

ABSTRACT

Flood events in our country have been increasing since the mid-1990s. The Eastern Black Sea Basin is one of the regions most affected by floods and inundations due to its topographical and hydrometeorological characteristics. On September 20, 2024, convective heavy rainfall over a short period was the main cause of the flood that occurred in Araklı and its surrounding areas (164 kg/m² of rainfall was recorded in 4 hours). In this study, the heavy rain that took place on the specified date and time interval (12:00–15:00 GMT) was meteorologically analyzed. The investigation utilized products from the Numerical Weather Prediction (NWP) run by the Numerical Weather Prediction Division of the Turkish State Meteorological Service (TSMS), including ECMWF, AROME, ALARO, EFI, EPS, and WRF models, Skew-T log-P diagrams, outputs of instability indices (such as K Index and TT Index), developed under the NWC SAF context Convective Rainfall Rate (CRR), Rapidly Developing Thunderstorms (RDT), and Cloud Top Temperature and Height (CTTH) satellite products and Trabzon Meteorology Radar images. The meteorological causes of the flood event in Trabzon-Araklı were analyzed and interpreted using these materials. It was observed that the system, continuously fed by the sea, facilitated the initiation of convective activity due to surface-level warming and cooling in the upper levels, leading to the formation and intensification of rainfall. The system showed no horizontal movement, remaining stationary and delivering rainfall over nearly the same area throughout the event.

Keywords: Turkey, Trabzon, Araklı, Flood, Flash Flood, Heavy Rainfall

Makale Atıf Bilgisi: YILMAZ, B. A. - ÖZGÜN, B. - GÖZET, E. (2024). "20 Eylül 2024 Tarihinde Türkiye'de Meydana Gelen Şiddetli Yağış ve Sel Olayının Meteorolojik Analizi (Trabzon İli, Araklı ve Çevre İlçeleri)". *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*, Yıl 3, Sayı 6, s. (139-166)

Makale Türü: Araştırma
Geliş Tarihi: 16.12.2024
Kabul Tarihi: 26.12.2024
Yayın Tarihi: 30.12.2024
Yayın Sezonu: Temmuz-Aralık

20 EYLÜL 2024 TARİHİNDE TÜRKİYE’DE MEYDANA GELEN ŞİDDETLİ YAĞIŞ VE SEL OLAYININ METEOROLOJİK ANALİZİ (TRABZON İLİ, ARAKLI VE ÇEVRE İLÇELERİ)

Batuhan Ateş YILMAZ
Barış ÖZGÜN - Edanur GÖZET

ÖZ

Ülkemizde yaşanan taşkın hadiseleri 1990’ların ortalarından bu yana artış göstermektedir. Doğu Karadeniz Havzası topografik ve hidrometeorolojik yapısı nedeniyle sel ve taşkınlardan en çok etkilenen bölgelerden biridir. 20 Eylül 2024 tarihinde Araklı ve çevresinde meydana gelen kısa zamanda düşen yüksek miktarda konvektif sağanak yağışlar selin ana nedenini oluşturmuştur (4 saat içerisinde 164 kg/m² yağış gerçekleşmiştir). Bu çalışmada, belirtilen gün ve tarihte 12:00-15:00 GMT periyodunda gerçekleşen şiddetli yağış meteorolojik olarak analiz edilmiştir. Yapılan incelemede; Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün (MGM) Sayısal Hava Tahmini Şube Müdürlüğü tarafından çalıştırılan Sayısal Hava Tahmini (SHT) ürünleri (ECMWF, AROME, ALARO, EFI, EPS, WRF), SkewT-logP diyagramı, bazı kararsızlık indeksleri çıktıları (K indeksi ve TT indeksi), NWC SAF bağlamında geliştirilen konvektif yağış yoğunluğu (CRR), hızlı gelişen fırtına (RDT) ve bulut tepe sıcaklığı ve yüksekliği (CTTH) uydu ürünleri ve Trabzon Meteoroloji Radarı görüntüleri materyal olarak kullanılmıştır. Trabzon-Araklı’da gerçekleşen sel hadisesinin meteorolojik sebepleri bu materyaller kullanılarak analiz edilmiş ve yorumlanarak açıklanmıştır. Süreklilik arz edecek şekilde denizden beslenen sistem, yer seviyesindeki ısınma ve yukarı seviyelerdeki soğuma ile konvektif faaliyetlerin başlamasına neden olarak yağışın oluşumu ve şiddetini arttırmıştır. Sistemin yatay doğrultuda hiç hareket etmediği hemen hemen aynı bölge üzerinde etkili olarak yağış bıraktığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Türkiye, Trabzon, Araklı, Sel, Taşkın, Şiddetli Yağış

