.
- Casas, M.C., Rodríguez, R., Nieto, R., Redaño, A. (2008). The estimation of probable maximum precipitation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146(1), 291–302. <https://doi.org/10.1196/annals.1446.003>
- Chow, V.T. (1951). A general formula for hydrologic frequency analysis, *Trans. Am. Geophys. Union* 32(2), 231–237. <https://sci-hub.se/10.1029/tr032i002p00231>
- Christensen, O.B., Christensen, J.H. (2004). Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate, *Global and Planetary Change*, 44(1–4), 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.06.013>
- Conte, M., Giuffrida, A., Tedesco, S. (1989). The Mediterranean Oscillation. Impact on precipitation and hydrology in Italy. *Publications of the Academy of Finland*, Helsinki.
- Cook, B.I., Anchukaitis, K.J., Touchan, R., Meko, D.M., Cook, E.R. (2016). Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(5), 2060–2074. <https://doi.org/10.1002/2015jd023929>
- Eliasson, J. (1997). A statistical model for extreme precipitation. *Water Resources Research*, 33(3), 449–455. <https://doi.org/10.1029/96wr03531>
- Hershfield, D.M. (1961a). Rainfall Frequency Atlas of the United States, Technical Paper No. 40, *Weather Bureau, United States Department of Commerce*, Washington. <https://www.weather.gov/media/owp/oh/hdsc/docs/TP40.pdf>
- Hershfield, D.M. (1961b). Estimating the probable maximum precipitation, *Journal of Hydraulics Division: Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 87: 99–106.
- Koutsoyiannis, D. (1999). A probabilistic view of Hershfield's method for estimating probable maximum precipitation, *Water Resources Research*, 35(4), 1313–1322. <https://doi.org/10.1029/1999wr900002>
- Kryzhov, V.N., Gorelits, O.V. (2015). The Arctic Oscillation and its impact on temperature and precipitation in Northern Eurasia in the 20th Century, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 40, 711–721. <https://doi.org/10.3103/S1068373915110011>
- WMO (2009). Manual on estimation of probable maximum precipitation (PMP), *WMO*, Genova, 298 sayfa.
- Meinshausen, M., Nicholls, Z.R., Lewis, J., Gidden, M.J., Vogel, E., Freund, M., Beyerle, U., Gessner, C., Nauels, A., Bauer, N., Canadell, J.G., Daniel, J.S., John, A., Krummel, P.B., Luderer, G., Meinshausen, N., Montzka, S.A., Rayner, P.J., Reimann, S., ... Wang, R.H. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500, *Geoscientific Model Development*, 13(8), 3571–3605. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>
- Meyers, V.A. (1967). Meteorological estimation of extreme precipitation for spillway design floods. *U.S. Department of Commerce, Environmental Science Services Administration, Weather Bureau*, Washington.
- Nicholls, N., Gruza, G.V., Jouzel, J., Karl, T.R., Ogallo, L.A., Parker, D.E. (1996). Observed climate variability and change. *Cambridge University Press*, Cambridge, 133-192.
- Palutikof, J.P. (2003). Analysis of Mediterranean climate data: Measured and modelled, *In: Bolle, H.J. (ed): Mediterranean climate: Variability and trends*, Springer-Verlag, Berlin.
- Papalexiou, S.M., Montanari, A. (2019). Global and regional increase of precipitation extremes under global warming, *Water Resources Research*, 55(6), 4901–4914. <https://doi.org/10.1029/2018wr024067>
- Rigor, I.G., Wallace, J.M., Colony, R.L. (2002). Response of sea ice to the Arctic oscillation, *Journal of Climate*, 15(18), 2648–2663.
- Sarkar, S., Maity, R. (2020). Estimation of probable maximum precipitation in the context of climate change. *MethodsX*, 7, 100904. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.100904>
- Sırdaş, S., Şen Z., Öztopal, A. (2013). Climate change expectations in the next half century of Turkey, *In: Dincer, I., Colpan, C.O., Kadioglu, F. (ed), Causes, Impacts and Solutions to Global Warming*, Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-7588-0_6
- Sušelj, K., Bergant, K. (2006). Mediterranean oscillation index, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 02145, European Geosciences Union. <https://www.meetings.copernicus.org/www.cosis.net/abstracts/EGU06/02145/EGU06-J-02145.pdf>
- US Department of Commerce, N. (2016, July 19). What is Enso?. National Weather Service. <https://www.weather.gov/mhx/ensowhat>
- Wang, G., Wang, D., Trenberth, K.E., Erfanian, A., Yu, M., Bosilovich, M.G., Parr, D.T. (2017). The peak structure and future changes of the relationships between extreme precipitation and temperature, *Nature Climate Change*, 7(4), 268–274. <https://doi.org/10.1038/nclimate3239>
- Wiesner, C. (1970). Informal discussion. The estimation of probable maximum precipitation. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 47(2), 297–303. <https://doi.org/10.1680/iicep.1970.6621>
- Web 1, <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/projections-cmip6?tab=download> (15 Ekim 2024 tarihinde alınmıştır).
- Web 2, <https://www.worldclimateservice.com/2021/10/11/atlantic-multi-decadal-oscillation/> (15 Ekim 2024 tarihinde alınmıştır).

TÜRKİYE’NİN YAKIN KIYILARI ÜZERİNDEKİ RÜZGAR POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

Melek Akın¹ 

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 34469, Sarıyer, İstanbul
akinm@itu.edu.tr

Özet

Günümüzde, ülkelerin gelişmişlik seviyeleri ile enerji talebindeki artış paralellik göstermektedir. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla fosil yakıt kaynakları kullanılmaktadır; ancak bunların çevreye olumsuz yönde etkileri nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında kullanımı en çok artış gösteren enerji çeşididir. Bu çalışmada 2012-2015 yılları arasında Marmara, Karadeniz, Akdeniz ve Ege kıyıları üzerindeki rüzgar potansiyeli incelenmiştir. Analizler sonucunda, Akdeniz kıyılarında rüzgarın doğudan, Ege kıyılarında kuzeybatıdan, Karadeniz kıyılarında güneybatıdan ve Marmara kıyılarında kuzeydoğudan estiği belirlenmiştir. Ayrıca, kıyı şeridinin topografik yapısının rüzgar şiddeti ve yönü üzerindeki etkileri de ele alınmıştır. Karasal bölgelerde bitki örtüsü ve insan yapımı engeller rüzgar şiddetini azaltmasına rağmen, deniz yüzeyleri gibi açık alanlar rüzgar enerjisi üretimi için elverişli alanlar olarak öne çıkmaktadır. Çalışma, gelecekteki rüzgar enerjisi projeleri için önemli bir referans niteliğinde olup, bölgesel rüzgar potansiyelinin enerji üretiminde nasıl kullanılabileceğine dair bilgi sunmaktadır. Rüzgar şiddetindeki bölgesel ve mevsimsel değişiklikler göz önüne alındığında, özellikle kıyılardaki rüzgar enerjisi potansiyeli detaylandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar, Rüzgar Potansiyeli, Yakın Kıyı, Yenilenebilir Enerji

INVESTIGATION OF WIND POTENTIAL OVER TÜRKİYE’S NEARSHORE

Abstract

Today, the increase in energy demand parallels the development levels of countries. Fossil fuel sources are commonly used to meet this demand; however, due to their negative environmental impacts, there has been a growing shift toward renewable energy sources. Among these, wind energy has shown the most significant increase in usage. In this study, the wind potential over the Marmara, Black Sea, Mediterranean, and Aegean coasts between 2012 and 2015 was investigated. The analysis revealed that the prevailing wind direction is easterly along the Mediterranean coast, northwesterly along the Aegean coast, southwesterly along the Black Sea coast, and northeasterly along the Marmara coast. Additionally, the influence of coastal topography on wind speed and direction was examined. Although plant cover and man-made structures in terrestrial areas reduce wind speed, open areas such as sea surfaces stand out as ideal regions for wind energy production. This study serves as a valuable reference for future wind energy projects, providing insights on how regional wind potential can be effectively harnessed for energy production. The regional and seasonal variations in wind speed have been considered, with a particular focus on the wind energy potential along coastal areas.

Keywords: Wind, Wind Potential, Nearshore, Renewable Energy

Sorumlu Yazar: Melek Akın

Geliş Tarihi: 3 Haziran 2024

Kabul Tarihi: 23 Kasım 2024

Yayın Tarihi: 31 Aralık 2024

Atf Şekli: Akın, M. (2024). Türkiye'nin Yakın Kıyıları Üzerindeki Rüzgar Potansiyelinin İncelenmesi, *Atmosfer ve İklim Dergisi*, 2(1), 94-104.

Makale Tipi: Araştırma Makalesi

e-ISSN: 3023-8560

GİRİŞ

Dünyanın birçok yerinde rüzgar karakteristiğini ve rüzgar enerji potansiyelini belirleyebilmek için araştırmalar yapılmıştır ve bu çalışmalar hala sürdürülmektedir. Fosil yakıtların hava kirliliği, asit yağmurları ve sera etkisi formunda oluşturduğu çevresel etkilerin yanı sıra, bunların sınırlı biçimde bulunmaları da güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmaktadır. Yenilenebilir enerjilerden rüzgar enerjisi önemli bir potansiyele sahiptir (Şahin, 2004; Korukçu, 2017). Rüzgar enerjisi tükenmeyen ve temiz doğasından dolayı hızlı bir şekilde gelişmektedir (Alsaad, 2013). Ancak, rüzgar hızı ve enerjisi belirli bir bölgede yıl boyunca sabit kalmayıp zaman içinde değişkenlik göstermektedir (Şahin, 2004). Bu sebeple, bir bölgedeki rüzgar potansiyelinden etkin biçimde faydalanabilmek için sistematik bir rüzgar karakteristiği analizi gereklidir (Chang, 2011).

Türkiye'nin son yıllardaki hızlı ekonomik büyümesi ve sanayileşmesine paralel olarak, enerjiye olan gereksinimi artmakta olup, gelecek yirmi yılda üretimin tüketimi karşılayamayacağı düşünülmektedir. Bu durum, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarına olan bağımlılığını artırmış ve bu kaynakların kullanımı kaçınılmaz olmuştur (Ata, 2014).

Ülkemizde rüzgar potansiyelinin belirlenebilmesi için bugüne kadar farklı illerde birçok çalışma yapılmıştır. Türkiye'nin bölgesel rüzgar enerjisi potansiyeli üzerine yapılan bir çalışmada, Ege Denizi'nin kuzey ve kuzeybatı kıyılarının yüksek rüzgar potansiyeline sahip olduğu, diğer potansiyel bölgelerin ise Orta Karadeniz ve Akdeniz kıyıları olduğu tespit edilmiştir (Öztopal vd., 2000). Kıyı bölgelerinin yanı sıra, iç bölgelerde de Güneydoğu Anadolu'daki Diyarbakır'ın yeterli seviyede rüzgar potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. 2004 yılına ait 10 m yükseklikteki rüzgar verileriyle Kırklareli ilinde yapılan incelemelerde, bu bölgedeki rüzgar potansiyelinin elektrik üretimi için yeterli olduğu tespit edilmiştir (Gökçek vd., 2007).

Gökçeada'daki rüzgar enerjisi potansiyelinin incelendiği bir çalışmada dört farklı lokasyonda üç yıl boyunca toplanan rüzgar verileri analiz edilmiştir. Sonuçlara göre, adanın üçte birinde yıllık ortalama rüzgar şiddeti 6,0 m/s'nin üzerinde olup, bu potansiyel elektrik üretimi için uygun seviyededir. Çalışmada Weibull dağılımı gibi olasılık modelleri kullanılarak rüzgar şiddetinin istatistiksel dağılımı belirlenmiş, Gökçeada'nın rüzgar enerji potansiyelinin Adriyatik ve Trakya kıyılarına göre %40-50 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, Gökçeada'nın enerji üretiminde önemli bir kaynak olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir (Tolun vd., 1995).

Uludağ Bursa'da rüzgar potansiyeli 2000-2006 yılları arasındaki 7 yıllık veri ile 10 m yükseklikte analiz edilmiştir. Bölgede yaz mevsiminde 8,3 m/s ile en yüksek ortalama rüzgar şiddeti ve kış mevsiminde 5,6 m/s ile en düşük ortalama rüzgar şiddeti belirlenmiştir (Ucar ve Balo, 2009). İstanbul'da ise 7 farklı istasyonda 31 yıllık veri ile rüzgar potansiyeli incelemesi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda Kumköy ve Şile istasyonlarında rüzgar potansiyelinin diğer istasyonlardan daha yüksek olduğu saptanmıştır (Vardar vd., 2008). Kütahya, Bünelek tepesi üzerinde 36 aylık veri ile çalışmalar yürütülmüş ve rüzgar potansiyeli farklı istatistiksel yöntemlerle tespit edilmeye çalışılmıştır. Lognormal dağılımının rüzgar hız verilerine en uygun dağılım olduğu belirlenmiştir (Özgür vd., 2009). Bir başka çalışmada Antakya ve İskenderun üzerinde inceleme yapılmıştır. Bu amaçla 1997 ve 2001 yılları arasındaki saatlik rüzgar verileri elde edilmiştir. Hakim rüzgar yönünün Antakya için güneybatılı, İskenderun için kuzeybatılı olduğu tespit edilmiştir Her iki bölgede de rüzgar şiddeti sabah saatlerinde akşam saatlerine göre daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Çalışmanın sonucunda her iki bölgenin de yüksek rüzgar potansiyeline sahip olduğu bulunmuştur (Bilgili vd., 2004). Gaziantep'in Nurdağı bölgesinde rüzgar güç potansiyeli üzerine incelemeler yapılmıştır. Çalışma kapsamında 1995 senesine ait bir yıllık veri kullanılmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda bölgede temmuz ve ağustos aylarında daha yüksek ortalama rüzgar şiddeti elde edilmiştir. Yıllık ortalama rüzgar şiddetine ve rüzgar gücüne bakıldığında ise bölgenin potansiyelinin rüzgar enerjisi üretimi için elverişli olduğu saptanmıştır (Karlı ve Geçit, 2003).

Türkiye genelinde yapılan bu çalışmalar, rüzgar enerjisi potansiyelinin genellikle kara üzerinde incelendiğini göstermektedir. Türkiye'deki rüzgar enerjisi potansiyelinin daha net bir şekilde saptanabilmesi için yakın kıyılar üzerinde de potansiyel tespiti yapılmalıdır. Bu amaçla, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Deniz Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonları (DOMGİ) verileri kullanılarak Türkiye'nin kıyı rüzgar potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. DOMGİ'ler 2011 yılında kurulmaya başlanmış olup, bu tarihten önce Türkiye'nin kıyılarına yönelik rüzgar potansiyeli analizleri, veri eksikliği nedeniyle gerçekleştirilememiştir.

VERİ VE ÇALIŞMA ALANI

Çalışmada Kullanılan Veri Seti

Bu çalışmada, 2012 ile 2015 yılları arasında Deniz Meteoroloji Gözlem İstasyonları'ndan (DOMGİ) elde edilen dakikalık veriler kullanılmıştır. Veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiştir. Başlangıçta veri setinde 70 istasyon bulunmasına rağmen, yapılan değerlendirmeler sonucunda 49 istasyonun verilerinin kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir. Bu istasyonlardan elde edilen veriler, eksiklikleri giderilerek gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Veri seti, sıcaklık, yağış, nispi nem ve basınç gibi çeşitli atmosferik değişkenleri içermekle birlikte, bu çalışmada sadece rüzgar şiddeti ve yönüne ilişkin veriler analiz edilmiştir.

Çalışma Alanı ve İklimi

Bu çalışma kapsamında, Marmara, Karadeniz, Akdeniz ve Ege kıyıları incelenmiştir. Seçilen bu bölgelerde, Marmara Bölgesi'nde 10, Karadeniz'de 15, Akdeniz'de 9 ve Ege Bölgesi'nde 15 adet meteoroloji istasyonu yer almaktadır. Bu istasyonların isimleri, kodları ve coğrafi konumları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1a. Çalışmada kullanılan istasyonlar

İstasyon No	İl/İlçe	Enlem	Boylam	Yükseklik
17381	Aydın/Kuşadası	37° 50' 45" K	27° 13' 10" D	4
17382	Bahıkesir/Erdek	40° 32' 46" K	27° 30' 37" D	2
17383	İzmir/Narlıdere	38° 25' 32" K	26° 54' 48" D	2
17384	İzmir/Urla	38° 26' 48" K	26° 43' 03" D	7
17385	Mersin/Merkez	36° 46' 39" K	34° 39' 24" D	4
17386	Muğla/Bodrum	37° 00' 29" K	27° 24' 51" D	6
17388	İstanbul/Silivri	41° 02' 38" K	28° 11' 13" D	3
17438	İstanbul/Silivri	41° 04' 23" K	28° 14' 22" D	9
17439	İzmir/Foça	38° 37' 10" K	26° 44' 41" D	8
17440	İzmir/Urla	38° 21' 57" K	26° 46' 24" D	6
17441	İzmir/Güzelbahçe	38° 22' 46" K	26° 53' 10" D	12
17442	İzmir/Konak	38° 25' 49" K	27° 07' 56" D	6
17443	İzmir/Çeşme	38° 19' 49" K	26° 16' 06" D	7
17444	İzmir/Karaburun	38° 31' 08" K	26° 37' 42" D	8
17445	Kastamonu/Cide	41° 54' 02" K	32° 58' 40" D	11
17446	Kastamonu/İnebolu	41° 58' 54" K	33° 46' 37" D	7
17447	Kırklareli/Vize	41° 37' 54" K	28° 06' 07" D	11
17448	İstanbul/Tuzla	40° 48' 46" K	29° 17' 52" D	13
17449	Kocaeli/Kandıra	41° 12' 42" K	30° 15' 38" D	3
17450	Muğla/Bodrum	37° 09' 03" K	27° 15' 52" D	9
17451	Tekirdağ/Marmara Ereğlisi	40° 58' 18" K	27° 57' 37" D	10
17452	Yalova/Merkez	40° 39' 41" K	29° 14' 51" D	13
17453	Zonguldak/Merkez	41° 27' 31" K	31° 46' 45" D	12
17454	İstanbul/Fatih	41° 00' 15" K	28° 57' 17" D	16
17455	İstanbul/Sarıyer	41° 13' 48" K	29° 06' 55" D	10
17456	Sinop/Merkez	42° 05' 52" K	34° 56' 43" D	30
17457	Sinop/Gerze	41° 48' 10" K	35° 12' 26" D	20
17458	Samsun/Bafra	41° 43' 52" K	35° 56' 48" D	28
17459	Samsun/Merkez	41° 18' 37" K	36° 21' 21" D	15
17460	Ordu/Ünye	41° 07' 02" K	37° 20' 56" D	15

Tablo 1b. Çalışmada kullanılan istasyonlar (devam)

İstasyon No	İl/İlçe	Enlem	Boylam	Yükseklik
17461	Ordu/Perşembe	41° 08' 09" K	37° 40' 57" D	12
17462	Giresun/Piraziz	40° 57' 14" K	38° 09' 00" D	30
17463	Trabzon/Çarşıbaşı	41° 06' 26" K	39° 25' 09" D	25
17464	Trabzon/Merkez	41° 00' 27" K	39° 45' 00" D	12
17465	Trabzon/Araklı	40° 56' 42" K	40° 03' 13" D	10
17466	Rize/Çayeli	41° 05' 27" K	40° 43' 21" D	10
17467	Artvin/Hopa	41° 25' 16" K	41° 25' 47" D	15
17468	Muğla/Bodrum	36° 57' 47" K	27° 15' 51" D	20
17469	Muğla/Dağca	36° 41' 12" K	27° 21' 48" D	105
17470	Muğla/Marmaris	36° 48' 53" K	28° 15' 57" D	10
17471	Muğla/Fethiye	36° 39' 14" K	29° 02' 39" D	33
17473	Antalya/Kaş	36° 11' 02" K	29° 38' 32" D	10
17474	Antalya/Finike	36° 17' 43" K	30° 09' 12" D	10
17475	Antalya/Kemer	36° 36' 47" K	30° 34' 28" D	6
17476	Antalya/Konyaaltı	36° 50' 06" K	30° 37' 00" D	16
17477	Antalya/Alanya	36° 33' 29" K	31° 57' 05" D	10
17478	Mersin/Anamur	36° 01' 05" K	32° 48' 11" D	67
17480	Adana/Karataş	36° 33' 31" K	35° 23' 01" D	10
17481	Hatay/İskenderun	36° 14' 24" K	35° 47' 00" D	115

Çalışmanın yürütüldüğü bölgelerde üç ana iklim tipi hakimdir. Akdeniz iklimi, Marmara iklimi ve Karadeniz iklimi. Akdeniz iklimi, Türkiye'nin Ege ve Akdeniz kıyılarında etkili olup, yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlıdır. Bu bölgelerde kıyılarda kuraklığa dayanıklı bitki örtüsü, özellikle kızılçam ve maki türleri yaygındır. Yüksek kesimlerde ise iğne yapraklı karaçam ve sedir ormanları bulunmaktadır (Türkeş, 1996).