1. Giriş

İklim, yerkürenin herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca gözlenen hava koşullarının ortalaması olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım son yıllarda ortalamaların yanı sıra gözlenen ya da gerçekleşen hava olaylarının oluşma sıklıklarının zamansal dağılımları, gerçekleşen ekstrem değerler ve şiddetli olayların birleşimi olarak geliştirilmiştir (Türkeş, 2001; Türkeş 2007). Sanayi devrimiyle beraber atmosferdeki sera gazı artışı küresel ısınmaya neden olan başlıca etkidir. Küresel ısınmayla beraber küresel iklim değişikliği günümüz dünyasının en önemli konularından biri haline gelmiştir (Yılmaz vd., 2018). İnsan kaynaklı iklim değişikliği günlük sıcaklık ve yağış uç değerlerinin oluşma sıklığında ve yoğunluğunda artışa yol açmış ve giderek daha sık ve şiddetli aşırı hava ve iklim olaylarının ortaya çıkmasını tetiklemiştir. İklim değişikliği her yıl, sıcak hava dalgaları, kuraklıklar ve yoğun yağışlar gibi daha yoğun aşırı hava olaylarıyla kendini gösterir (Clarke, 2002). İklim değişikliği sonucunda yağış rejimindeki dengesizlikler bazı bölgelerde kuraklığa neden olurken bazı bölgelerde ani ve şiddetli yağışlara neden olmaktadır (Çeribaşı ve Ceyhunlu, 2020). 1950'lerden bu yana dünyanın çoğu yerinde gerçekleşen aşırı yağışlar daha sık ve yoğun hale gelmiştir (Fischer & Knutti 2015; Stott, 2016; Robinson, 2021). Günlük aşırı hava olayları küresel bazda değerlendirildiğinde soğuk uç noktalar oranı azalırken, sıcak uç noktaları artmaktadır (Robinson vd., 2021). 2011-2020 döneminde küresel yüzey sıcaklığı 1850-1900 dönemine göre 1.1°C artmıştır (IPCC, 2023). Türkiye'nin 1990- 2050 yılları arasındaki standart yağış buharlaşma indeksi (SPEI) ile elde edilen kuraklık analizlerine göre SPEI3, SPEI6, SPEI9 ve SPEI12 dönemlerinde kuraklık beklenen bölgelerin aynı olduğu ama etki alanlarını arttırdığı görülmektedir (Ceyhunlu ve Çeribaşı, 2024). Sıcaklık artışıyla oluşan küresel ısınma ile birlikte hidrolojik döngünün değişmesi, aşırı buharlaşma, kar ve buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, aşırı buharlaşma, yağış miktarı ve rejiminde değişiklikler ile ekstrem yağış yoğunluğunun artması sel riskinin meteorolojik-klimatolojik kaynağını oluşturmaktadır (Tabari, 2020; Karaman ve Gökalp 2010). Daha sıcak bir atmosfer, belirli bir basınçta daha fazla nem tutar: Clausius-Clapeyron ilişkisi, belirli bir basınçta tutulan nemdeki artışın 1 °C'de % 6-7 olduğunu belirtir. Atmosferdeki ekstra su, belirli bir bölgedeki yağış uçlarını da etkiler (Pfahl vd., 2017).

Sel ve taşkınların gerçekleşmesi ve sıklığında iklim faktörleri ve küresel iklim değişikliğinin etkili olduğu bilinmektedir. (Avcı vd., 2023). Küresel iklim değişikliği sonucu deniz seviyesinin yükselmesi, sıcaklıkların ve aşırı yağışların artması ile kıyı kentlerinde gerçekleşen seller arasında daha güçlü bir ilişki bulunmuştur (Xu vd., 2023; Fang vd.,2020). Sel; çöller ve tropikal alanlar da dahil olmak üzere Dünya'nın her yerinde doğal koşullar (klimatolojik, meteorolojik, jeolojik ve jeomorfolojik) ve insan faktörleri (ormansızlaşma ve kötü arazi kul-

lanımı) gibi etkilerle büyük su kütlelerinin akarsu yataklarında, vadi yamaç ve tabanlarında, çukur bölgeler ve kıyı alanlarda kontrolsüz bir biçimde akması ve yayılması olayıdır (Özcan, 2006; Sholihah vd., 2020).

Literatürde, şehir selleri ve ani taşkınlar için son zamanlarda “Yağışsal (Plüviyal) Seller” tanımı da kullanılmaktadır. Özellikle, Avrupa’nın kıyı şehirlerinde plüviyal sellerin görülme oranı daha yüksektir (Demircan, 2022; Guerreiro vd., 2017). Plüviyal seller, küresel çapta birçok şehir için önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Bulti ve Abebe, 2020;). Plüviyal seller, yağış şiddeti drenaj sistemlerinin kapasitesinin üzerine çıktığında meydana gelmektedir (Rosenzweig vd., 2018). Seller, oluşum sürelerine göre, yavaş gelişen seller, hızlı gelişen seller ve ani seller olarak; oluşum yerlerine göre, dere ve nehir selleri, dağlık alan-kuru vadi selleri, kent selleri, kıyı selleri ve baraj selleri olarak; oluş zamanlarına göre ise yaz taşkınları (yaz sağanakları ile oluşan taşkınlar), kış taşkınları (Kasım-Mart arası oluşan taşkınlar) ve ilkbahar taşkınları (Nisan-Mayıs arasında kar erimesi sebebiyle oluşan taşkınlar) olarak ayrılmakta olup ülkemizde en sık görülen ve en çok hasara sebep olan taşkınlar akarsu taşkınlarıdır (Kadioğlu, 2019; Akman, 2021; Yüksek vd., 2022).

Türkiye konumu itibariyle iklim değişikliğinden en çok etkilenen ülkeler arasında yer almaktadır (Çeribaşı ve Ceyhunlu, 2021). Doğu Karadeniz Havzası topografik ve hidrometeorolojik yapısı nedeniyle sel ve taşkınlardan en çok etkilenen bölgelerden biridir (Çeribaşı, 2019). Doğu Karadeniz Bölgesinde oluşan taşkınlar ve seller yalnızca yüksek yağış miktarlarına bağlı değildir. Toprağın doygun olması ile az miktardaki yağışlar ve kar erimeleri de taşkınlara dönüşebilmektedir (Gürgen, 2004). İlkbahar döneminin gelmesiyle birlikte havalar ısınmaya ve karlar erimeye başlar. Yağış miktarlarının düşük olmasına rağmen akarsuların akımları artar. Hatta bazen eriyen kar sularına etkili sağanak yağışların da eklenmesiyle akarsularda taşmalar meydana gelir (Uzun, 2007).

Ülkemizde yaşanan taşkın hadiseleri 1990’ların ortalarından bu yana artış göstermektedir (Kömüşçü & Çelik, 2013). Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün (MGM) 2023 Yılı Meteorolojik Afet Değerlendirmesine raporuna göre 2023 yılında ülkemizi etkileyen doğa kaynaklı meteorolojik afetlerin %38,3’ü şiddetli yağış/sel, %23,2’si fırtına ve %16,3’ü dolu olarak kayıtlara geçmiştir (MGM, 2024).

Ülkemizde yağış rejimlerini etkileyen başlıca faktörler; hava kütleleri, cepheselerin geliş yönleri, topografya ve karasallık koşullarıdır. Sonbahar ve kış dönemleri, cephesel faaliyetlerin daha etkili olması sebebiyle yağış miktarının en yüksek olduğu dönemlerdir. İlkbahar döneminde güney yönlerden esen fön rüzgarları ile kara-deniz sıcaklıklarının birbirine yakın olması sebebiyle yağışlarda azalma gerçekleşir. Yaz döneminde ise sürekli kuzeyli akışlar sebebiyle kıyı dağlar boyunca orografik yağışlar oluşmaktadır. Ayrıca ilkbahar ve yaz dönemlerinde gündüz ısınması ile konvektif kararsızlık yağışları da gerçekleşmektedir (Ölgen, 2010; Türkes vd., 2008).

Orta ölçekli konvektif sistemler, şiddetli yağışların başlıca oluşum nedenlerinden biridir (Maddox vd., 1979; Duffourg vd., 2018). Ani sellere ve heyelanlara neden olan şiddetli yağışlar genellikle uzun ömürlü yavaş hareket eden yarı doğrusal konvektif sistem tarafından meydana gelir. Dikey olarak kesilmiş akışlarda geri besleme (back-building) özelliği vardır (Bluestein & Jain 1985; Kato & Goda 2001). Özellikle, toplam yağış, yağışın hızı ve süresiyle doğrudan ilişkili olduğundan aynı yer üzerinde geri oluşum yapan konvektif sistemler aşırı yağışa elverişlidir (Doswell vd., 1996; Schumacher ve Johnson 2005). Geri beslemeli konveksiyonda, yeni hücreler yukarı akışta tekrar tekrar yenilenirken, olgun hücreler aşağı akışta zayıflayarak konvektif bölgenin yarı-durağan davranışına neden olur (Schumacher & Johnson 2005; Hitchcock ve Schumacher, 2020) (Şekil 1). Geri besleme süreci, yüksek CAPE, düşük LFC ve bol su buharı olan bir ortamda gerçekleşmektedir (Zhang vd., 2024). Bu tip sinoptik olaylarda; güçlü bir ortatropsferik trof hattı ile birlikte yavaş hareket eden yüzey cephesi ve nem taşınması bölgede havanın yükselmesine yol açmaktadır. Geri besleme sistemiyle ilişkili yağışlarda sıklıkla görüldüğü gibi, yoğun yağış alanı çizgi şeklindedir (Ito vd., 2021). Literatür incelendiğinde geri beslemeli yağışlarla ilgili çalışmaların az olduğu gözlemlenmiş olup genellikle yapılan çalışmalar ve meydana gelen hadiselerin incelenmesinde 2-4 saat civarında kütlelerin yaşam süresi geçirdiği görülmüştür.