Marmara Bölgesi'nde Marmara iklimi etkili olup, bu iklim tipi Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında bir geçiş özelliği taşımaktadır. Yazlar Akdeniz iklimine kıyasla daha serin, kışlar ise Karadeniz iklimine göre daha az yağışlı ve ılımandır. Bölgenin alçak kesimlerinde Akdeniz bitki örtüsü hâkimken, daha yüksek kesimlerde Karadeniz'e özgü nemli ormanlar görülmektedir.

Karadeniz iklimi, Karadeniz kıyı şeridi boyunca etkili olup, yıl boyunca düzenli yağış almasıyla bilinmektedir. Bu bölgede, yaz ile kış arasındaki sıcaklık farkı oldukça düşük olup, kıyı boyunca geniş yapraklı ormanlar, özellikle kestane ve ıhlamur türleri yaygındır. Yüksek kesimlerde ise soğuk iklimlere uyum sağlamış ladin ve köknar ormanları bulunmaktadır (Web 2). Bu iklim tipleri, çalışmanın yapıldığı bölgelerde hem doğal bitki örtüsü hem de genel ekosistem üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Çalışmada örnek olarak kullanılan rüzgar türbini, Senvion şirketine ait 3.XM serisinden 3.6 M 114 NES modelidir. Senvion, uluslararası alanda hem karada hem de denizde rüzgar enerjisi sektörlerine hizmet veren bir rüzgar türbini üreticisidir. Çalışmada kullanılan türbinin çalışma sıcaklık aralığı -20°C ile +40°C arasında olup, kanatları cam elyaf takviyeli plastikten yapılmıştır. Türbinin devreye girmesi için gereken minimum rüzgar şiddeti 3,0 m/s, devreden çıkması için maksimum rüzgar şiddeti 22,0 m/s'dir. Nominal rüzgar şiddeti ise 13,0 m/s olarak belirlenmiştir (Web 1).

YÖNTEM

Her bir istasyondan elde edilen rüzgar şiddeti verileri, eksik veya hatalı olanlar çıkarılarak temizlenmiştir. Ardından bu istasyonlara ait hakim rüzgar yönü, rüzgar esme süresi, hakim yönlerdeki rüzgar şiddeti ve türbinlerin çalışabileceği aralıktaki rüzgar şiddeti analiz edilmiştir. Belirli bir istasyondaki ortalama rüzgar şiddeti, tüm gözlemlerin toplamının gözlem sayısına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Ortalama rüzgar şiddetini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$v_{ort} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (1)$$

Burada, v ortalama rüzgar şiddeti (m/s), v_i her bir ölçümdeki rüzgar şiddeti (m/s), ve n ölçüm sayısını ifade etmektedir.

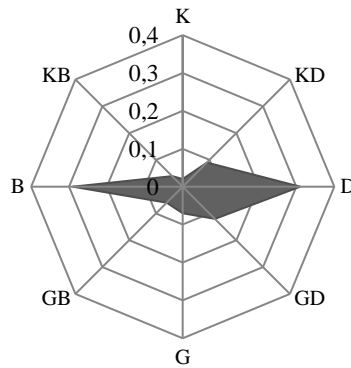
Ölçüm istasyonlarının hakim rüzgar yönü belirlenmiş ve rüzgar esme süreleri hesaplanmıştır. Hakim rüzgar yönü, belirli bir zaman aralığında en sık esen rüzgar yönünü ifade etmektedir. Rüzgar yönü verileri, 45°'lik dilimlerle 8 ana yön aralığına bölünmüştür. Bu ana yönler Kuzey (K), Kuzeydoğu (KD), Doğu (D), Güneydoğu (GD), Güney (G), Güneybatı (GB), Batı (B) ve Kuzeybatı (KB) olarak sınıflandırılmış, ardından her bir aralıkta kaç defa rüzgar estiği sayılmıştır. Her bir yön için toplam esme süresi elde edilmiştir. Hakim rüzgar yönü ve diğer yönlerin frekansı, rüzgar gülü grafiklerinde görselleştirilmiştir. Bu grafikler rüzgar yönü ve şiddetinin dağılımını gösterir.

Rüzgar türbinlerinin çalışabileceği rüzgar şiddetleri olan başlama ve kesme şiddetleri aralığında esen rüzgarların süresi hesaplanmıştır. Bu analizde, kullanılan türbin modeli için minimum 3 m/s ve maksimum 22 m/s arasındaki rüzgar şiddetleri dikkate alınmıştır. Türbinlerin çalışma aralığındaki rüzgar şiddeti ve esme süreleri, türbin performansını değerlendirmek için analiz edilmiştir. Böylece, her istasyonun rüzgar enerjisi üretme potansiyeli ortaya konmuştur.

Seçilen istasyonlar; Marmara, Karadeniz, Ege ve Akdeniz kıyılarında yer almakta olup, her bir bölgenin rüzgar potansiyeli ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu inceleme sırasında, hakim rüzgar yönü, yönlere göre rüzgar şiddetleri ve rüzgarın esme süreleri analiz edilmiştir. İlgili bölgelerde elde edilen sonuçlar, rüzgar enerjisi potansiyelinin bölgesel farklılıklarını ortaya koymak amacıyla detaylandırılmıştır.

BULGU VE DEĞERLENDİRMELER

Çalışma kapsamında Türkiye'nin her deniz kıyısından bir adet olmak üzere 4 farklı istasyon için rüzgar potansiyeli analizi yapılmıştır. Bu sebeple Akdeniz kıyıları için Antalya/Kaş'ta bulunan 17473 kodlu Kaş Bayındır İnceburun Feneri seçilmiştir. İstasyonun yüksekliği 10 m olup enerji kaynağı güneştir. Rüzgarın incelenen periyod içerisindeki (2013-2015) esme süresi 493412 dakikadır ve bu rüzgarların ortalama şiddeti de 3,34 m/s'dir. İstasyondaki hakim rüzgar yönü Şekil 1'de görüldüğü üzere doğudur ve rüzgarların %31'i bu yönden esmektedir. Hakim rüzgar yönünde rüzgarın esme süresi 154749 dakikadır ve hakim rüzgar yönündeki ortalama şiddet 3,79 m/s'dir. Yönlere göre ortalama rüzgar şiddeti hesaplatıldığında maksimum ortalama rüzgar şiddetinin 4,44 m/s ile kuzeydoğudan estiği tespit edilmiştir. Türbinin başlama ve kesme şiddetleri aralığında rüzgarın esme süresi 243265 dakikadır. Bu değer istasyonda meydana gelen rüzgarların esme süresinin %49'una denk gelmektedir. Türbinin çalışma aralığında esen rüzgarların ortalama şiddeti ise 5,02 m/s olarak hesaplanmıştır. Bu değer Tablo 2'de yer aldığı üzere ortalama rüzgar şiddeti olan 3,34 m/s'den büyük olması olumlu bir sonuçtur.

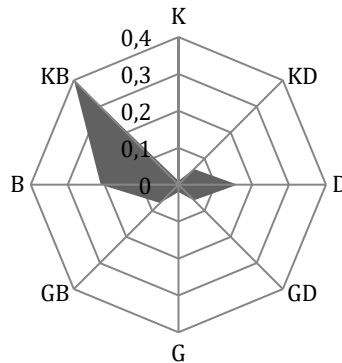


Şekil 1. Kaş Bayındır İnceburun Feneri'ne ait rüzgar gülü

Tablo 2. Kaş Bayındır İnceburun Feneri'ne ait rüzgar verileri

Rüzgar Yönü	Yöne Göre Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Yöne Göre Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
K	10754	4,20
KD	44310	4,44
D	154749	3,79
GD	60981	2,48
G	32255	1,77
GB	29533	2,63
B	140848	3,45
KB	19982	2,37
Tüm Yönlerde Rüzgarın Esme Süresi (dk)		Tüm Yönler İçin Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
493412		3,34
Türbinin Çalışma Aralığında Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Türbinin Çalışma Aralığında Esen Rüzgarların Yüzdesi	Türbinin Çalışma Aralığındaki Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
243265	0,49	5,02

Ege Denizi'nin kıyıları için yapılan çalışmada Muğla/Bodrum'da bulunan 17468 kodlu Hüseyinburnu Feneri seçilmiştir. İstasyonun yüksekliği 20 m'dir, enerji kaynağı ise elektriktir. İstasyonun kurulum tarihi olan 2014'ten 2015'e kadar kaydedilen rüzgarın esme süresi 492468 dakika olup, bu rüzgarların ortalama şiddeti 5,81 m/s'dir. Şekil 2'de görüleceği üzere istasyonun hakim rüzgar yönü kuzeybatıdır. İstasyondan elde edilen bilgiler Tablo 3'te yer almaktadır. Buna göre kuzeybatıdan rüzgarın esme süresi 195780 dakika olup kaydedilen toplam rüzgarın %40'ını oluşturmaktadır. Hakim rüzgar yönündeki ortalama rüzgar şiddeti ise 6,47 m/s'dir. Yönlere göre ortalama rüzgar şiddeti değerlendirildiğinde ise hakim rüzgar yönünün tersi olan güneydoğunun 7,39 m/s ile en yüksek ortalamaya sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca incelenen periyotta rüzgarın güneydoğu yönündeki esme süresi 31801 dakika olup bu süre tüm rüzgarların %6'sına denk gelmektedir. Hüseyinburnu istasyonu için türbinin başlama ve kesme şiddetleri aralığında esen rüzgarlar incelenmiş ve meydana gelen rüzgarın %76'sının türbinin enerji üretimi için uygun olduğu tespit edilmiştir. İncelenen periyot içerisinde (2014-2015) enerji üretimi sağlayabilecek rüzgarın esme süresi 375034 dakikadır ve bu aralıktaki ortalama rüzgar şiddeti 7,07 m/s'dir. Bu değerler istasyonun bulunduğu bölgeden elde edilebilecek rüzgar enerjisi için oldukça yüksektir.

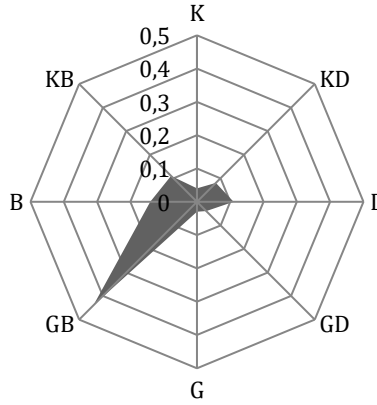
**Şekil 2.** Hüseyinburnu Feneri'ne ait rüzgar gülü

Karadeniz kıyıları için yapılan çalışmada Ordu/Ünye'de bulunan 17460 numaralı Ünye Balıkçı Barınağı Ana Mendirek Feneri verileri kullanılmıştır. İstasyon yüksekliği 15 m olup enerji kaynağı güneştir. İstasyonda 2013 ve 2015 yılları arasında kaydedilen rüzgar esme süresi 482016 dakikadır. Tüm yönlerdeki ortalama rüzgar şiddeti 3,74 m/s'dir. Ayrıca hakim rüzgar yönü Şekil 3'ten anlaşılacağı gibi güneybatı olup, bu yöndeki ortalama rüzgar şiddeti 3,75 m/s'dir. Tablo 4'te yer aldığı üzere güneybatı yönünde rüzgarın esme süresi 214335 dakikadır. Bu değer istasyondaki toplam esme süresinin %44'üne denk gelmektedir. Batılı rüzgarlar ise 4,9 m/s'lik rüzgar şiddeti ile rüzgar yönüne göre en yüksek ortalama rüzgar şiddetine sahiptir. Bu yöndeki rüzgarın esme süresi 67328 dakika olup istasyonda kaydedilen toplam rüzgarın %14'ünü oluşturmaktadır. Türbinin başlama ve kesme rüzgar şiddetleri göz önüne alındığında istasyondan enerji üretilen rüzgarın esme süresi

295905 dakikadır. Bu değer toplam esme süresinin %61'ine denk gelmektedir. Türbinin operasyon aralığında esen rüzgarların ortalama şiddeti ise 15 m yüksekliği için 5,02 m/s'dir.

Tablo 3. Hüseyinburnu Fenerine ait rüzgar verileri

Rüzgar Yönü	Yöne Göre Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Yöne Göre Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
K	4291	1,17
KD	31352	1,98
D	81098	6,25
GD	31801	7,39
G	11640	3,91
GB	34201	3,70
B	102305	6,00
KB	195780	6,47
Tüm Yönlerde Rüzgarın Esme Süresi (dk)		Tüm Yönler İçin Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
492468		5,81
Türbinin Çalışma Aralığındaki Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Türbinin Çalışma Aralığında Esen Rüzgarların Yüzdesi	Türbinin Çalışma Aralığındaki Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
375034	0,76	7,07



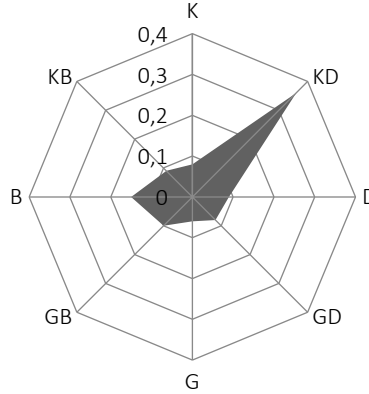
Şekil 3. Ünye Balıkçı Barınağı Ana Mendirek Feneri'ne ait rüzgar gülü

Tablo 4. Ünye Balıkçı Barınağı Ana Mendirek Feneri'ne ait rüzgar verileri

Rüzgar Yönü	Yöne Göre Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Yöne Göre Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
K	20479	1,51
KD	39128	3,15
D	52619	3,68
GD	18930	2,40
G	16711	2,59
GB	214335	3,75
B	67328	4,90
KB	52486	4,45
Tüm Yönlerden Rüzgarın Esme Süresi (dk)		Tüm Yönler İçin Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
482016		3,74
Türbinin Çalışma Aralığında Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Türbinin Çalışma Aralığında Esen Rüzgarların Yüzdesi	Türbinin Çalışma Aralığındaki Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
295905	0,61	5,02

Son olarak Marmara Denizi kıyıları için yapılan çalışmada ise Tuzla/İstanbul'da bulunan 17448 numaralı İTÜ Tuzla Güney Mendirek Feneri kullanılmıştır. Bu istasyonun yüksekliği 13 metre olup enerji kaynağı güneştir. İstasyon 2012 yılında kurulmuştur ve 3 yıllık veri ile çalışmalar yapılmıştır. İncelenen periyod içerisindeki istatistiksel bilgiler Tablo 5'te yer almaktadır. İstasyondaki toplam esme süresi 943457 dakika olup ortalama rüzgar şiddeti ise 3,84 m/s'dir. Hakim rüzgar yönü Şekil 4'te görüldüğü üzere kuzeydoğudur ve bu yöndeki

rüzgarların ortalama şiddeti 4,49 m/s'dir. Ayrıca kuzeydoğu yönündeki rüzgarların toplam esme süresi 337513 dakikadır. Bu değer istasyonda kaydedilen toplam rüzgarın %36'sını oluşturmaktadır. Yönlere göre ortalama rüzgar şiddeti analiz edildiğinde de en yüksek ortalama rüzgar şiddetinin hakim rüzgar yönünde olduğu tespit edilmiştir. İTÜ Tuzla Güney Mendirek Feneri istasyonunda türbinin başlama ve kesme şiddetleri arasında meydana gelen toplam esme süresi 555141 dakikadır. Bu sayı istasyonda esen toplam rüzgarın %59'una denk gelmektedir. 13 m yükseklik için istasyonun ortalama rüzgar şiddeti olan 3,84 m/s, türbinin devreye girmesi için gerekli olan rüzgar şiddeti değerleri uygulandığında 5,39 m/s'ye yükselmiştir.



Şekil 4. İTÜ Tuzla Güney Mendirek Feneri'ne ait rüzgar gülü

Tablo 5. İTÜ Tuzla Güney Mendirek Feneri'ne ait rüzgar verileri

Rüzgar Yönü	Yöne Göre Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Yöne Göre Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
K	74654	2,55
KD	337513	4,49
D	89182	2,76
GD	73225	3,70
G	55686	3,51
GB	91457	3,97
B	138138	4,13
KB	83602	3,24
Tüm Yönlerde Rüzgarın Esme Süresi (dk)		Tüm Yönler İçin Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
943457		3,84
Türbinin Çalışma Aralığında Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Türbinin Çalışma Aralığında Esen Rüzgarların Yüzdesi	Türbinin Çalışma Aralığındaki Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
555141	0,59	5,39

Çalışma kapsamında kullanılan istasyonlardan elde edilen veriler Tablo 6 ile özetlenmiştir (Akın, 2015). Buradan yola çıkarak istasyonların %22,5'inde hakim rüzgar yönünün kuzeybatılı olduğu görülmüştür. Kuzeydoğulu ve kuzeyli hakim rüzgar yönüne sahip istasyonlar ise tüm istasyonların sırasıyla %20,5 ve %2'sini oluşturmaktadır. Güneyli, güneybatılı ve güneydoğulu hakim rüzgar yönlerine sahip istasyonlar ise sırasıyla %12,2, %12,2 ve %4,1'ini oluşturmaktadır. İstasyonların hakim rüzgar yönü %14,3'ünde doğulu ve %12,2'sinde ise batılıdır. Ayrıca kıyıları temsil eden istasyon sayıları göz önünde bulundurulduğunda en çok istasyonun Ege ve Karadeniz kıyılarında yer aldığı tespit edilmiştir. Bu kıyıları yönelik analiz yapmak amacıyla 15'er adet, Akdeniz ve Marmara kıyılarını temsil etmesi amacıyla da 9 ve 10 adet istasyon kullanılmıştır. Tüm yönlerdeki ortalama rüzgar şiddetinin en düşük değeri Karadeniz kıyısındaki 17462 numaralı Pirazizburnu Feneri'nden elde edilmiştir ve bu değer 1,95 m/s olarak kaydedilmiştir. En yüksek değer ise Ege kıyısındaki 17443 numaralı Döküntütaş Feneri'nden elde edilen 6,98 m/s değeridir. Hakim rüzgar yönündeki ortalama rüzgar şiddetleri incelendiğinde de en düşük değer 17466 numaralı Karadeniz'deki istasyondan 2,16 m/s olarak, en yüksek değer ise 17381 numaralı Ege kıyılarındaki istasyonda 9,44 m/s olarak kaydedildiği görülmektedir. Türbinin çalışma aralığında esen rüzgarların yüzdesi analiz edildiğinde de yine benzer sonuçlar elde edilmiş en düşük değer Karadeniz'de 17462 numaralı istasyonda 0,18 olarak, en yüksek değer de Ege bölgesinde 17384 ve 17469 numaralı istasyonlardan 0,91 olarak elde edilmiştir.