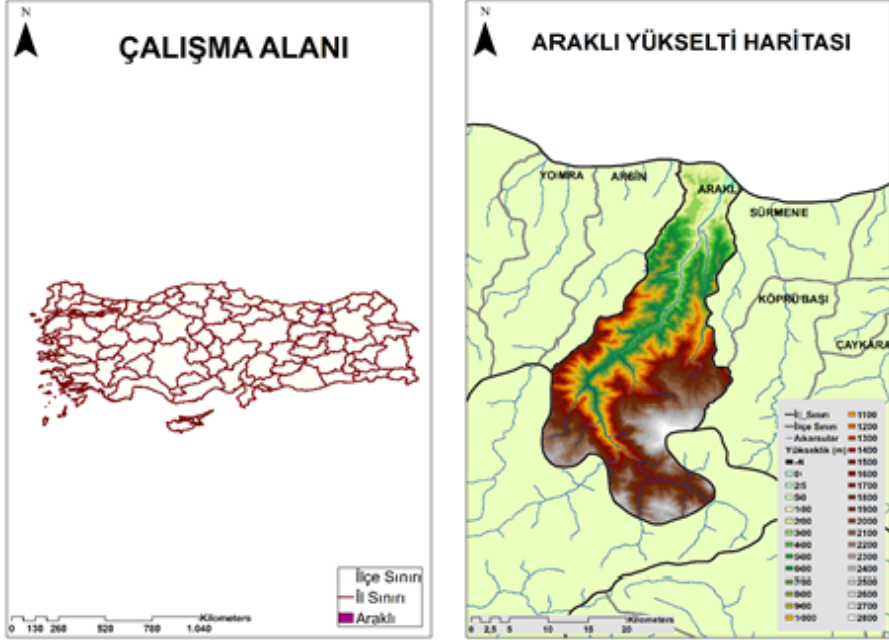
Bu çalışmanın amacı; Türkiye’de meydana gelen kuvvetli gök gürültülü sağanak yağışlar neticesinde oluşan sellerden biri olan Trabzon/Araklı Selini (20 Eylül 2024) incelemek, sayısal model ürünlerine önermelerde bulunmak, uzaktan algılama ürünlerinin sel hadisesinin takibinde ve tahminindeki rolünün önemini ortaya koymak ve bunlar için yapılacak yeni çalışmalar için çeşitli önermelerde bulunmaktır.



Şekil 1. Back-building storms (Geri beslemeli yağışlar)

1.1. Çalışma Alanı

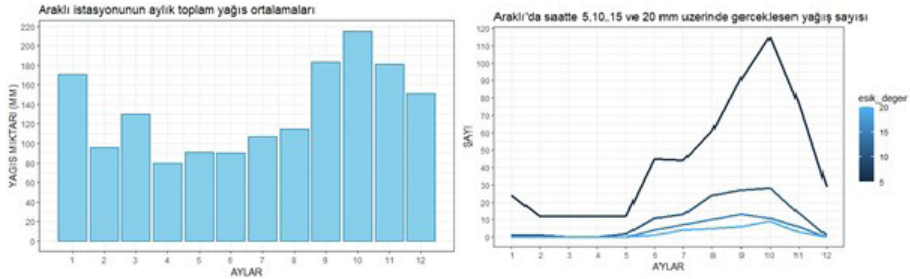
Çalışma alanı, Türkiye’nin kuzeydoğusunda bulunan Doğu Karadeniz bölgesinde, 40°15’–41°34’ kuzey enlemleri ile 36°43’–41°35’ doğu boylamları arasında konumlanmış olup Trabzon ilinin doğusunda, Araklı ve Sürmene ilçeleri sınırları kapsamında yer almaktadır. Araklı ilçe merkezi deniz seviyesinde (5m) bazı noktaları harita lejantında görüldüğü üzere deniz seviyesinin altında (-4m) yer almaktadır. (Şekil 2.).