Tablo 6. Çalışmada kullanılan istasyonlardan elde edilen istatistiksel veriler

Bölge	İstasyon No	Tüm Yönlerde Ort. Rüzgar Şiddeti (m/s)	Hakim Rüzgar Yönü	Hakim Rüzgar Yönündeki Ort. Rüzgar Şiddeti (m/s)	Türbinin Çalışma Aralığında Rüzgarın Esme Yüzdesi
Akdeniz	17385	4,96	D	5,14	0,83
	17473	3,34	D	3,79	0,49
	17474	3,68	KB	3,03	0,55
	17475	3,28	D	3,21	0,42
	17476	3,73	KB	3,50	0,53
	17477	2,88	G	2,84	0,52
	17478	4,42	KD	3,42	0,50
	17480	4,82	GB	5,74	0,80
	17481	6,64	G	9,04	0,78
Ege	17381	5,65	KD	9,44	0,68
	17383	5,12	GD	5,75	0,72
	17384	6,66	KB	7,44	0,91
	17386	5,70	KB	6,01	0,76
	17439	5,90	KB	5,97	0,86
	17440	3,85	K	2,46	0,58
	17441	4,17	G	3,20	0,63
	17442	4,08	G	4,23	0,61
	17443	6,98	B	7,44	0,88
	17444	4,67	KB	5,56	0,77
	17450	6,43	B	7,81	0,84
	17468	5,81	KB	6,47	0,76
	17469	6,42	KB	9,08	0,91
	17470	3,47	B	3,94	0,58
17471	3,96	KD	3,40	0,61	
Karadeniz	17445	4,74	D	4,07	0,80
	17446	3,66	GB	3,43	0,52
	17453	4,96	GD	5,57	0,79
	17456	6,22	D	5,73	0,81
	17457	3,20	KB	4,47	0,42
	17458	5,30	KB	7,30	0,82
	17459	4,17	KB	5,80	0,65
	17460	3,74	GB	3,75	0,61
	17461	4,82	GB	4,72	0,66
	17462	1,95	B	2,67	0,18
	17463	3,70	D	3,64	0,48
	17464	4,25	G	5,41	0,66
	17465	2,59	B	3,00	0,37
	17466	2,27	G	2,16	0,21
17467	3,08	GB	2,25	0,32	
Marmara	17382	5,19	D	5,09	0,76
	17388	4,44	KD	5,25	0,75
	17438	4,66	KD	4,97	0,70
	17447	4,66	B	3,29	0,75
	17448	3,84	KD	4,49	0,59
	17449	4,84	KD	6,15	0,75
	17451	4,80	KD	6,35	0,70
	17452	4,11	GB	3,12	0,65
	17454	3,62	KD	3,71	0,63
	17455	3,67	KD	4,78	0,61

SONUÇLAR

Bu çalışma, kıyı ve deniz üzerindeki rüzgar potansiyelini belirlemek için yapılan ilk analizlerden biri olması açısından büyük bir öneme sahiptir. Gözlem istasyonlarının yetersizliği nedeniyle geçmişte bu tür hesaplamalar yapılamamış olsa da, bu çalışmanın gelecekte yapılacak analizler için bir örnek teşkil etmektedir.

2012-2015 yılları arasındaki deniz otomatik meteoroloji gözlem verileri her bir istasyon için ayrı ayrı işlenmiş ve hakim rüzgar yönü, hakim rüzgar yönündeki ortalama rüzgar şiddeti ile tüm yönlerdeki ortalama rüzgar

şiddeti hesaplanmıştır. Sonuçlar, Akdeniz kıyıları için hakim rüzgar yönünün doğulu, Ege Denizi kıyıları için kuzeybatılı, Karadeniz kıyıları için güneybatılı ve Marmara Denizi kıyıları için kuzeydoğulu olduğunu göstermektedir. Hakim rüzgar yönündeki ortalama rüzgar şiddeti ise Akdeniz Bölgesi'nde 4,05 m/s, Ege Bölgesi'nde 6,75 m/s, Karadeniz Bölgesi'nde 3,54 m/s, Marmara Bölgesi'nde ise 5,10 m/s olarak tespit edilmiştir.

İstasyonlar genelinde hakim rüzgar yönünün 11 istasyon için kuzeybatılı, 10 istasyon için kuzeydoğulu, 7 istasyon için doğulu, 2 istasyon için güneydoğulu, 6 istasyon için güneyli, 6 istasyon için güneybatılı, 6 istasyon için batılı ve 1 istasyon için kuzeyli olduğu belirlenmiştir. İstasyonların kurulum yükseklikleri dikkate alındığında, rüzgar şiddetlerinin ortalama 17 metrede ölçüldüğü ve bu değerlerin kule yüksekliği olan 80 metreye taşındığında daha yüksek enerji potansiyeli elde edilebileceği anlaşılmaktadır. Bu durum, Türkiye'nin kıyıları üzerinde önemli bir rüzgar enerjisi potansiyeli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Sinoptik ölçekli sistemler, yüksek ve alçak basınç merkezlerinin yerel rüzgar yönlerini ve şiddetini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Akdeniz kıyılarında gözlemlenen doğulu rüzgarların, genellikle Akdeniz siklonlarının ve doğu akımlarının etkisi altında şekillendiği düşünülmektedir. Ege kıyılarında hakim olan kuzeybatılı rüzgarlar ise, genellikle yaz aylarında etkili olan Etesyen rüzgarlarının bir sonucudur. Bu rüzgarlar, Ege Denizi boyunca yerel topoğrafya ile etkileşime girerek yön değiştirebilir ve şiddet kazanabilir.

Karadeniz kıyılarındaki güneybatılı rüzgarların, genellikle Balkanlar üzerinden gelen alçak basınç sistemlerinin etkisi altında olduğu bilinmektedir. Bu sistemler, Karadeniz üzerinden geçen rüzgarları güneye doğru yönlendirmekte ve kıyıya yakın bölgelerde rüzgar şiddetini artırabilmektedir. Marmara Denizi kıyılarında gözlemlenen kuzeydoğulu rüzgarlar ise, özellikle kış aylarında etkili olan kuzeyli soğuk hava akımlarının bir sonucudur. Bu akımlar, sinoptik ölçekli yüksek basınç sistemleri ile ilişkilidir ve Marmara Denizi üzerinde güçlü rüzgarlar oluşturabilir.

Bununla birlikte, aynı bölgedeki istasyonlar arasında rüzgar yönü farklılıklarının gözlemlenmesi, rüzgar yönü ve şiddeti üzerinde belirleyici olan planeter ve sinoptik ölçekli hareketlerin, kıyı şeridinin dağılım şekli ile fiziksel olarak ilişkilendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Kıyı şeridinin dağılım şekli ve topografik özellikleri, rüzgarın yön ve şiddeti üzerinde belirleyici bir rol oynayabilir. Özellikle Ege kıyılarındaki rüzgar yönü farklılıkları, bölgenin karmaşık topoğrafyası ve deniz-kara etkileşimleri ile açıklanabilir. Kıyı çizgisinin şekli ve orografik engeller, rüzgarın bölgesel yönünü ve şiddetini etkileyerek yerel rüzgar paterni üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Bu sonuçlar, bölgesel rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken önemli bir faktördür.

Sonuç olarak, bu çalışma, Türkiye'nin kıyılarındaki rüzgar potansiyelini ortaya koyarak, bölgesel farklılıkların fiziksel ve atmosferik koşullarla ilişkisini anlamak için önemli veriler sunmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sürecinde desteklerini esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Engin Büyükkörsüz'e teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Akın, M. (2015). Determination of the wind potential over Turkey's coasts and seas, *Lisans Tezi*, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Alsaad, M. (2013). Wind energy potential in selected areas in Jordan, *Energy Conversion and Management*, 65, 704-708.
- Ata, R. (2014). Neural Prediction of Wind Blowing Durations Based on Average Wind Speeds for Akhisar Location, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 20(5), 162-165.
- Bilgili, M., Şahin, B., Kahraman, A. (2004). Wind energy potential in Antakya and İskenderun regions, Turkey, *Renewable Energy*, 29(10), 1733-1745.
- Chang, T.P. (2011). Wind energy assessment incorporating particle swarm optimization method, *Energy Conversion and Management*, 52(3), 1630-1637.

- Gökçek, M., Bayülken, A., Bekdemir, Ş. (2007). Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kırklareli, Turkey, *Renewable Energy*, 32(10), 1739-1752.
- Karlı, V., Geçit, C. (2003). An investigation on wind power potential of Nurdağı-Gaziantep, Turkey, *Renewable Energy*, 28(5), 823-830.
- Korukçu, M.Ö. (2017). Investigation of longterm wind characteristics and wind energy potential in Bandırma, Turkey, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23(4), 337-342.
- Özgür, M.A., Arslan, O., Köse, R., Peker, K.O. (2009). Statistical Evaluation of Wind Characteristics in Kutahya, Turkey, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31(16), 1450-1463.
- Öztopal, A., Şahin, A.D., Akgün, N., Şen, Z. (2000). On the regional wind energy potential of Turkey, *Energy*, 25(2), 189-200.
- Şahin, A.D. (2004). Progress and recent trends in wind energy, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(5), 501-543.
- Tolun, S., Menteş, S., Aslan, Z., Yükselen, M.A. (1995). The wind energy potential of Gökçeada in the northern Aegean Sea, *Renewable Energy*, 6(7), 679-685. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(95\)00089-3](https://doi.org/10.1016/0960-1481(95)00089-3)
- Türkeş, M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey, *International Journal of Climatology*, 16(9), 1057-1076.
- Ucar, A., Balo, F. (2009). Investigation of wind characteristics and assessment of wind-generation potentiality in Uludağ-Bursa, Turkey, *Applied Energy*, 86(3), 333-339.
- Vardar, A., Tekin, Y., Okursoy, R. (2008). Regional Wind Energy Characteristics for Istanbul, Turkey, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 3(4), 331-339.
- Web 1, https://www.thewindpower.net/turbine_en_1408_senvion_3.6m114-nes.php (31.05.2024).
- Web 2, https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/13_turkiye_iklimi.PDF (31.05.2014).

YAĞIŞ HÜCRESİ TESPİT VE TAKİBİNDE ANVIL VE TITAN UYGULAMALARININ KARŞILAŞTIRILMALI ANALİZİ

Kurtuluş Öztürk¹, Alper Çubuk¹, Esin Oğuz¹

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Tahminler Dairesi Başkanlığı, Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü, 06120 Kalaba, Keçiören, Ankara
kozturk@mgm.gov.tr, acubuk@mgm.gov.tr, esoguz@mgm.gov.tr

Özet

Meteoroloji radarları, atmosfere gönderdikleri belirli bir frekanstaki elektromanyetik dalganın saçıcı nesnelere tarafından saçılmasıyla radara geri dönen sinyali işleyerek reflektivite parametresini elde ederler. Reflektivite parametresi kullanılarak farklı yöntem ve hesaplamalar ile radar yağış ürünleri elde edilir. Bu yağış ürünlerinden biri de VIL (Vertically Integrated Liquid, Dikey Entegre Sıvı) ürünüdür. Bu çalışmada, radarlar tarafından üretilen VIL ürününün altı dakikadan oluşan 10 görüntülük (1 saatlik) tahmini açık kaynaklı bir Phyton kodu ile üretilmiş ve görsel olarak modifiye edilmiştir. ANVIL adı verilen bu kodda adveksiyon alanını belirlemek için Lucas-Kanade yöntemi kullanılmıştır. Bir diğer radar ürünü olan MAX (Maximum Reflectivity) ürünü kullanarak ekstrapolasyon yöntemiyle hücrenin 30 dakika ve 1 saat sonrası için konumu ve büyüklüğü hakkında tahmin yapan TITAN uygulamasının tahminleri ile, ANVIL tahminleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilen ALTAR (Airport Lightning and Thunderstorm Alert by Remote Sensing) uygulamasına entegre edilmiştir. TITAN ve ANVIL uygulamaları, farklı yöntem ve farklı ürünler kullanarak, konvektif radar hücrelerinin ilerleme yönü ve büyüklüğü hakkında tahminciye görsel bir fikir sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. ANVIL ve TITAN tahminleri seçilen bazı yağış hadiseleri için karşılaştırılmış, tahmin tutarlılıkları gerçekleşen yağışlar ile analiz edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde ANVIL ve TITAN tahminlerinin büyük ölçüde birbirleriyle uyumlu olduğu, alansal ve konumsal olarak tahmin tutarlılıklarının ise genel olarak başarılı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, yağış hücrelerinin tespiti ve takibinde TITAN ve ANVIL ürünlerinin kullanımının oldukça faydalı olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Meteoroloji Radarı, Reflektivite, MAX, VIL, ANVIL, TITAN

COMPARATIVE INVESTIGATION OF RAIN CELL TRACKING TOOLS: TITAN vs ANVIL

Abstract

Reflectivity is a parameter obtained by processing the signal returned to the weather radar by scattering the electromagnetic wave of a certain frequency. Radar precipitation products are derived using this parameter. One of these precipitation products is the Vertically Integrated Liquid (VIL) product. In this study, a nowcasting tool is produced by modifying an open-source ANVIL Python code. This tool uses the Lucas-Kanade method to determine the advection area. TITAN is another open-source nowcasting tool that identifies the radar cell and predicts the location and size of the cell for 30 minutes and 1 hour later by extrapolation method using MAX (Maximum Reflectivity) radar product. ANVIL and TITAN outputs are integrated into ALTAR (Airport Lightning and Thunderstorm Alert by Remote Sensing) web tool developed by the Turkish State Meteorological Service. TITAN and ANVIL have been developed to give the forecaster a visual idea of the direction and size of the convective radar cell's progress, using different methods and products. ANVIL and TITAN forecasts are compared for some selected precipitation events, and their forecast consistency is analyzed with actual precipitation. As a result of the analysis, it is seen that ANVIL and TITAN forecasts were mostly compatible with each other, and their forecast consistency is generally successful. As a result, it is evaluated that the use of TITAN and ANVIL products is very useful in detecting and monitoring rainfall cells.

Keywords: Weather radar, Reflectivity, MAX, VIL, ANVIL, TITAN

Sorumlu Yazar: Esin Oğuz

Geliş Tarihi: 31 Ekim 2024

Kabul Tarihi: 25 Aralık 2024

Yayın Tarihi: 31 Aralık 2024

Atıf Şekli: Öztürk, K., Çubuk, A., Oğuz, E. (2024). Yağış Hücreleri Tespit ve Takibinde Anvil ve Titan Uygulamalarının Karşılaştırılmalı Analizi, *Atmosfer ve İklim Dergisi*, 2(1), 105-117.

Makale Tipi: Araştırma Makalesi

e-ISSN: 3023-8560

GİRİŞ

Uzaktan Algılama, bir obje, bölge veya olaydan fiziksel temas olmaksızın bilgi alma işlemidir. Meteoroloji bilimi için uzaktan bilgi alınacak olay yağış, kar, dolu, rüzgar gibi meteorolojik hadiseler, obje ise bu hadiselerle sebebiyet veren bulut içerisindeki hidrometeorlardır. Meteorolojik Uzaktan Algılama, uydu, radar, yıldırım tespit sistemi, lidar gibi enstrümanlar ile yapılır. Bu enstrümanlar kullanılarak şiddetli hava koşullarının erken tespit ve takibi mümkündür (Zeybek ve Öztürk, 2022).

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), 0-6 saat arasındaki tahmini “çok kısa vadeli tahmin - nowcasting” olarak tanımlamaktadır. Fırtına, kasırga, dolu, şiddetli yağış, şiddetli rüzgar, sis gibi hadiselerin çok kısa vadeli tahmini için hızlı güncellenen, yüksek çözünürlüklü gözlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Gözlem türleri arasında radar, uydu, yıldırım ağları, yer istasyonları, rüzgar profilleyicileri ve radyosondalar bulunur (Schmid vd., 2019). Nowcasting için kullanılan en önemli enstrüman meteoroloji radarlarıdır. Meteoroloji radarları sayesinde meteorolojik hadisenin ilerleme yönü, tipi ve şiddeti hakkında çok detaylı bilgiler elde edilebilmektedir.

Sayısal hava tahmin modellerinin sunduğu nispeten düşük çözünürlüklü orta vadeli tahminlerin yanında meteoroloji radarları ile 0-2 saat arası tahminler yüksek zamansal çözünürlük ile elde edilebilmektedir. Bu tahminler günlük hayatın yanında ulaştırma, turizm, sigorta ve tarım gibi pek çok sektör için hayati öneme sahiptir. Kamuda can ve mal kaybına yol açabilecek kuvvetli konvektif yağışlar, sel ve dolu gibi hadiselerin erken tespiti hayati öneme sahiptir.

Radarlardan elde edilen ürünlerin yanı sıra, radar hücre takibi, interpolasyon, ekstrapolasyon, optik akış, makine öğrenmesi, yapay zekâ gibi farklı yöntemleri kullanan uygulamalar tahmin tutarlılıklarına katkı sağlamaktadır. Bu uygulamalar vasıtasıyla tahminci ve araştırmacılara daha doğru ve anlamlı bilgi sağlamak, zamandan tasarruf ve iş kolaylığı sağlamak amaçlanmıştır (Zeybek ve Öztürk, 2022).

TITAN ve ANVIL uygulamaları, farklı yöntem ve farklı ürünler kullanarak, konvektif radar hücresinin ilerleme yönü ve büyüklüğü hakkında tahminciye görsel bir fikir sağlamak amacıyla geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, radar MAX (Maximum Reflectivity) ürününü kullanarak ekstrapolasyon yöntemiyle hücrenin 30 dakika ve 1 saat sonrası için konumu ve büyüklüğü hakkında tahmin yapan TITAN uygulamasının tahminleri ile, radar VIL (Vertically Integrated Liquid, Dikey Entegre Sıvı) yağış ürünü kullanılarak geliştirilen açık kaynak kodlu ANVIL tahmin uygulaması modifiye edilerek çıktılarını Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilen ALTAR uygulamasına entegre edilmiştir. Veri boyutunun çok büyük olması nedeniyle geçmişe dönük herhangi bir arşivleme yapılmamaktadır. TITAN ve ANVIL uygulamalarının nicel bir çıktısı olmayıp, bu uygulamalar tahminci ve araştırmacılara görsel bir bilgi sunar.

Tahmin tutarlılıkları hem gerçekleşen yağışlar hem de başka bir açık kaynak kodlu tahmin uygulaması olan TITAN yazılımının tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Her iki uygulamanın 1 saat sonrası için hücrenin konum ve boyutu için yaptıkları tahminler ile tahminden 1 saat sonraki radar görüntülerinin konum ve boyutu görsel olarak karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, iki uygulamanın tahminlerinin birbirleriyle tutarlılığı ve bir saat sonrası için yaptıkları tahminlerin gerçekleşme durumlarının sübjektif analizidir. Bu karşılaştırmalar *Bulgu ve Değerlendirmeler* bölümünde sunulmuştur.

YÖNTEM

Meteoroloji radarları, atmosfere gönderdikleri belirli bir frekanstaki elektromanyetik dalganın saçıcı nesnelere tarafından saçılması neticesinde radara geri dönen sinyali işleyerek reflektivite parametresini elde ederler. Denklem 1’de radar denklemi verilmiştir:

$$P_r = \frac{P_t G^2 \theta^2 H \pi^3 K^2 L}{1024 (\ln 2) \lambda^2} * \frac{Z}{R^2} \quad (1)$$

Burada, P_r : Hedefte radaraya dönen ortalama güç, P_t : Radar tarafından yayılan tepe güç, G : Anten kazancı, θ : Açısal ışın genliği, H : Darbe genişliği, K : Suyun dielektrik sabiti, L : Kayıp faktörü, λ : Gönderilen radyasyonun dalgaboyu, Z : Reflektivite faktörü, R : Hedefin radardan olan uzaklığıdır (sinyalin dönüş zamanından hesaplanır). Bu denklemde Z ve R hariç tüm parametreler anten tasarlanırken belirlenen sabit değerler olduğundan bu parametreler anten sabiti (C) olarak tanımlanır (Denklem 2).

$$C = \frac{1024 (\ln 2) \lambda^2}{P_t G^2 \theta^2 H \pi^3 K^2 L} \quad (2)$$

Buradan reflektivite faktörü Z , Denklem 3'teki gibi bulunur. Reflektivite faktörü çok büyük bir değer olduğundan logaritması alınarak desibel cinsine dönüştürülür. dBZ cinsinden reflektivite (Denklem 4), saçıcı nesnelere saçılarak radara geri dönen sinyalin yoğunluğunu temsil eder.

$$Z = P_r \cdot R^2 \cdot C \quad (3)$$

$$Z(\text{dBZ}) = 10 \log(P_r) + 20 \log(R) + 10 \log(C) \quad (4)$$

Reflektivite parametresi kullanılarak farklı yöntem ve hesaplamalar ile radar yağış ürünleri elde edilir. Bu yağış ürünlerinden biri de kg/m^2 cinsinden hesaplanan VIL (Vertically Integrated Liquid, Dikey Entegre Sıvı) ürünüdür. Meteoroloji radarlarından elde edilen VIL ürünü, reflektivitenin bir fonksiyonudur.

Reflektivitenin belirli bir katmandaki dikey toplamı kullanılarak, çöken bulutun içindeki toplam su eşdeğeri kütlesi bulunabilir (Denklem 5).

$$VIL = \sum 3.44 \times 10^{-6} [(Z_i + Z_{i+1})/2]^{4/7} dh \quad (\text{kg/m}^2) \quad (5)$$

Bu denklemde, Z_i : Tabakanın en alt seviyesindeki reflektivite değeri, Z_{i+1} : Tabakanın en üst seviyesindeki reflektivite değeri, dh : Tabaka kalınlığıdır (m).

En basit haliyle, ekstrapolasyona dayalı nowcasting tahmini, birkaç saatlik zaman çerçevesi boyunca, radar ekolarının yoğunluğunda değişiklik olmadan sabit bir hareket alanı boyunca hareket ettirilmesiyle yağış gelişiminin yakalanabileceğini varsayar. Literatürde buna Lagrange süreklilik varsayımı adı verilmektedir (Zawadzki vd., 1994).

Adveksiyon, havanın hareketi sonucunda, atmosfer içindeki herhangi bir özelliğin yatay taşınımıdır. Lagrangian süreklilik varsayımı (Denklem 6), kısa vadeli yağış tahmininde uygulanan yöntemlerden biridir. Bu varsayım, her hava parselinin durumunun sabit olduğunu ve tüm değişimin adveksiyondan kaynaklandığını varsayar (Germann ve Zawadzki, 2002).

Bir yağış parseli R ile ve yer değiştirme vektörü $\alpha(\tau)$ olmak üzere Lagrangian süreklilik denklemi şu şekilde yazılır:

$$R(x_0; t+\tau) = R(x_0 - \alpha(\tau); t) \quad (6)$$

Bu denklem diferansiyel denklem olarak Denklem 7'deki gibi yazılabilir:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{\partial R}{\partial t} + u \frac{\partial R}{\partial x} + v \frac{\partial R}{\partial y} = 0, \quad u = \frac{dx}{dt}, \quad v = \frac{dy}{dt} \quad (7)$$

Bu denklemde u ve v hareket alanının x ve y bileşenleridir. Belirli bir konum için u ve v , Denklem 7 çözülerek tahmin edilir. Hareket alanı bilindiğinde, radar ekolarının hareketi adveksiyon aracılığıyla tahmin edilir.

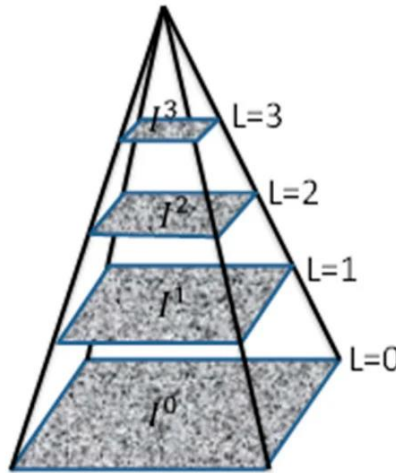
Optik akış (Optical Flow) yöntemi, hareket kestirimi, nesne takibi, görüntü mozaikleme gibi işlemlerde sıklıkla kullanılan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, piksellerin çerçeveler arasındaki değişimi gözlenip, değişimin yönü ve hızı hesaplanmaktadır (Keçeli ve Kaya, 2018). Optik akış algoritmaları ile radar hücre takibi ve tahmini mümkündür. Bu yöntem ile gözlemlenen hücrelerin doğru bir şekilde takip edebilmesi ve hareket yörüngeleri tahmini oldukça başarılı olduğundan nowcasting için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir.

Optik akış algoritmaları iki aşamaya ayrılabilir:

1. İki veya daha fazla radar görüntüsünden bir adveksiyon alanı tahmin etmek,
2. Tahmin edilen alanı kullanarak gelecekteki gözlemleri tahmin etmek.

Optik akış varsayımlarına göre bir piksel, komşu pikselleri ile benzer harekete sahiptir. Geleneksel optik akış yöntemleri, hareket alanını piksel düzeyine göre tahmin eder. Ancak, yağış alanlarının yer değiştirmesi genellikle piksellerle çakışmayıp birkaç pikselin ve bir alt pikselin birleşimidir. Yer değiştirme piksel seviyesi olarak ele alınırsa yağış alanlarının hareket takibinde hatalara yol açacaktır.

Algoritmada akışın başta sabit olduğu düşünülmektedir ve önce yerel komşulara bakılmaktadır. Daha sonra temel optik akış denklemleri ile bütün piksellerdeki komşular için algoritma işletilmektedir. Optik akışı tahmin etmek için kullanılan Lucas-Kanade yöntemine göre yerel piksel ve görüntüdeki her bir komşu piksel için Denklem 7'de verilen diferansiyel denklem çözülerek en küçük kareler yaklaşımıyla optik akış bulunur. Lucas-Kanade yöntemine göre belirlenen nokta ve komşu pikseller aynı harekete sahip olmaktadır (Lucas ve Kanade, 1981). Küçük hareketler bu yöntemle çözülebilirken büyük hareketlerde ise piramitler kullanılmaktadır. Piramit yönteminde büyük hareketler küçük hareketlere dönüşür. Böylece, Lucas-Kanade çerçevelere uygulanarak, optik akış elde edilir. Bu yöntemde Piramitsel Lucas-Kanade Optik Akış Yöntemi (PLKOF) denir (Li vd., 2018).

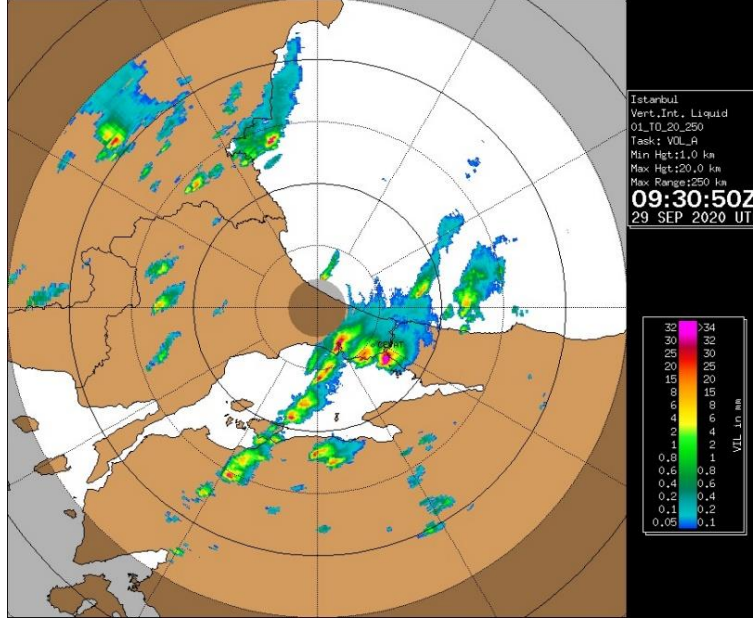


Şekil 1. Yüksek çözünürlüklü ($L = 0$) bir görüntünün düşük çözünürlüklü görüntülere ($L = 1, 2, 3$) örneklendiği Gauss piramidinin yapıları (Li vd., 2018)

Pysteps, kısa vadeli topluluk tahminleri için kullanımı kolay, modüler, ücretsiz ve açık kaynaklı bir Python çerçevesi geliştirmek ve sürdürmek için oluşturulmuş topluluk odaklı bir girişimdir. Odak noktası, radar yağış alanlarının olasılıksal kısa vadeli tahminidir. Ancak Pysteps daha geniş bir kullanıma izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Pysteps, GitHub'da aktif olarak geliştirilmektedir. Klasik optik akış yöntemleri yalnızca iki girdi

görüntüsü alır. Zamansal yumuşatma uygulamak ve böylece tahmini daha istikrarlı hale getirmek için adveksiyon alanını daha uzun bir zaman serisi üzerinden tahmin etmek avantajlıdır.

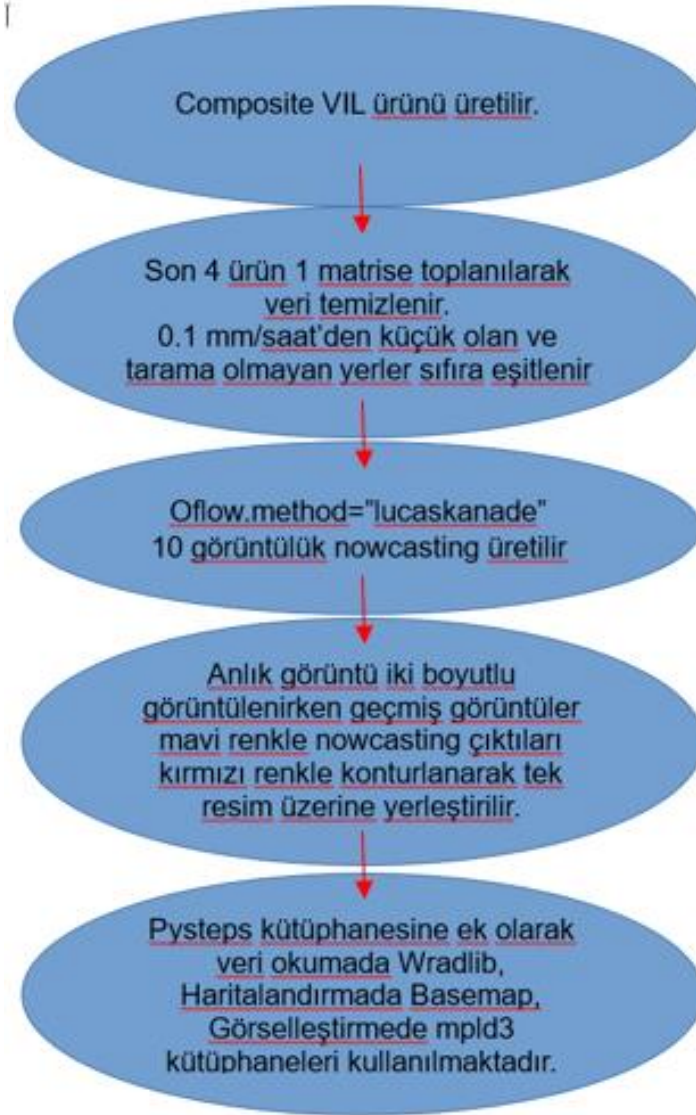
ANVIL, Pysteps girişimi içinde geliştirilmiş deterministik bir nowcasting modelidir. Başlangıçta girdi verileri olarak VIL (Vertically Integrated Liquid) ürününü (Şekil 2) kullanmak üzere geliştirilmiş olup herhangi bir iki boyutlu girdi verisinin kullanılmasına da izin vermektedir. Ekstrapolasyon tahmini statiktir, yani herhangi bir büyüme veya azalma öngörmez. ANVIL ise büyümeyi ve azalmayı tahmin eder ve küçük ölçekli yapıyı ilave herhangi bir işleme gerek olmayacak şekilde korur (Pulkkinen vd., 2019).



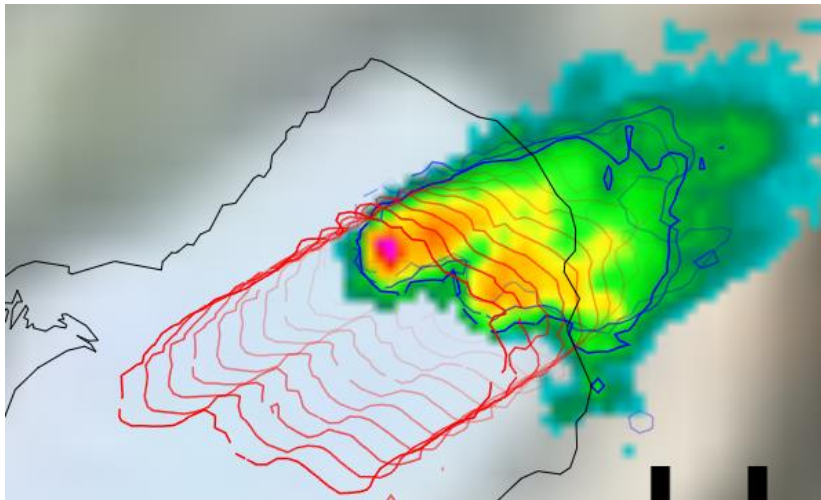
Şekil 2. 29 Eylül 2020 tarihine ait İstanbul Radar VIL ürünü

Bu çalışmada Pysteps ANVIL (Pysteps User Guide, t.y.) açık kaynaklı kodu modifiye edilerek çıktılar Meteoroloji Genel Müdürlüğü personeli tarafından geliştirilen ALTAR uygulamasına entegre edilmiştir. Modifiye edilen ANVIL kodunda aşağıdaki parametreler kullanılmış olup algoritma akışı Şekil 3'de, örnek bir görüntü ise Şekil 4'te verilmiştir:

- **Girdi verisi:** Birleşik (composite) VIL (son 4 ürün)
- **Adveksiyon alanını hesaplamak için yöntem:** Lucas-Kanade
- **Yağış şiddeti:** $> 0,1$ mm/saat
- **Çıktı:** 10 görüntülük nowcasting (zaman adımı: 6 dk)
- **Poligonlar için yağış miktarı eşik değeri:** > 1 mm.

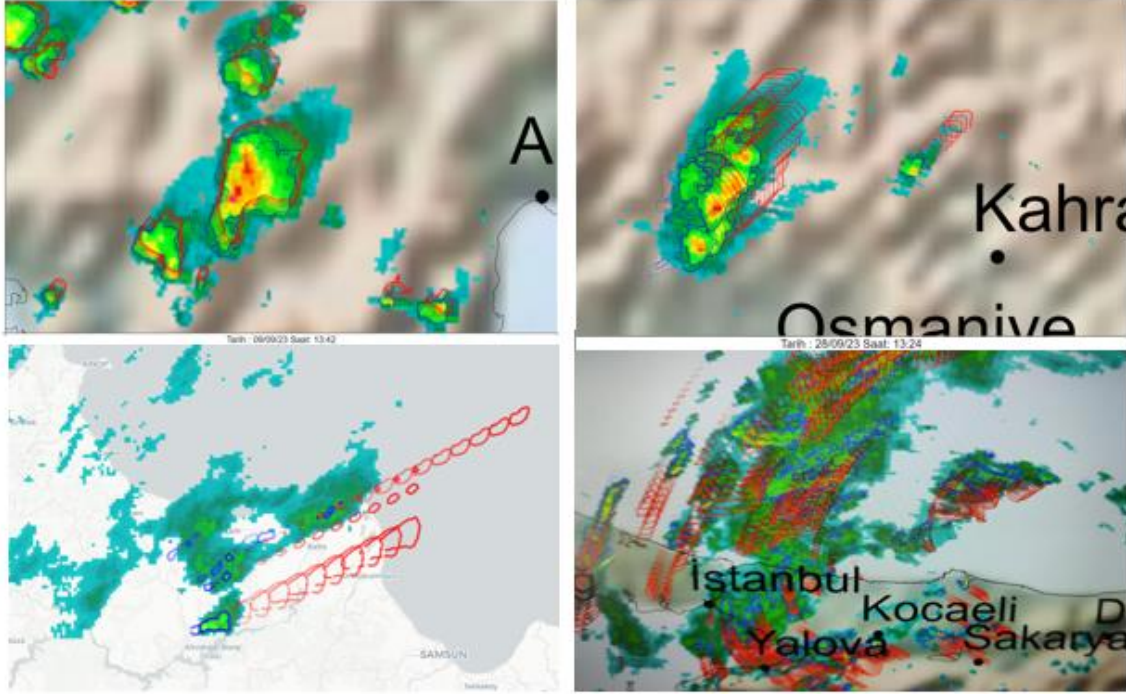


Şekil 3. Meteoroloji Genel Müdürlüğü ANVIL algoritması



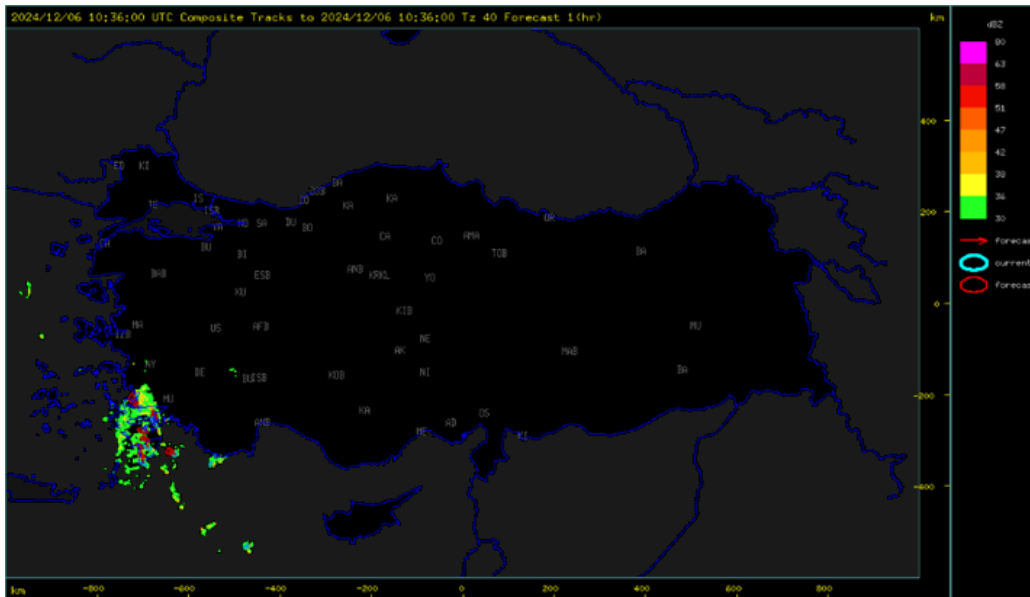
Şekil 4. Mavi renkli poligonlar geçmiş 4 görüntüyü, kırmızı renkli poligonlar ise 6 dakikalık 10 görüntüyü göstermektedir.