Şekil 2. Çalışma alanının yükselti haritası

Doğu Karadeniz Havzası Türkiye’nin en fazla yağış alan hidrolojik havzasıdır. Karadeniz’in etkisi altında bulunan sahil kısmı, kışları ılık ve yağmurlu, yazları ılıman ve nispeten yağışlıdır. İç kısımda yazlar kurak ve ılık, kışlar yağışlı ve soğuktur (Yüksek vd., 2022). Doğu Karadeniz Havzası’nın 1993-2022 yılları arasındaki yıllık toplam yağış ortalaması 1000.2 mm’dir. En yüksek miktarda yağış alan yıl 1275.5 mm ile 2016 iken en az miktarda yağış alan yıl 808.4 mm ile 2019’dur. Yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 133.7 gündür. (Gözet vd., 2023). Araklı istasyonunun 2014-2023 yılları arasındaki aylık toplam yağış ortalamaları incelendiğinde; en çok yağış alan ayın aylık ortalama 215,1 mm ile ekim ayı, en az yağış alan ayın ise 90,3 mm ile haziran ayı olduğu görülmektedir. Kuvvetli yağışların frekanslarını incelemek için Araklı istasyonunda saatte 5, 10, 15 ve 20 mm üzerinde gerçekleşen yağışların sayıları aylık olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda 5 mm ve üzerindeki yağış sayısı ekim ayında belirgin bir şekilde en yüksek (115) iken, 10, 15 ve 20 mm üzerindeki yağış sayıları temmuz,

ağustos, eylül ve ekim aylarında hemen hemen birbirine yakın değerler olarak hesaplanmıştır. Yaz dönemindeki bu yüksek değerlere bakarak, sıcaklık artışıyla beraber konvektif faaliyetlerin şiddetli yağışlar ile doğrudan bir ilişkisi olduğu söylenebilir (Şekil 3.).



Şekil 3. Araklı'da aylık toplam yağış ortalamaları ve saatte 5, 10, 15 ve 20 mm üzerinde gerçekleşen yağış sayısı ortalamaları (2014-2023)

Çalışma alanının yeryüzü şekilleri açısından en belirgin özelliği kıydan itibaren yükseltinin kısa mesafelerde artmasıdır. Çalışma alanında bulunan Yanbolu Deresi, Karadere Çayı, Küçükdere Çayı, Manahoz Çayı ve Kastel Derelerinin boylarının kısa, vadi yamaçlarının dik olması sebebiyle genellikle dar ve düzensiz olan vadi tabanlarında sel suları vadi tabanlarına hızlı bir şekilde toplanıp taşkın riskini arttırmaktadır (Gürgen, 2004; Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020; Avcı vd., 2023). Çalışma sahasında ilkbahar ve yaz yağışlarının konvektif türde olması ve ilkbahar döneminin başlamasıyla yerde bulunan kar örtüsünün erimesi, arazi yapısı ve eğimin fazla olması sel-taşkın riskini arttırmaktadır (Karadeniz, 1995; Haltas vd., 2021; Nacar vd., 2022; Avcı vd., 2023).

2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) Sayısal Hava Tahmini Şube Müdürlüğü tarafından çalıştırılan Sayısal Hava Tahmini (SHT) ürünleri (ECMWF, AROME, ALARO, EFI, EPS, WRF) ve SkewT-logP diyagramı, bazı kararsızlık indeksleri çıktıları (K indeksi ve TT indeksi), NWC SAF bağlamında geliştirilen CRR, RDT ve CTHH uydu ürünleri, Trabzon Meteoroloji Radarı görüntüleri materyal olarak kullanılmış olup hadisenin meteorolojik analizi ve yorumlanması yapılmıştır.

2.1 Sayısal Hava Tahmini (SHT) Ürünleri

Bu çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün (MGM) Sayısal Hava Tahmini Şube Müdürlüğü tarafından çalıştırılan Sayısal Hava Tahmini (SHT) ürünleri (ECMWF, AROME, ALARO, EFI, EPS, WRF) kullanılmıştır. SHT hali hazır havanın sıcaklık, rüzgar, nem, basınç gibi prognostik değişkenlerinin bilgisayar ortamında matematiksel ve atmosferik denklemler ile modellenmesi sonucunda çıkan verilerin işlenerek gelecek dönemlerdeki mekânsal ve zamansal değişimini tahmin etme tekniğine verilen isimdir (Schulze, 2007; Karadavut, 2014; Uysal vd., 2021). Bazı SHT modellerinin yatay-düşey çözünürlükleri, tahmin periyodları ve güncelleme zamanları Tablo 1’de açıklanmıştır.

Tablo 1. Meteoroloji Genel Müdürlüğünde Kullanılan SAYBİS Sistemi Model Konfigürasyonları

Model	ECMWF	ALARO	AROME	WRF
Yatay Çözünürlük	9 km	4,5 km	1,5 km	3 km
Düşey Çözünürlük	137 seviye	60 seviye	60 seviye	61 seviye
Tahmin Periyodu	240 saat	72 saat	48 saat	72 saat
Güncelleme Zamanları	00/12 GMT	00/06/12/18 GMT	00/06/12/18 GMT	00/06/12/18 GMT

2.1.1 ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)

ECMWF (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi), 26 Avrupa ülkesi tarafından desteklenen bağımsız bir uluslararası kuruluştur. 1 Ağustos 1979’dan beri kullanıcılarına yönelik orta vadeli hava tahminleri üreten, global ölçekte çalışan (spektral) bir atmosferik sirkülasyon modelidir. 9 km çözünürlüğe sahip olan ECMWF modeli, her 12 saatte bir (00 ve 12 GMT) yenilenen tahminlerle 240 saatlik periyotlar için öngörüler sunmaktadır (Turgu & Ceylan, 2008).