Şekil 5'te verilen bazı ANVIL görüntülerinde optik akış yönü ve hızına göre tahminlerin nasıl şekillendiği gösterilmektedir.



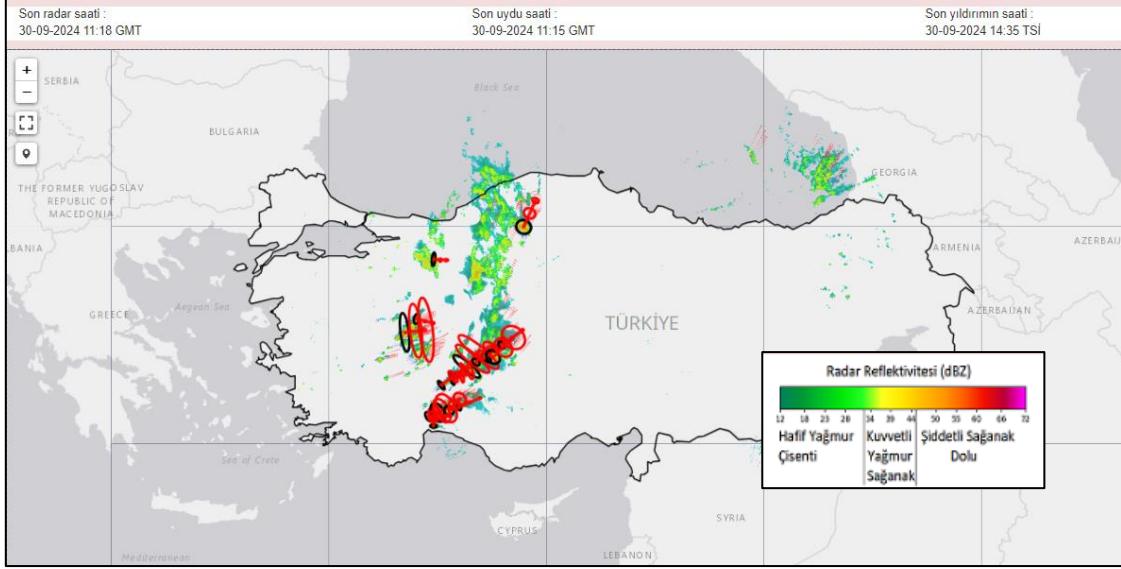
Şekil 5. Örnek ANVIL görüntüleri

TITAN (Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting), NCAR (National Center for Atmospheric Research) tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu bir yazılımdır. TITAN, meteoroloji radarı ile tespit edilen gök gürültülü fırtınaları tespit ve takip etmek için tasarlanmıştır. TITAN, tespit edilen konvektif hücreyi sonraki hücrelerle eşleştirmek için kombinasyonel bir optimizasyon yöntemi kullanarak, hücrelerin birleşme ve bölünmelerini geometrik bir yaklaşımla tespit eder. Hem konumun hem de boyutun kısa vadeli tahmini, geçmiş verilerle ağırlıklı doğrusal uyum esas alınarak yapılır (UCAR, t.y.). TITAN Türkiye arayüzü Şekil 6'da gösterilmiştir.



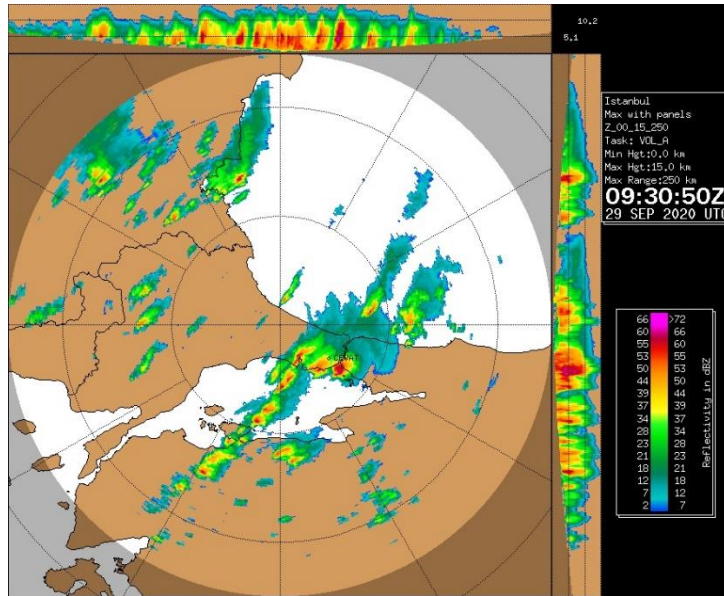
Şekil 6: TITAN uygulaması görseli

ALTAR uygulaması, Türkiye'deki sivil ve askeri havaalanları için meteorolojik uzaktan algılama verilerini kullanmak suretiyle otomatik olarak konvektif fırtına ve sis uyarısı veren, Meteoroloji Genel Müdürlüğü personeli tarafından geliştirilmiş web tabanlı interaktif bir uygulamadır (Zeybek ve Öztürk, 2022). TITAN tahmin çıktıları Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilen ALTAR (Airport Lightning and Thunderstorm Alert by Remote Sensing) uygulamasına entegre edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7: ALTAR uygulamasına entegre edilmiş TITAN ürünü görseli

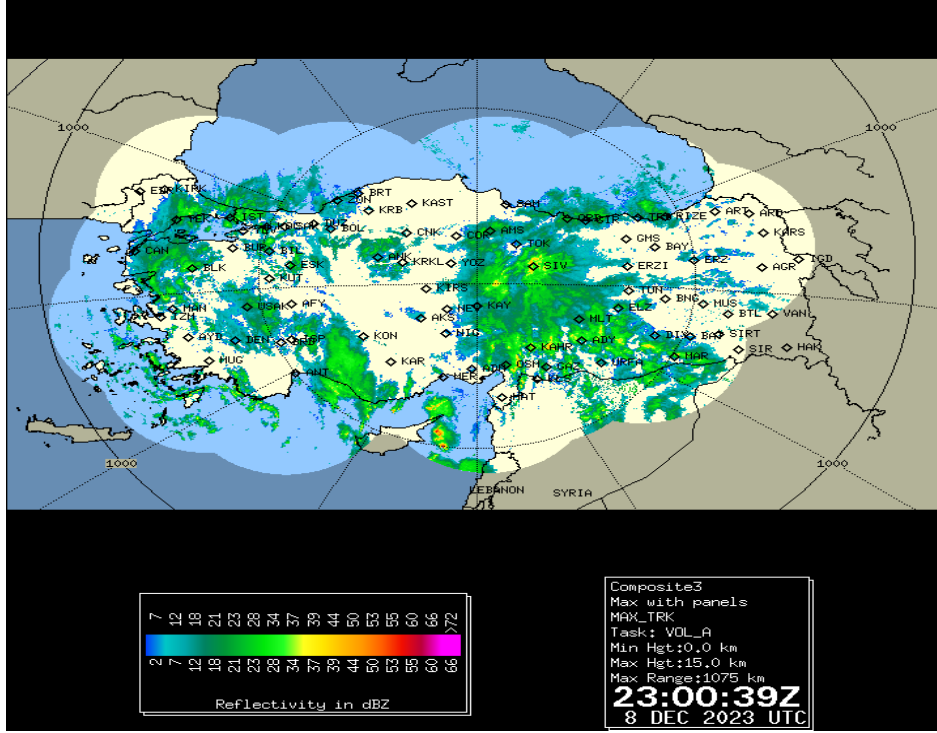
Radar MAX (Maximum Reflectivity) ürünü, radar verisine ait her bir pikselin dikey kesitindeki maksimum ekoları gösterir. Birimi dBZ'dir. dBZ Özellikle şiddetli hava sahalarının görülmesinde faydalı bir üründür (Şekil 8).



Şekil 8: 29 Eylül 2020 tarihine ait İstanbul Radar MAX ürünü

ALTAR uygulamasında Birleştirilmiş Radar MAX (Composite Maximum Reflectivity) ürünü kullanılmaktadır. Birleştirilmiş Radar MAX ürünü, mevcut meteoroloji radarlarının MAX ürünlerinin birleştirilerek tek bir ürün haline getirilmesiyle elde edilen bir radar ürünüdür. Türkiye Birleştirilmiş Radar MAX ürünü, Meteoroloji

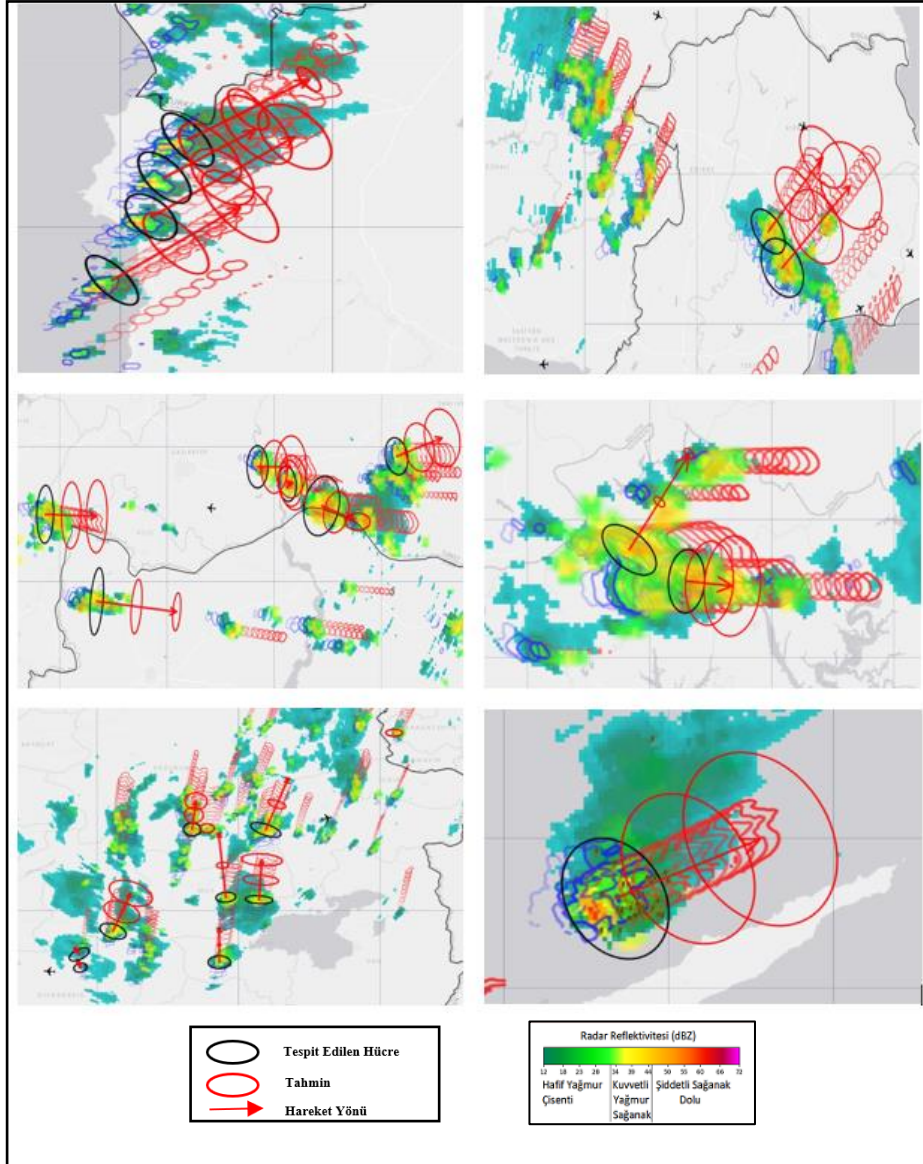
Genel Müdürlüğü tarafından işletilen 17 adet meteoroloji radarından alınan MAX verilerini içermektedir (Şekil 9).



Şekil 9: Örnek Birleştirilmiş Radar MAX ürünü

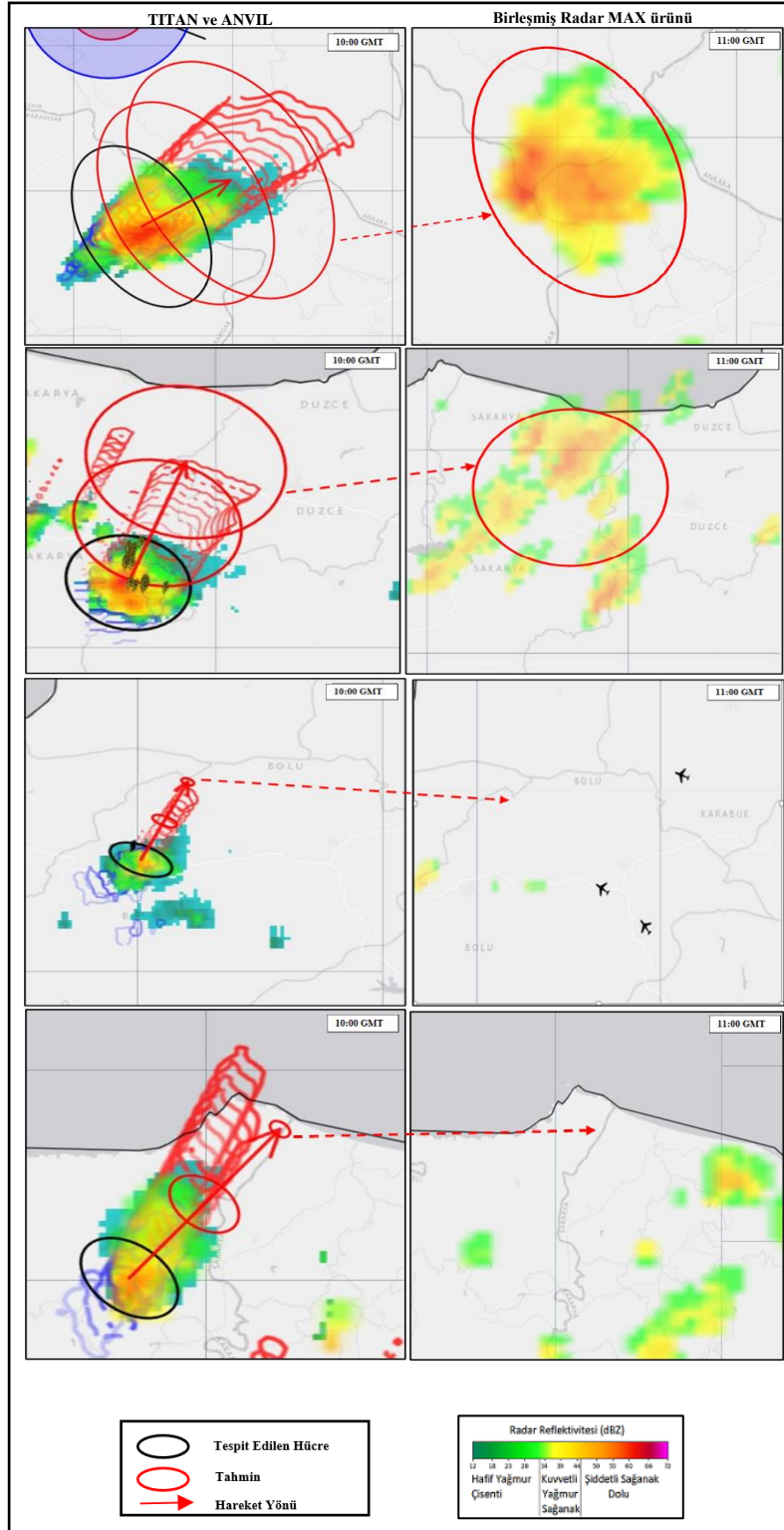
Tespit edilen konvektif hücrenin mevcut konumu (40 dBZ ve üzeri) ile tahmin edilen konum ve boyutu ALTAR üzerinde gösterilir. Tespit edilen konvektif hücre siyah daire, tahminler ise kırmızı daireler ile gösterilmiştir. ALTAR uygulamasında hem TITAN hem de ANVIL tahminleri birlikte gösterilebilmektedir.

TITAN, ekstrapolasyon tekniğini kullanarak fırtınanın düz bir çizgide ilerlediğini öngörmekte, büyüme ve küçülmeyi tahmin etmektedir. ANVIL ise optik akış ve ekstrapolasyon tekniklerini kullanarak hücre hareketini adveksiyona göre belirlemekte, büyüme ve küçülmeyi tahmin etmektedir (Pysteps User Guide, t.y.). TITAN girdi verisi olarak radar reflektivite verisini (MAX), ANVIL ise yağış verisini (VIL) kullanmaktadır. Örnek bazı yağış hadiseleri incelendiğinde TITAN ve ANVIL tahminlerinin büyük oranda uyumlu olduğu, ender durumlarda farklı tahminlerde buldukları gözlemlenmiştir. Şekil 10'da ALTAR uygulamasında gösterilen bazı yağış hadiselerinde TITAN ve ANVIL tahminleri birlikte verilmiştir.



Şekil 10. Bazı yağış hadiselerinde TITAN ve ANVIL görüntülerinin karşılaştırılması

Bu çalışmada rastgele seçilmiş bazı yağış hadiseleri için TITAN ve ANVIL tahminlerinin yön ve konum olarak tutarlılıkları incelenmiştir. 23.05.2024 tarihinde saat 10:00 GMT’de tespit edilen yağış hücrelerine ait TITAN ve ANVIL tahminleri incelenmiş, tahminler saat 11:00 GMT’de elde edilen radar ürünleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 11).

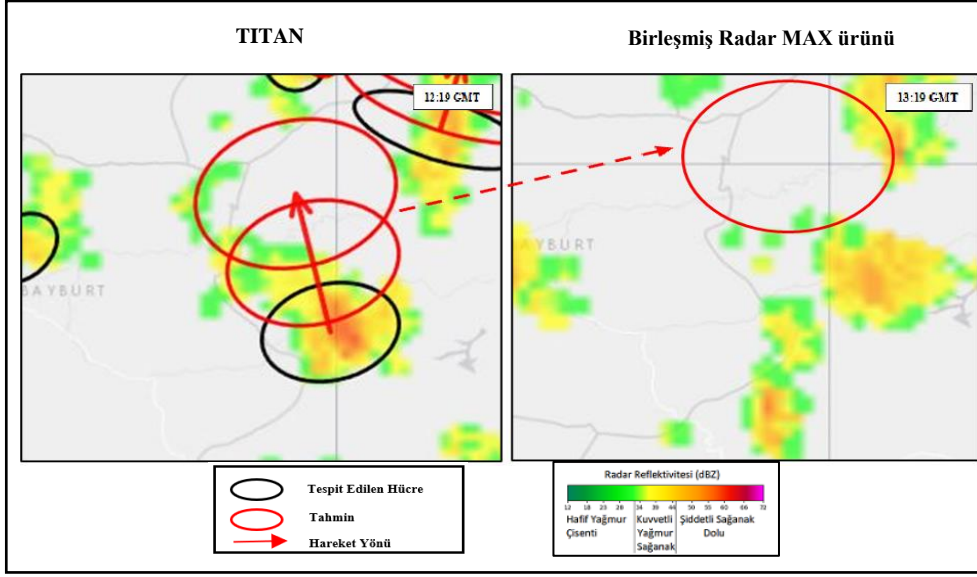


Şekil 11. 23.05.2024 10:00 GMT TITAN ve ANVIL Tahminleri (Sol) - 11:00 GMT Birleşik Radar MAX ürünü (Sağ)

Şekil 11’de sol tarafta gösterilen resimler ALTAR uygulaması üzerinde saat 10:00 GMT’de TITAN ve ANVIL tahmin ürünlerini, sağ taraftaki resimler ise tahminden aynı bölgede 1 saat sonra 11:00 GMT’deki radar hücrelerinin konumunu göstermektedir.

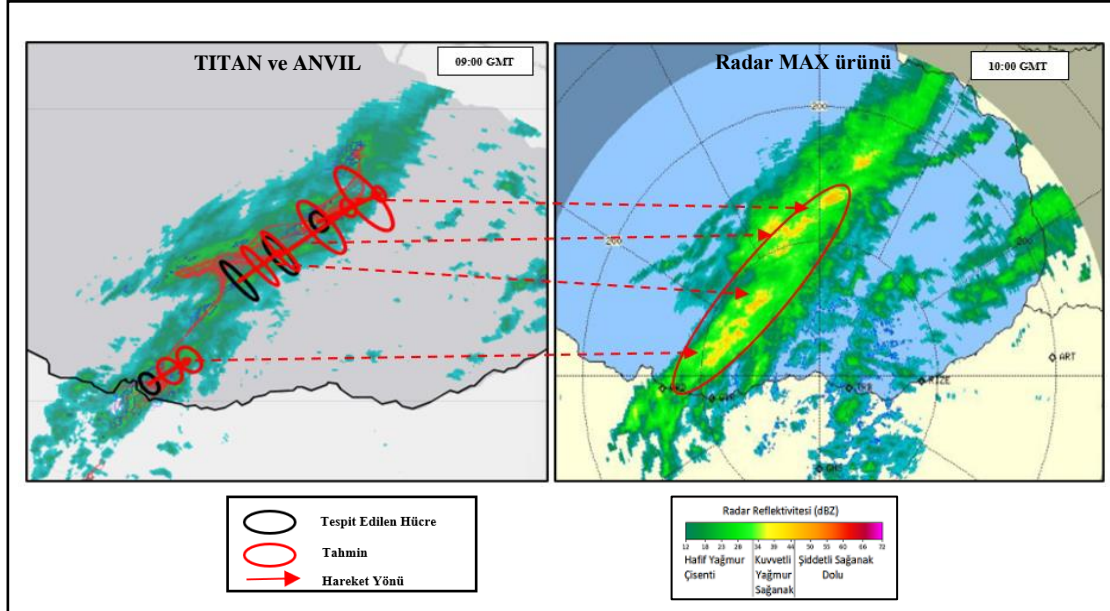
Şekil 12’de sol tarafta gösterilen resimler ALTAR uygulaması üzerinde 24.05.2024 tarihi saat 12:19 GMT’deki TITAN tahmin çıktısını, sağ taraftaki resimler ise tahminden 1 saat sonra 13:19 GMT’deki radar yağış

hücrelerinin konumunu göstermektedir. Bu yağış konvektif karakterli bir yağış olup, gerçekleştiği bölge Bayburt ilinin batısında kalan dağlık bir alandır.



Şekil 12. 24.05.2024 12:19 GMT TITAN tahmini (Sol) - 13:19 GMT Radar MAX ürünü (Sağ)

Şekil 13’de sol tarafta gösterilen resimler ALTAR uygulaması üzerinde 05.04.2024 tarihi saat 09:12 GMT’deki TITAN tahmin çıktısını, sağ taraftaki resimler ise tahminden 1 saat sonra 10:01 GMT’deki radar yağış hücrelerinin konumunu göstermektedir. Bu yağış stratiform karakterli bir yağış olup, Karadeniz’in batı kesimlerimlerinde gerçekleşmiştir.



Şekil 13. 05.04.2024 09:12 GMT TITAN ve ANVIL Tahminleri (Sol) – 10:01 GMT Radar MAX ürünü (Sağ)

BULGU VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada geliştirilen ANVIL tahmin çıktıları ile başka bir açık kaynak kodlu nowcasting uygulaması olan TITAN çıktıları, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilen ALTAR uygulamasına entegre edilerek, rastgele seçilen bazı yağış hadiseleri için karşılaştırılmıştır.

Genel olarak ANVIL ve TITAN tahminleri büyük uyumluluk göstermektedir. Ancak bu iki uygulamanın hücrelerin farklı yönlere hareket edeceğini tahmin ettiği durumlar da olmaktadır (Şekil 8). Bunun sebeplerinden biri ANVIL uygulamasının girdi ürününün bir yağış ürünü olan VIL ürünü olması, TITAN uygulamasının girdi ürününün ise bir reflektivite ürünü olan MAX ürünü olmasıdır. İki uygulamanın hücre tespitinde kullandıkları eşik değerleri de (0,1 mm ve 40 dBZ) farklıdır. TITAN tahminlerinde ekstrapolasyon yöntemini kullanırken, ANVIL ekstrapolasyon ve optik akış yöntemlerini kullanmaktadır.

Stratifom tipi yağışlar, yağış getiren alçak seviye bulutlar olan stratüs tipi bulutların düşey yönde gelişmesiyle oluşan ve kararlı atmosferik şartlarda meydana gelen yağış formlarıdır. Bu tip yağışlar genellikle sıcak cephe geçişli yağışlardır, yağış süreleri uzundur ve geniş alanlarda etkili olurlar. Konvektif yağışlar ise genellikle kararsız atmosferik şartlarında, ısınan havanın yükselmesi ile dikey gelişim gösteren Kümülönimbus (Cumulonimbus-CB) bulut tipinin oluşumuna neden olur. CB bulutları gök gürültülü sağanak yağış, dolu, kuvvetli yağış, şimşek ve hatta hortum gibi ani gelişen şiddetli meteorolojik hadiselerle sebep olabilirler. Bu tip bulutlar yer yüzeyinde oluşan ısı farklılıkları, orografik şartlar, cephesel sistemlerdeki dinamik yükseltici hareketler sonucu meydana gelirler. Ülkemizde genelde yaz, ilkbahar ve son bahar mevsiminde görülen konvektif yağışlar kısa sürelerde, daha dar alanlarda gerçekleşirler. Konvektif yağış türleri kısa süreli, aniden gelişen yağış türleri olduğundan tespit ve takipleri stratifom tipi yağışlara göre daha zordur.

SONUÇLAR

TITAN ve ANVIL nowcasting uygulamalarının yağış hücresini tespit ederek, 1 saat sonrası için hücrenin konum ve boyutu için yaptıkları tahminler ile tahminden 1 saat sonraki radar görüntülerinin konum ve boyutu karşılaştırıldığında, tahminlerin konum ve boyut olarak büyük ölçüde tutarlı olduğu görülmektedir. Yağışın alansal olarak artacağı öngörülen tahminlerde yağışın alansal ve şiddet olarak arttığı, azalacağı öngörülen örneklerde ise yağışın azaldığı veya yok olduğu gözlemlenmiştir. Dağlık bir bölge için incelenen örnekte ise TITAN tahminin gerçekleşmediği görülmüştür. ANVIL ve TITAN uygulamalarının tahminlerinde sayısal hava tahmin modellerinin aksine topografya ile ilgili herhangi bir girdi olmayıp bu uygulamalar optik akış ve ekstrapolasyon yöntemlerini kullanmaktadır. Bu sebeple deniz üzerindeki ANVIL ve TITAN tahminlerin dağlık bölgelere oranla daha iyi performans göstermesi beklenen bir sonuçtur. ALTAR uygulamasını operasyonel olarak kullanan tahmin birimleri, kurumlar ve uygulama geliştiricileri tarafından TITAN ve ANVIL tahminleri aktif olarak takip edilmekte olup subjektif verifikasyonlar ve geri beslemeler sağlanmaktadır. Bu bilgiler ve çalışmada sunulan örnekler göz önüne alındığında, yağış hücrelerinin çok kısa vadeli tespit ve takibinde TITAN ve ANVIL ürünlerinin kullanımının oldukça faydalı olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Germann, U., Zawadzki, I. (2002). Scale-Dependence of the predictability of precipitation from continental radar images, Part I: Description of the methodology, *Mon. Weather Rev.*, 130, 2859-2873.
- Keçeli, A., Kaya, A. (2018). Optik akış görüntüsü ve Bi-Lstm ile şiddet içeren hareketlerin sınıflandırılması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 14, 204-208.
- Li, L., He, Z., Chen, S., Mai, X., Zhang, A., Hu, B., Li, Z., Tong, X. (2018). Subpixel-based precipitation nowcasting with the pyramid lucas-kanade optical flow technique. *Atmosphere*, 9, 260. <https://doi.org/10.3390/atmos9070260>
- Lucas, B.D., Kanade, T. (1981). An iterative image registration technique with an application to stereo vision. *Proceedings of Imaging Understanding Workshop*, pages 121-130. <https://graphics.stanford.edu/courses/cs448a-00-fall/lucaskanade81.pdf>
- Pulkkinen, S., Nerini, D., Pérez Hortal, A.A., Velasco-Forero, C., Seed, A., Germann, U., Foresti, L. (2019). Pysteps: an open-source Python library for probabilistic precipitation nowcasting (v1.0), *Geoscientific Model Development*, 12(10), 4185-4219. <https://gmd.copernicus.org/articles/12/4185/2019/gmd-12-4185-2019.pdf>
- Pysteps User Guide (t.y.). Remarks. https://pysteps.readthedocs.io/en/v1.4/auto_examples/anvil_nowcast.html
- UCAR. (t.y.). Thunderstorm identification, tracking, analysis, and nowcasting (TITAN). <https://ral.ucar.edu/solutions/products/thunderstorm-identification-tracking-analysis-and-nowcasting-titan>
- Zawadzki, I., Morneau, J., Laprise, R. (1994). Predictability of precipitation patterns: An operational approach, *J. Appl. Meteor.*, 33, 1562-1571.
- Zeybek, M., Öztürk, K. (2022). Çevre ve Meteoroloji, *Sonçağ Akademi*, Ankara, 283-302.

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SÜRECİNDE İZMİR'DEKİ SICAKLIKLARIN TREND ANALİZİ

Fatma Ekin Hüner¹

¹Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, United State of America
fhuner3@gatech.edu

Özet

Bu çalışmanın amacı, küresel iklim değişikliğinin İzmir'deki geçmişten günümüze ve gelecekteki aylık ortalama sıcaklık trendlerini belirlemektir. Çalışmada, Max Planck Enstitüsü'nden temin edilen RCP2.6 ve RCP4.5 senaryo verileri Yapay Sinir Ağları (YSA) temelli alt ölçekleme modeli yardımıyla istasyonlara indirgenerek, Yenilikçi Trend Analizi (YTA) yöntemiyle de Çeşme, Bergama, Selçuk, Dikili, İzmir Bölge ve Ödemiş istasyonlarının geçmiş ve gelecek aylık ortalama sıcaklık trendleri ortaya konulmuştur. Gelecek dönem trend analizi sonuçlarına bakıldığında, İzmir Bölge istasyonunun 2070-2100 döneminde 1963-1993 dönemine göre RCP2.6 senaryosu için %13,62; RCP4.5 senaryosu için %15,22 YTA değeriyle en fazla artışa sahip olacağı görülmektedir. En az değişimin ise 2010-2040 döneminde 1963-1993 dönemine göre RCP2.6 senaryosu için %4,47 ile Dikili istasyonunda olacağı anlaşılmaktadır. Aynı zamanda, istasyonlarda genel olarak 2070-2100 döneminde 2040-2070 dönemine göre, 2040-2070 döneminde ise 2010-2040 dönemine göre artış trendinin fazla olacağı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, küresel iklim değişikliğinin İzmir'deki aylık ortalama sıcaklık değerleri üzerindeki etkilerini açıkça göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: İklim, İzmir, Sıcaklık, Yapay Sinir Ağları, Yenilikçi Trend Analizi

TREND ANALYSIS OF TEMPERATURES IN İZMİR DURING THE GLOBAL CLIMATE CHANGE PROCESS

Abstract

The aim of this study is to determine the effects of global climate change on the monthly average temperature trends in İzmir from the past to the present and into the future. In the study, RCP2.6 and RCP4.5 scenario data obtained from the Max Planck Institute were downscaled to stations with the help of Artificial Neural Networks (ANN), and past and future monthly average temperature trends of Çeşme, Bergama, Selçuk, Dikili, İzmir Region and Ödemiş stations were determined by the Innovative Trend Analysis (ITA) method. Looking at the results of the trend analysis for the next period, in the 2070-2100 period at the İzmir Regional station compared to the 1963-1993 period, it is seen that it will have the highest increase with ITA values of 13.62% and 15.22% for the RCP2.6 and RCP4.5 scenarios, respectively. It is understood that the least change with ITA values of 4.47% will be in the Dikili station for the RCP2.6 scenario in the 2010-2040 period compared to the 1963-1993 period. At the same time, it is seen that the increasing trend will be higher in the stations in the 2070-2100 period compared to the 2040-2070 period and in the 2040-2070 period compared to the 2010-2040 period. The results clearly show the future effects of global climate change on the monthly average temperature values in İzmir.

Keywords: Climate, İzmir, Temperature, Artificial Neural Networks, Innovation Trend Analysis

Sorumlu Yazar: Fatma Ekin Hüner

Geliş Tarihi: 1 Nisan 2024

Atıf Şekli: Hüner, F.E. (2024). Küresel İklim Değişikliği Sürecinde İzmir'deki Sıcaklıkların Trend Analizi, *Atmosfer ve İklim Dergisi*, 2(1), 118-128.

Makale Tipi: Araştırma Makalesi

Kabul Tarihi: 26 Aralık 2024

Yayın Tarihi: 31 Aralık 2024

e-ISSN: 3023-8560

GİRİŞ

Sıcaklık; atmosfer, yerküre, denizcilik, tarım, hayvancılık, havacılık, turizm, inşaat ve enerji gibi çeşitli disiplinlerden birçok alanı ve dünya üzerindeki bütün canlıları yakından ilgilendiren önemli bir meteorolojik değişkendir. Sıcaklığın ve sıcaklığa bağlı olarak iklimlerin değişmesi sanayi devrimine kadar tektonik hareketler, dünyanın yörüngesinde ve dönme ekseninin eğiminde olan değişiklikler, güneş lekelerinde olan değişiklikler ve volkanik patlamalar sonucunda çıkan aerosol ve sera gazları gibi doğal sebeplere bağlıyken, sanayi devriminden sonra bu sebeplere ek olarak oldukça etkili olan insan faktörü ortaya çıkmıştır. Dünya üzerindeki küresel ortalama sıcaklık değeri, sanayi devriminden itibaren ivmeli bir şekilde artan endüstrileşme ve sera gazı emisyonuyla birlikte yükselerek küresel ısınmaya yol açmış ve günümüzdeki en büyük problemlerden biri olan iklim değişikliğine sebep olmuştur. Mevcut düzen ve politikalarla iklim değişikliği günümüzde önüne geçilmesi gittikçe zorlaşan çok büyük bir problemidir. Ancak iklim değişikliğinin yavaşlatılması ve iklim değişikliğine uyum sağlamak için küresel ölçekli birçok bilimsel çalışma yapılmaktadır. Bu bağlamda uzun dönemli sıcaklık değerlerinin trend analizi, iklim değişikliği senaryolarının oluşturulması ve iklim değişikliğine uyum sağlama açısından kritik rol oynamaktadır.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), iklim politikaları geliştirilmesi amacıyla hükümetlere bilimsel bilgi sağlamak üzere, 1988 yılında Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından kurulmuştur (Web 2). IPCC Raporları, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nde küresel iklim değişikliğinin durumunu ortaya koyan ve küresel iklim değişikliğinin olası sonuçlarıyla ilgili belirli aralıklarla hazırlanan raporlardır. Bu raporlar, küresel iklim değişikliğinin ne durumda olduğunu bilimsel araştırmalarla göstererek uyum ve mücadele ile ilgili yol gösterir (Web 2). IPCC'nin önemli raporları arasında geçmişte üretmiş olduğu SRES (Special Report on Emission Scenarios - Emisyon Senaryolarına İlişkin Özel Rapor) ve yakın geçmişte üretmiş olduğu RCP (Representative Concentration Pathway – Temsili Konsantrasyon Yolu) senaryoları vardır (Web 5). SRES senaryolarının üretilmesindeki ana amaç, sera gazlarının atmosferde oluşturacağı etkilerin keşfedilmesidir ve A1, B1, A2 ve B2 olmak üzere 4 ana senaryo vardır (IPCC, 2000). RCP senaryoları ise ışınımsal zorlama değerlerine göre RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 olmak üzere 4'e ayrılmıştır (Akçakaya vd., 2013). RCP8.5 en yüksek ışınımsal zorlama değerine sahip olan senaryodur. Işınımsal zorlama (radyatif zorlama), gelen ve giden enerji dengesindeki değişimin bir ölçüsüdür ve küresel iklim değişikliğine sebep olur (Web 3).

Türkiye 26°-45° doğu boylamları, 36°-42° kuzey enlemleri arasında yer alan bir orta enlem ülkesidir. İklimi yarı kurak olarak kabul edilmektedir (Şaylan, 2020). Son yıllarda artan iklim değişikliği, Türkiye gibi tropiklerin dışında kalan ülkelerde de ekstrem hava olaylarına neden olmaktadır. Türkiye'nin kuzeyinde sel olaylarında artış olacağı güneyinde ise daha kurak bir iklim beklenmektedir. 2030 yılı için IPCC senaryoları, sıcak ve kuru bir iklimin Türkiye'de büyük bir alanda etkili olacağını göstermektedir. Sıcaklıkların yaz ve kış mevsimlerinde 2 ile 3°C arasında artabileceği, yağışların ise yaz aylarında %5-%15 azalabileceği beklenmektedir. Beklenen değişikliklerden bir diğeri ise Akdeniz'deki su seviyesinin 2030 yılına kadar 12-18 cm artmasıdır. Bu durum Türkiye'de kıyı bölgeler için oldukça risklidir. Bunun yanında Türkiye için kişi başına 3.070 metreküp su düşerken, artan nüfus artışı ve küresel iklim değişikliğinin etkileri de düşünüldüğünde, kişi başına düşen suyun 700-1.910 metreküp olacağı beklenmektedir (Kadioğlu, 2007). Aynı zamanda Ege Bölgesi'nde sıcaklık artışlarının yaz ayları için 6°C ve üzerinde olabileceği ve çok riskli olduğu vurgulanmaktadır (Önol vd., 2009).