2.1.2 WRF (Weather Research and Forecasting)

WRF modeli, hem operasyonel tahminler hem de atmosferik araştırmalar için uygun, açık kaynaklı yeni nesil bir SHT modelidir. Modelin bir diğer özelliği, hidrostatik varsayım kullanmaksızın orta ölçekli topoğrafya etkilerini daha gerçekçi şekilde temsil edebilmesidir (Efe, 2012). WRF, içerisinde yağmur ve kar gibi hidrometeorolojik değerleri hesaplayan bulut mikrofizik modeli, konvektif yağışları belirleyen fiziksel modeller, uzun ve kısa dalga boylu radyasyon hesaplamaları ile sınır tabaka seviyesi modellerini barındıran çeşitli algoritmaları içerir (Sayın vd., 2012).

2.1.3 ALADIN (Aire Limited Dynamic Adaptation International Development)

ALADIN, Orta ve Doğu Avrupa Ulusal Meteoroloji Hizmetleri ile karşılıklı fayda sağlayan bir işbirliği oluşturma amacıyla 1990 yılında Météo-France tarafından önerilmiş ve günümüzde 16 Avrupa-Akdeniz ülkesinde günlük olarak işletilmektedir. ALADIN modeli, 7 km ile 15 km arasında değişen Kartezyen gridlerde sınırlı alanlarda yatay çözünürlük sağlayarak 48-72 saatlik tahminler üreten hidrostatik bir hava tahmin modelidir (URL-4). ALADIN, AROME, ALARO ve ALADIN modelleri ile bu modellerin başlangıç ve sonuç verilerini işlemek için gerekli araçları içeren kapsamlı bir sistemdir (MGM, 2008).

2.1.4 AROME (Application of Research to Operations at Mesoscale)

AROME modeli, ECMWF'nin IFS yazılımı ile Méso-NH yazılımından alınan fiziksel parametreler üzerine inşa edilmiştir. 20 ila 50 km ölçeğindeki niceliksel yağış tahminlerini geliştiren AROME, ALADIN'e kıyasla konvektif bulut mikrofiziğinden kaynaklanan geri bildirimler, soğuk havuz oluşumları, yağışın tetiklenmesi ve küçük ölçekli türbülans gibi faktörler sayesinde yağış tahminlerinde daha büyük ölçekli iyileştirmeler sunar (Bouttier vd., 2006).

2.1.5 ALARO (transition step between ALADIN and AROME)

2008'den itibaren ALARO, ALADIN'in bir parçası olarak 12 Doğu Avrupa ülkesinde operasyonel hava tahminleri için kullanılmaya başlanmıştır (Meuter vd., 2015). 4,5 km'lik yatay çözünürlükle çalışan ALARO, günde dört kez (00/06/12/18 UTC) 72 saatlik tahminler üretir ve özellikle konveksiyona izin veren çözünürlüklerde kullanılması için tasarlanmıştır (De Troch vd., 2013).

2.1.6 EPS (Ensemble Prediction System)

1992 yılında faaliyet göstermeye başlayan Ensemble Prediction System (EPS), operasyonel olarak 50 farklı tahmin çıktısını 40 km'lik grid çözünürlüğünde sağlar. EPS günde iki kez (00 ve 12 UTC) 15 günlük tahmin üretmektedir.

EPS, global ölçekte çalışarak her 0.5°x0.5° gridda toplam 51 tahmin sonucu üretir. Bu çıktılar, parametrelerin yüzde dilimleri üzerinden gerçekleşme olasılıklarını belirlemektedir (MGM, 2008).

2.1.7 EFI (Extreme Forecast Index)

Şiddetli hava olaylarının tahmininde EPS modelinin 51 farklı tahmininin yanı sıra, meteoroloji istasyonlarının geçmişe yönelik klimatolojik verileri de kullanılmaktadır. İlk olarak, model alanındaki «model iklimine» göre eşik değerler belirlenir. Daha sonra, EPS modelinin 51 tahmininden kaç tanesinin bu noktada eşik değerinden fazla yağış tahmin ettiği belirlenmektedir. Örneğin, 51 tahminden 40’ının bir bölgede eşik değerinden fazla yağış öngörmesi durumunda, o bölgede ekstrem yağış gerçekleşme olasılığı %78 olarak hesaplanır. Bu tahminler, grid bazlı görselleştirmelerle alansal olarak sunulurken, ekstrem hava olaylarının (parametre değerlerinin) hangi bölgelerde gerçekleşebileceği tahmincilere gösterilir (MGM, 2008).