Son yıllarda iklim değişikliğiyle ilgili yapılan diğer çalışmalara bakıldığında, Türkiye'nin %88'lik bir kısmının çölleşme riskiyle karşı karşıya olduğu görülmektedir (Uzuner ve Dengiz, 2020). Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından 2020 yılında yayınlanan rapora göre ise Türkiye'de kısa vadeli politikaların 2-3°C ortalama sıcaklık artışına göre yapılması gerektiği ifade edilmektedir (Özlü vd., 2020).

Özellikle son yıllarda artmakta olan bilimsel araştırmalar ve yapılan uluslararası raporlar, iklim değişikliğinin etkilerini azaltma ve bu değişikliklere uyum sağlama çabalarının küresel ölçekte acil bir gereklilik olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, ülkemiz ve İzmir'deki iklim değişikliği etkilerini anlamak ve bu etkilerle başa

çıkılmak için yapılan çalışmaların önemi oldukça büyüktür. Dolayısıyla İzmir'deki sıcaklık bazlı iklim değişikliği etkilerine karşı mücadele ve uyum çalışmalarına katkı sunabilmek amacıyla bu çalışmada, Yapay Sinir Ağları ve Yenilikçi Trend Analizi yöntemleri kullanılarak, 1963-1993 dönemine göre 2010-2040, 2040-2070 ve 2070-2100 dönemlerindeki aylık ortalama sıcaklık eğilimleri belirlenmiştir.

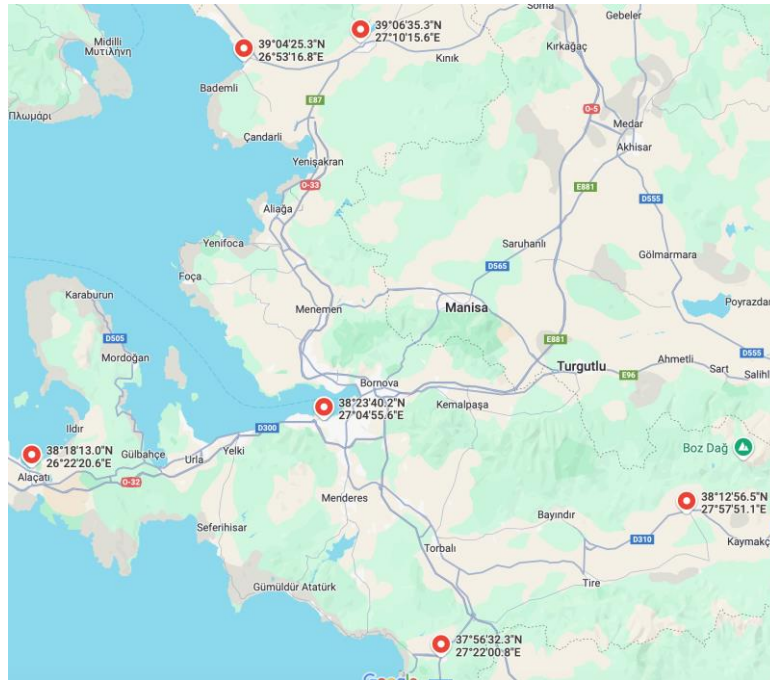
VERİ VE ÇALIŞMA ALANI

İzmir; Türkiye'nin batısında, Ege Denizi'ne kıyısı olan orta enlemlerde bulunan ve Akdeniz ikliminin görüldüğü bir şehirdir. Akdeniz ikliminin özelliğini göstermesinden dolayı yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı geçmektedir. Güneşlenme ve rüzgar potansiyeli, matematiksel konumu ve coğrafi özelliklerinden dolayı yüksektir. Yıllık toplam yağış miktarı ortalama 689 mm'dir. Özellikle kış aylarında şiddetli hava olaylarının görülme sıklığı artar. 1970-2011 yılları arası ortalama sıcaklığı 17.9°C'dir (Web 1).

Çalışma kapsamında, Türkiye'nin İzmir şehrindeki Çeşme, Bergama, Selçuk, Dikili, İzmir Bölge, ve Ödemiş ilçelerindeki meteorolojik istasyonlara ait 1963-2016 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık verileri ile Max Planck Enstitüsü'nün geliştirmiş olduğu MPI-ESM-MR küresel iklim modelinin 2010-2100 yılları arasındaki RCP2.6 ve RCP4.5 senaryolarına ait aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. Tablo 1'de de çalışmada kullanılan istasyonların istasyon numaraları ile koordinat bilgileri verilmektedir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan istasyonlar (Web 4)

İstasyon Adı	İstasyon Numarası	Koordinatlar
Çeşme	17443	38°18'13.0"N 26°22'20.6"E
Bergama	17742	39°06'35.3"N 27°10'15.6"E
Selçuk	17854	37°56'32.3"N 27°22'00.8"E
Dikili	17180	39°04'25.3"N 26°53'16.8"E
İzmir Bölge	17220	38°23'40.2"N 27°04'55.6"E
Ödemiş	17822	38°12'56.5"N 27°57'51.1"E



Şekil 1. Çalışmada kullanılan istasyonların coğrafi konumları (Google Earth, 2024)

Şekil 1, çalışmada kullanılan istasyonların coğrafi konumlarını göstermektedir (Google Earth, 2024). Bu haritada, çalışma bölgesindeki istasyonlar kırmızı işaretlerle belirtilmiş olup, ilgili koordinatlar haritada açıkça görülmektedir.

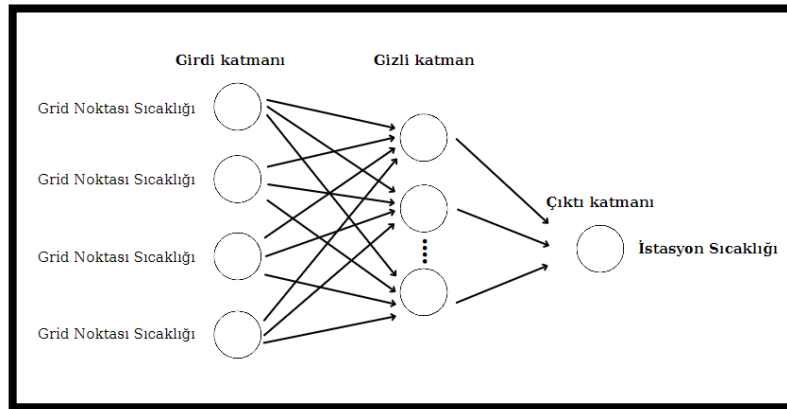
YÖNTEM

Çalışmada kullanılan MPI-ESM-MR küresel iklim modelinin RCP2.6 ve RCP4.5 senaryo verilerinin istasyonlara indirgenmesinde altölçekleme modeli olarak Yapay Sinir Ağları ve trend tespitinde ise Yenilikçi Trend Analizi (YTA) yöntemlerinden faydalanılmıştır. Alt ölçekleme yöntemi, çalışmada kullanılan grid yapısındaki model verilerinin istasyon noktalarına taşımak ve trend analizi ise belirlenen zaman dilimlerinde aylık ortalama sıcaklık değerlerinin nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. YTA, hem görsel açıdan kolayca anlaşıldığı hem de yaptığı sayısal hesaplamalarla doğruluğu yüksek sonuçlar ürettiği için tercih edilmiştir.

Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları (YSA) kısaca, canlıların sinir sisteminin bir modellemesidir (Keskenler ve Keskenler, 2017). Canlılar, sinir sistemlerindeki sınırlar aracılığıyla dış ortamdaki uyarımları beyne taşır ve bu doğrultuda karar verirler. YSA da bu şekilde çalışarak girdi verilerine göre çıktı verisi üretir. Bu sistem önce eğitilir daha sonra ortaya çıkan yapı insanlardaki biyolojik öğrenme sürecinde olduğu gibi karar verebilmeye başlar. Öğrenme süreci, girdi verilerinin eş zamanlı olarak işlenmesi ve ağırlık katsayıları sayesinde hataların azaltılması sayesinde gerçekleşir (Öztemel, 2005 ve 2012). YSA, çok fazla değişkenle çalışabilir ve bu sayede görüntü işleme, ses tanıma, tahmin ve kestirim gibi birçok amaç için kullanılabilir.

YSA'lar 3 katmandan oluşmaktadır. İlk katmana girdi katmanı son katmana ise çıktı katmanı denir. Aradaki diğer katman ise gizli katmandır. YSA'da gizli katman sayısı birden farklı sayıda olabilir. Bütün katmanlarda bulunan yapay sinir hücreleri birbirlerine ağırlık katsayıları ile bağlıdır. Şekil 2 bu çalışmada kullanılan YSA'nın genel yapısını göstermektedir ve girdi tabakasında 4 ve gizli katmanda ise 9 tane YSA hücresi kullanılmıştır. YSA'larda kullanılan temel denklemler ile detaylı bilgiler için Öztöpal (2007) incelenebilir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan YSA mimarisi

Yenilikçi Trend Analizi

Bir zaman serisindeki önem taşıyan değişikliklere trend denir. Yapılan çalışmalar iklim değişikliğinden dolayı çeşitli değişkenlerde olan değişimlerin belirlenmesinin, politikaların belirlenmesinde çok önemli olduğunu vurgulamaktadır (Avşaroğlu, 2019). Değişikliklerin tespit edilmesinde kullanılan en temel yöntem trend analizidir. Bu yöntem hem mevcut durumun belirlenmesinde hem de geleceğe dair bilgi vermesi açısından önemlidir (Uzuner vd., 2021).

Yenilikçi Trend Analizi (YTA) yöntemini kullanmak için ilk olarak incelenmek istenilen zaman aralığındaki veriler iki eş parçaya ayrılır. Daha sonra bölünen veriler küçükten büyüğe doğru sıralanır. Elde edilen sıralanmış veriler XY grafiğinde saçılma diyagramı şeklinde çizdirilir ve grafik 45°'lik bir doğru parçasıyla ayrılır. Bu sayede geçmiş ve gelecek zamanlarını kapsayan verilerin birbirlerine göre trendleri ortaya çıkar. Eğer veriler doğru parçasının üzerinde kalıyorsa artan, altında kalıyorsa azalan bir trend vardır (Şen, 2012; Öztopal ve Şen, 2017; Güçlü, 2018). Bu yöntem hem geçmiş veriler kullanılarak günümüze gelene kadar trendin nasıl değiştiğini hem de model verileri kullanılarak gelecekte nasıl değişeceğini yorumlamak konusunda oldukça kullanışlıdır.

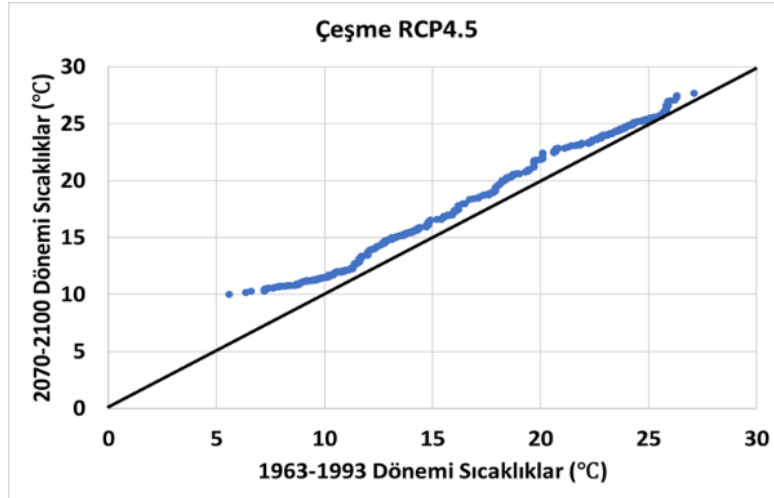
Bu çalışmada YTA yöntemi kapsamında kullanılan temel sayısal denkleme aşağıda yer verilmiştir (Denklem 1).

$$YTA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - x_i}{\bar{x}} \quad (1)$$

- x_i = İlk veri setindeki veriler
- y_i = İkinci veri setindeki veriler
- \bar{x} = İlk veri seti ortalaması
- n = Toplam veri sayısı/2

Bu formül YTA'nın sayısal olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır (Alashan, 2020).

Aşağıda YTA'nın nasıl yorumlandığını anlatmak amacıyla örnek bir grafiğe yer verilmiştir (Şekil 3).



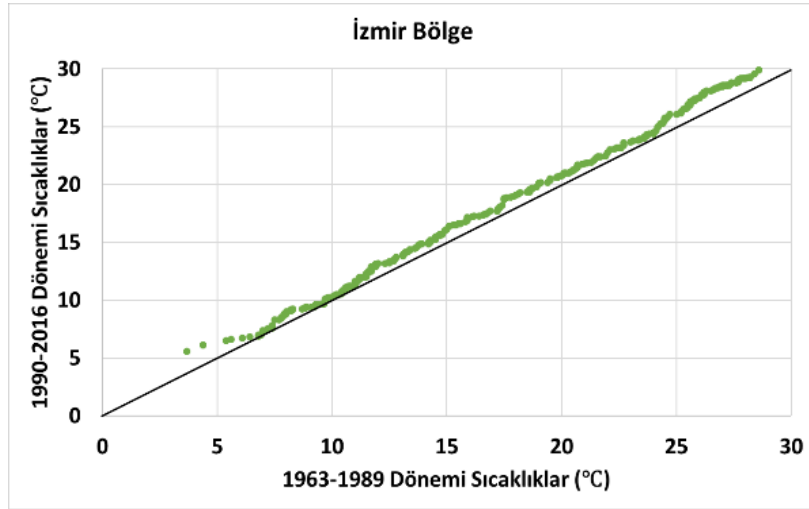
Şekil 3. Örnek YTA grafiği

Şekil 3'te, yukarıda anlatıldığı gibi veriler ikiye bölündükten sonra küçükten büyüğe sıralanmış ve saçılma grafiği çizdirildikten sonra grafiğe 45°'lik bir doğru eklenmiştir. Saçılan değerlerin bu çizginin üstünde kalması ve YTA sayısal değerinin bu çalışma için kritik değer olarak belirlenen %5 değerinin üzerinde olması (%8,26) bu istasyonda 2070-2100 yıllarında 1963-1993 yıllarına göre artan bir trend olduğunu göstermektedir.

BULGU VE DEĞERLENDİRMELER

İzmir Bölge Geçmiş Dönem Trend Analizi

Şekil 4'te İzmir Bölge ilçesi için YTA grafiği görülmektedir.



Şekil 4. İzmir Bölge İstasyonu Yenilikçi Trend Analizi

Tablo 2’de YTA denkleminin ilgili istasyonlar için hesaplama sonuçları ve trend değerlendirmelerine yer verilmiştir. Geçmiş dönem trend analizleri incelendiğinde Selçuk ve İzmir Bölge istasyonları için artan bir trend olduğu hem Şekil 4’ten hem de Tablo 2’den tespit edilebilmektedir. Bergama ve İzmir Bölge istasyonlarındaki YTA değerlerinin bu çalışma için belirlenen kritik seviye olan %5’in üzerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Trend Sonuçları ve İstatistiksel Parametreler Tablosu

İstasyon Adı	Veri Uzunluğu	Birinci Yarım Ortalama	İkinci Yarım Ortalama	ITA (%)	Kritik Seviye (%)	Trend Tipi
Çeşme	648	16,94	17,55	3,60	5	Kritik değerin altında
Bergama	648	15,89	16,68	4,93	5	Kritik değerin altında
Selçuk	648	16,18	17,09	5,64	5	Artan
Dikili	648	16,32	16,81	3,02	5	Kritik değerin altında
İzmir Bölge	648	17,43	18,31	5,16	5	Artan
Ödemiş	648	16,33	16,86	3,19	5	Kritik değerin altında

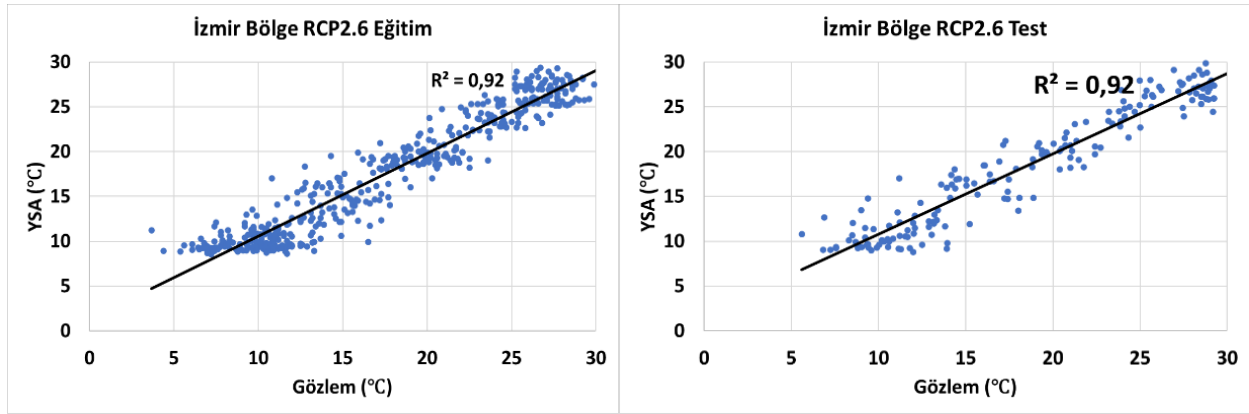
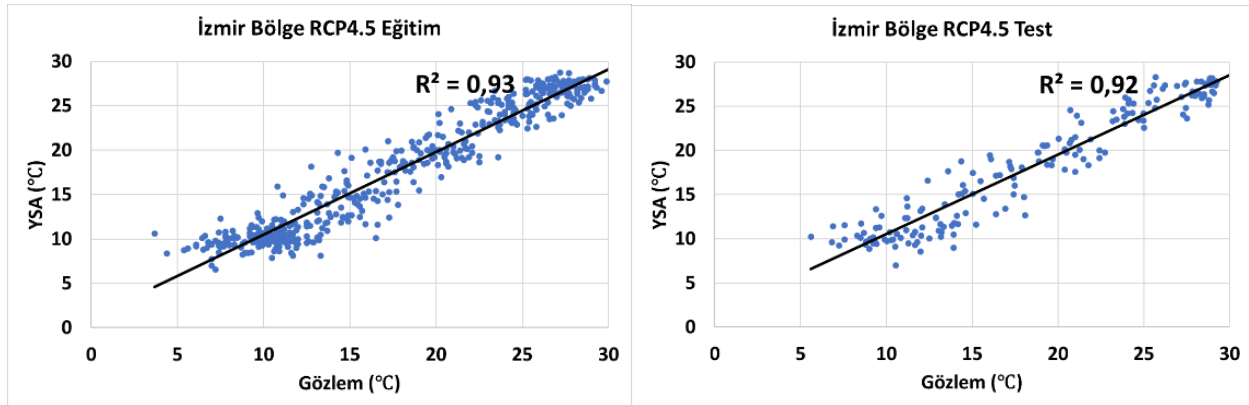
Gelecek Dönem Trend Analizi

Altölçekleme Sonuçları

Aşağıdaki tabloda Çeşme, Bergama, Selçuk, Dikili, İzmir Bölge ve Ödemiş istasyonları için YSA ile oluşturulmuş altölçekleme modelinin eğitim ve test aşamasındaki korelasyon sonuçları yer almaktadır (Tablo 3). Tüm istasyonlar için gerek RCP2.6 ve gerekse RCP4.5 senaryolarına ait hem eğitim hem de test aşamalarındaki korelasyon değerleri 0.90’ın üzerindedir. Örnek olması açısından sadece İzmir Bölge istasyonuna ait altölçekleme sonuçlarına ait saçılma grafikleri de Şekil 5 ve 6’da verilmektedir.