2.2 Uzaktan Algılama Ürünleri (Uydu Görüntüleri)

Uydular, atmosferdeki meteorolojik olayları gözlemlemek için kullanılan uzaktan algılama cihazlarıdır. Dünya yörüngesinde sabit ve kutupsal olarak hareket eden bu uydular, sensörleri sayesinde farklı meteorolojik koşulları ölçerek, doğal afetlerin etkilerini azaltmak amacıyla önceden analiz edilmesine olanak tanır (Erdi, 2015). Bu çalışmada kullanılan Convective Rainfall Rate (CRR), Rapidly Developing Thunderstorms (RDT) ve Cloud Top Temperature and Height (CTTH) ürünleri ham uydu verilerinden elde edilmiştir. Bu ürünler, konvektif yapıları gözlemleyebilmek hususunda daha kullanışlı olmaları sebebiyle tercih edilmiştir.

2.2.1 Convective Rainfall Rate (CRR)

NWC SAF (Nowcasting and Satellite Application Facility) kapsamında geliştirilen CRR (Konvektif yağış oranı) algoritması, IR, WV, VIS-N ve MSG SEVIRI kanallarını ve hem SEVIRI hem de Radar verilerinden üretilen kalibrasyon analitik fonksiyonlarını kullanarak konvektif sistemlerdeki yağış oranlarını tahmin eder. Bu ürün, tahmincilere yağış ihtimali ve konvektif faaliyetleri izleyebilmek için oluşturulmuş bir uydu ürünü olup yağış bulutları, hızlı gelişen gök gürültülü fırtınalar ve bulut türü gibi diğer NWC SAF ürünlerini desteklemektedir (Martin & Martinez, 2010; Rodríguez vd., 2013).

2.2.2 Rapidly Developing Thunderstorms (RDT)

Hızlı Gelişen Fırtına (RDT) ürünü, Météo-France tarafından SAF Nowcasting (EUMETSAT) kapsamında geliştirilmiştir. Bu ürün, şiddetli konvektif sistemlerin

tanımlanması, izlenmesi ve takip edilmesi ile hızla gelişen konvektif bulutların tespitini amaçlamaktadır. Hızlı Gelişen Fırtına (RDT), konvektif ve konvektif olmayan bulut örtülerini ayırt etmek için kullanılmaktadır (Guillou vd., 2008). Konvektif olarak tespit edilen bulutlar, bir konturla işaretlenir ve bu bulutların gelişimi, soğuma hızı, alan genişleme hızı, minimum sıcaklık gibi çeşitli parametreler aracılığıyla analiz edilmektedir (Putsay vd., 2006).

2.2.3 Cloud Top Temperature and Height (CTTH)

SAF NWC bağlamında geliştirilen bulut tepe sıcaklığı ve yüksekliği (CTTH), fırtına gelişiminin analizine ve erken uyarı süreçlerine önemli katkılar sağlamaktadır. üzere tasarlanan bu ürün, aynı zamanda orta ölçekli modeller veya diğer SAF NWC ürünlerinin oluşturulmasında girdi olarak da kullanılabilir (Martin & Martinez, 2013).

2.3 Uzaktan Algılama Ürünleri (Radar Görüntüleri)

Meteoroloji Radarlar kısa vadeli hava tahmini ve erken uyarı yapmak amacıyla kullanılan en önemli meteorolojik gözlem sistemleri arasında yer almaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte radarlarla meteorolojik hedefin hızı, hareket yönü, konumu belirlenir. Böylece herhangi bir noktada rüzgarın yönü ve hızı, yağış miktarı, cinsi veya şiddeti gibi bilgilere yüksek çözünürlükte ve sık aralıklarla ulaşılabilir (Öztürk ve Geçer, 2013; MGM, 2024). Meteorolojide kullanılan radarlar, yağış ve bulutları tespit etmek için elektromanyetik sinyaller gönderip geri dönüşlerini ölçerek çalışmaktadır. Bu özellik, özellikle kısa vadeli hava tahmini (nowcasting) ve radar kapsama alanındaki ani hava değişimlerini gözlemlene gibi birçok meteorolojik çalışma için büyük önem taşımaktadır. Radarların ölçüm yeteneği, atmosferin sık aralıklarla ve yüksek çözünürlükte izlenmesine olanak sağlamaktadır. Radarların sağladığı logaritmik reflektivite (dBZ) değerleri, yansıyan radar sinyalinin gücünü ifade eder ve yağış şiddeti ile doğrudan ilişkilidir. Genellikle reflektivite değerleri şu şekilde sınıflandırılır: 40-50 dBZ kuvvetli ve çok kuvvetli yağışa, 50-57 dBZ şiddetli ve 57 dBZ ve üzeri değerler aşırı yağışa karşılık gelmektedir (Eminoğlu vd, 2007). Trabzon Akçaabat Mersin Mevkiinde Meteoroloji Radarı 2012 yılında kurulmuştur. Radarın bulunduğu yerin rakımı 571 m. ve kule yüksekliği 22 m.'dir. Trabzon meteoroloji radarı ile Araklı ilçesi arasındaki kuş uçuşu mesafe 51,7 km'dir (Şekil 4.).