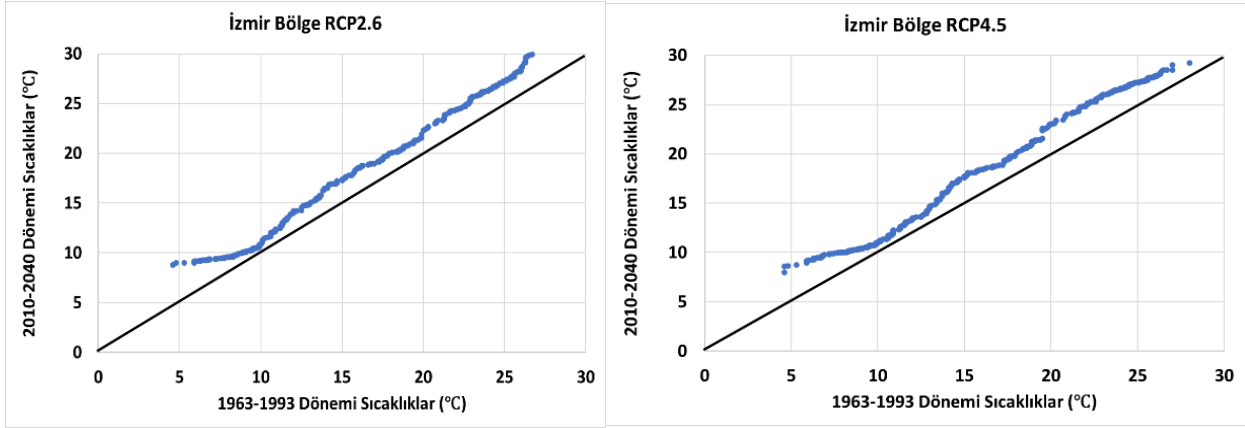
Tablo 3. Eğitim ve test aşamasındaki korelasyon değerleri

	Eğitim RCP2.6	Test RCP2.6	Eğitim RCP4.5	Test RCP4.5
Çeşme	0,93	0,93	0,93	0,91
Bergama	0,92	0,91	0,93	0,91
Selçuk	0,91	0,91	0,91	0,91
Dikili	0,92	0,90	0,93	0,92
İzmir Bölge	0,92	0,92	0,93	0,92
Ödemiş	0,93	0,92	0,94	0,92

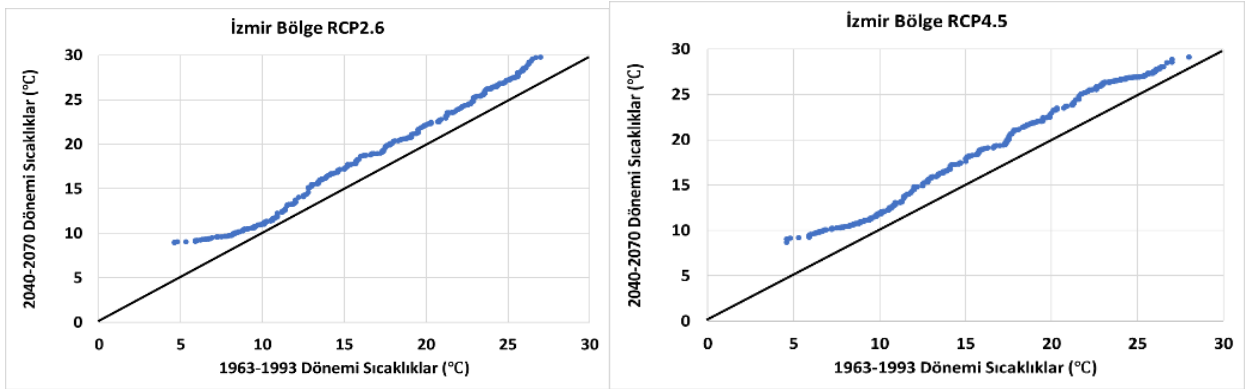
**Şekil 5.** İzmir Bölge istasyonu için RCP2.6 senaryosuna ait altölçekleme sonuçlarının saçılma grafikleri**Şekil 6.** İzmir Bölge istasyonu için RCP4.5 senaryosuna ait altölçekleme sonuçlarının saçılma grafikleri

Trend Analizi

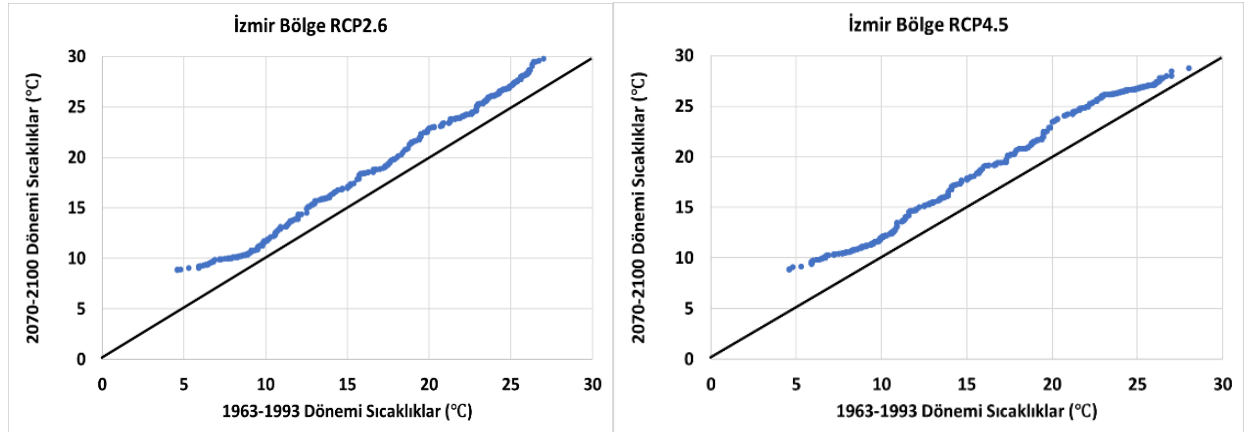
Çalışmada 1963-1993 dönemi geçmiş dönem, 2010-2040 dönemi yakın gelecek, 2040-2070 dönemi orta gelecek ve 2070-2100 dönemi de uzak gelecek olarak tanımlanmıştır. Bu bölümde örnek olması açısından sadece İzmir Bölge istasyonuna ait geçmiş dönemin yakın, orta ve uzak gelecekle olan YTA saçılma grafikleri sırasıyla Şekil 7, 8 ve 9'da verilmiştir. Tüm bu şekillerden tüm gelecekte geçmişe nazaran artan bir trendin varlığı görülmektedir.



Şekil 7. İzmir Bölge istasyonu için 1963-1993 dönemi ile 2010-2040 dönemi YTA saçılma grafikleri



Şekil 8. İzmir Bölge istasyonu için 1963-1993 dönemi ile 2040-2070 dönemi YTA saçılma grafikleri



Şekil 9. İzmir Bölge istasyonu için 1963-1993 dönemi ile 2070-2100 dönemi YTA saçılma grafikleri

Çalışmada kullanılan tüm İzmir istasyonları için hesaplanan YTA değerleri Tablo 4'te verilmektedir. Bu tabloda yer alan hesaplanmış değerler incelendiğinde bütün istasyonlarda RCP2.6 ve RCP4.5 senaryoları için genel olarak artan bir trend olduğu görülmektedir.

Yakın gelecekte; Bergama, Ödemiş, Selçuk ve İzmir Bölge istasyonlarında RCP2.6 ve RCP4.5 senaryoları için kritik değer üzerinde YTA değerleri yani artan trend olduğu görülmektedir. Çeşme ve Dikili istasyonları ise RCP2.6 senaryosuna göre %5 değerinin biraz altında YTA değerlerine sahipken RCP4.5 senaryosuna göre YTA değerleri bu kritik değer üzerine çıkması sebebiyle artan trendde sahiptir.

Orta gelecekte ise Ödemiş, Selçuk ve İzmir Bölge istasyonları her iki senaryo için kritik değer üzerinde YTA değerlerine ve dolayısıyla artan trendde sahiptir. Bergama, Çeşme ve Dikili istasyonlarında ise RCP2.6

senaryosuna göre %5 değerinin biraz altında YTA değerleri görülürken, RCP4.5 senaryosuna göre YTA değerleri bu kritik değerin üzerine çıkmıştır.

Uzak gelecekte ise Bergama, Çeşme, Ödemiş, Selçuk, İzmir Bölge ve Dikili istasyonlarının tümünde kritik değerin üzerinde YTA sonuçlarına ulaşılmış olması nedeniyle artan trend sözkonusudur.

İstasyonların neredeyse hepsinde ve tüm dönemlerde, RCP4.5 senaryosuna göre yapılan hesaplamaların RCP2.6 senaryosuna göre daha yüksek YTA değerlerine sahip olduğu görülmektedir ve bu durum artan trende işaret etmektedir. Aynı zamanda en yüksek YTA değerleri bütün dönemler için İzmir Bölge istasyonunda hesaplanmıştır.

Tablo 4. Bütün istasyonlar için YTA değerleri

Çeşme 1963-1993 ve 2010-2040	YTA (%)	Çeşme 1963-1993 ve 2040-2070	YTA (%)	Çeşme 1963-1993 ve 2070-2100	YTA (%)
RCP2.6	4,49	RCP2.6	4,56	RCP2.6	5,27
RCP4.5	5,31	RCP4.5	7,99	RCP4.5	8,26
Bergama 1963-1993 ve 2010-2040	YTA (%)	Bergama 1963-1993 ve 2040-2070	YTA (%)	Bergama 1963-1993 ve 2070-2100	YTA (%)
RCP2.6	5	RCP2.6	4,9	RCP2.6	6,21
RCP4.5	5,73	RCP4.5	8,11	RCP4.5	7,44
Selçuk 1963-1993 ve 2010-2040	YTA (%)	Selçuk 1963-1993 ve 2040-2070	YTA (%)	Selçuk 1963-1993 ve 2070-2100	YTA (%)
RCP2.6	5,14	RCP2.6	5,51	RCP2.6	5,94
RCP4.5	5,52	RCP4.5	7,84	RCP4.5	7,36
Dikili 1963-1993 ve 2010-2040	YTA (%)	Dikili 1963-1993 ve 2040-2070	YTA (%)	Dikili 1963-1993 ve 2070-2100	YTA (%)
RCP2.6	4,47	RCP2.6	4,92	RCP2.6	5,84
RCP4.5	5,6	RCP4.5	8,25	RCP4.5	8,61
İzmir Bölge 1963-1993 ve 2010-2040	YTA (%)	İzmir Bölge 1963-1993 ve 2040-2070	YTA (%)	İzmir Bölge 1963-1993 ve 2070-2100	YTA (%)
RCP2.6	12,59	RCP2.6	12,55	RCP2.6	13,62
RCP4.5	12,94	RCP4.5	15,48	RCP4.5	15,22
Ödemiş 1963-1993 ve 2010-2040	YTA (%)	Ödemiş 1963-1993 ve 2040-2070	YTA (%)	Ödemiş 1963-1993 ve 2070-2100	YTA (%)
RCP2.6	5,19	RCP2.6	5,53	RCP2.6	6,12
RCP4.5	6,06	RCP4.5	8,64	RCP4.5	8,69

TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen bulgular, İzmir ili için küresel iklim değişikliğinin aylık ortalama sıcaklıklar üzerindeki etkisini çarpıcı bir şekilde ortaya koymuştur. Geçmiş döneme ait verilerde sıcaklıkların artan bir eğilim sergilediği görülmüş ve geleceğe yönelik yapılan projeksiyonlar bu eğilimin hızlanarak devam edeceğini göstermiştir. Özellikle 2070-2100 dönemi için öngörülen sıcaklık artışları, bölge için önemli çevresel ve sosyo-ekonomik risklere işaret etmektedir. Bu durum, İzmir'in iklim değişikliğine karşı kırılganlığını net bir şekilde ortaya koymakta ve iklim değişikliğine uyum politikalarının acilen geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Özellikle şehir planlaması, tarımsal faaliyetler, su kaynaklarının yönetimi ve enerji tüketimi gibi alanlarda uzun vadeli stratejilerin oluşturulması elzemdir. Bunun yanı sıra, toplumun bu değişikliklere hazırlanması için farkındalık kampanyalarının ve eğitim programlarının hayata geçirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda bu çalışma benzer çalışmaların diğer bölgeler için de gerçekleştirilmesinin gerekliliğini vurgulamaktadır.

SONUÇLAR

Bu çalışmada geçmiş ve gelecek anlamda küresel iklim değişikliğinin İzmir aylık ortalama sıcaklık değerlerine olan etkisinin Yenilikçi Trend Analizi (YTA) yöntemiyle ortaya konulması hedeflenmiştir. Bunun için Maks Plank Enstitüsü'nün geliştirmiş olduğu MPI-ESM-MR küresel iklim modelinin RCP2.6 ve RCP4.5 senaryo verileri kullanılmış ve bu verilerin İzmir istasyonlarına indirgenmesi için de YSA'dan oluşturulan bir altölçekleme modeli kullanılmıştır.

Sonuç olarak, iklim değişikliğinin İzmir aylık ortalama sıcaklıkları üzerindeki etkisinin geçmiş dönemde Selçuk ve İzmir Bölge istasyonları için artan bir trende sebep olduğu açık bir şekilde görülmüştür. Aynı zamanda gelecek dönem analizleri incelendiğinde de sıcaklıkların ve hesaplanan değerlerin zamanla daha da arttığı görülmektedir. Bu etkiler özellikle 2070-2100 döneminde oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır ve bu hesaplamalar İzmir açısından riskli olan iklim değişikliği sürecine çarpıcı bir şekilde dikkat çekmektedir.

Bu sonuçlar Türkiye'de iklim değişikliği ve iklim değişikliğine uyum sağlama süreci açısından İzmir ilinin sıcaklıklarının nasıl değişeceğini belirlemek açısından önem taşımaktadır ve bu çalışmaya benzer çalışmaların diğer illerimiz için de yapılması iklim değişikliğine farkındalık oluşturması açısından yararlı olacaktır.

İzmir'de iklim değişikliğine uyum politikalarının bu çerçevede geliştirilmesi ve iklim değişikliğinin İzmir'e uzun vadeli etkilerinin bilirdişiler ve toplum tarafından önemsenmesi gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan istasyon verileri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve RCP senaryo verileri içinse Max Plank Enstitüsü'ne teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Akçakaya, A., Atay, H., Demir, Ö. (2013). İklim değişikliği senaryolarından yeni dönem: Paralel yaklaşım ve temsili konsantrasyon rotaları (RCPs). 6. *Atmosfer Bilimleri Sempozyumu (ATMOS 2013)*, İTÜ, İstanbul.
- Alashan, S. (2020). Logaritmik ölçekte yenilikçi yönelim çözümleme yöntemi, *Konya Journal of Engineering Sciences*, 8, 573-585. <https://doi.org/10.36306/konjes.668212>
- Avşaroğlu, Y. (2019). Dicle Havzası Aylık Ortalama Akım Değerlerinin Trend Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 123 sayfa.
- Güçlü, Y.S., (2018). Multiple Şen-Innovative trend analyses and partial mann-kendall test, *Journal of Hydrology*, 566, 685-704.
- IPCC (2000). Special report on emissions scenarios: A special report of IPCC Working Group III. *Cambridge University Press*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/emissions_scenarios-1.pdf
- Kadioğlu, M. (2007). Bildiğimiz Havalarmın Sonu / Küresel İklim Değişimi ve Türkiye, *Güncel Yayıncılık A.Ş.*
- Keskenler, M.F., Keskenler, E.F. (2017). Geçmişten günümüze yapay sinir ağları ve tarihçesi. *Takvim-i Vekayi*, 2(5), 8-18.
- Önol, B., Ünal, S.Ü., Dalfes, N.H. (2009). İklim değişikliği senaryosunun Türkiye üzerindeki etkilerinin modellenmesi, *İTÜDERGİSİ*: 5(8), 169-177.
- Öztemel E., (2005). TUTORIAL: Yapay sinir ağları ve bilgisayarda öğrenme, *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu-BMYS'2005*, Kocaeli, 16-18 Kasım.
- Öztemel, E. (2012). Yapay Sinir Ağları (Vol. 3). *İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim*.

- Özlu, H., Engürülü, B., Özbek, K.A., Aydın, A., Özüstün, Ö.A. (2020). İklim değışikliği ve Tarım. <https://www.tarimorman.gov.tr/TRGM/Belgeler/%C4%B0klim%20De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi%20ve%20Tar%C4%B1m.pdf>
- Öztopal, A. (2007). Uydu ve yer kaynaklı meteorolojik değışkenlerle kısa vadeli yağış modellemesi için yapay sinir açı yaklaşımı, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öztopal, A., Şen, Z. (2017). Innovative trend methodology applications to precipitation records in Turkey. *Water Resour. Manage.*, 31(3), 727-737.
- Şaylan, L. (2020). Tarımsal Meteoroloji Ders Notları, *İ.T.Ü. Meteoroloji Müh. Böl.*, İstanbul.
- Şen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology, *J. Hydrol. Eng.*, 17(9), 1042-1046.
- Uzuner, Ç., Dengiz, O. (2020). Desertification risk assessment in Turkey based on environmentally sensitive areas, *Ecological Indicators*, 114, 106295. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106295>
- Uzuner, G., Gökcan, M., Karateke, V., Güven, E., Öztopal, A. (2021). Balıkesir yıllık maksimum yağışlarının trend analizi. *Su Vakfı Bülteni*, 15(1), 1–10. Su Vakfı.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Rose, S.K. (2011). The representative concentration pathways: An overview, *Climatic Change*, 109(1), 5.
- Web 1: https://izmir.mgm.gov.tr/files/iklim/izmir_iklim.pdf (02.06.2024 tarihinde alındı).
- Web 2: <https://www.ipcc.ch/about/> (02.07.2024 tarihinde alındı).
- Web 3: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-2.html (17.06.2024 tarihinde alındı).
- Web 4: <https://mgm.gov.tr/kurumsal/istasyonlarimiz.aspx?il=%C4%B0zmir> (17.06.2024 tarihinde alındı).
- Web 5: <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx?s=senaryolar> (17.06.2024 tarihinde alındı).