Şekil 4. Trabzon radarı ve Araklı ilçesi arası kuş uçuşu mesafe

2.4 Kararsızlık İndeksleri

SkewT-logP diyagramı, atmosferin düşey kesitini inceleyerek yer seviyesinden üst seviyelere kadar olan basınç, sıcaklık, nem ve rüzgar bilgilerini sunan bir diyagramdır. Radiosonde rasatları kullanılarak oluşturulan bu diyagram atmosferin kararlılığı ve kararsızlığına dair kritik analizler sağlar. Ayrıca bulut yükseklikleri gibi meteorolojik bilgilerin belirlenmesine yardımcı olur (Arslan & Yıldırım, 2015). Kararlılık ve kararsızlık analizinde kuru veya nemli adyabatik sistemlerin (dışarıdan ısı alışverişi olmayan sistemler) incelenmesi oldukça önemlidir. Yükselen havanın soğuyup yoğunlaşması sonucu oluşan yağışlarda atmosferin düşey hareketleri oldukça önemlidir. Kararlı Atmosfer, Alt seviyelerde soğuma ve nispi nemin azalması havanın çökmesine yol açarak atmosferin kararlılığını artırır. Bu koşullarda: Alçak, stratiform tipi bulutlar görülür. Hava sakin ve hafif rüzgarlı olur. Yağışlar genellikle hafif yağmur ya da çisenti şeklindedir. Kararsız Atmosfer ise Alt seviyelerdeki ısınma ve nispi nemin artması, havanın yükselmesine neden olarak kararsızlık yaratır. Bu koşullarda: Kümülförm tipi bulutlar oluşur. Hava rüzgarlı ve türbülanslıdır. Oraj, dolu, kar sağanağı, yağmur gibi hava olayları gözlemlenir (Çöleri vd., 2006).

Yoğunlaşma Seviyesi (LCL), doymamış bir hava parselinin kuru adyabatik olarak yükseldiği zaman doymamış hale geldiği seviyedir. Yere yakın tabakanın nemliliği ve bulut yükseklik analizi için oldukça önemlidir, LCL seviyesinin yere yaklaşması, oraj hücrelerinin oluşma ihtimalini artırır (Stockpole, 1967).

Denge Seviyesi (EL), yükselen hava parselinin sıcaklığının çevre sıcaklığı ile eşit olduğu seviyenin yüksekliğidir ve bu seviyeden sonra parsel yükselmez. Serbest Konveksiyon Seviyesi (LFC), kararsızlığın başladığı en alt tabakadır. Ortam sıcaklığının, aynı seviyedeki doymuş hava parselinin nemli adyabatik çöküş hızından daha hızlı düştüğü atmosferdeki yükseklik seviyesidir (Karmakar & Quadir, 2017).

Konvektif Yeterlikli Potansiyel Enerji (CAPE) değeri, nem yüklü yukarı doğru akımların sahip olduğu potansiyel enerjiyi ifade eder ve LFC ile EL seviyeleri arasındaki pozitif alanı temsil etmektedir. CAPE değeri, atmosferin kararsızlık seviyesinin bir göstergesidir. CAPE değeri 0-500 J/kg ise hafif, 500-1500 J/kg ise orta dereceli, 1500-2500 J/kg ise kuvvetli ve 2500 J/kg ise ekstrem kararsızlığa tekabül etmektedir. CAPE'nin büyüklüğü ve LCL, LFC, EL seviyelerinin analiz edilmesi, özellikle oraj hücrelerinin oluşum hızını ve şiddetini anlamak açısından kritik önem taşır (MGM/ Hava tahminleri Dairesi Başkanlığı).

Büyük CAPE değerleri, yukarı yönlü hava hareketlerini hızlandırarak şiddetli hava olaylarının meydana gelmesine neden olur (Parker, 2002; Özgenç, 2020; Khan vd., 2022).

2.4.1 K İndeksi

K İndeksi 1980'li yıllarda Hard ve Korotky tarafından geliştirilmiştir. K İndeksi, 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa sıcaklık ve nem bilgilerinin bir fonksiyonudur. Eşitlik 1 ile K indeksi hesaplanmaktadır. K indeksi 0-15 olduğunda oraj ihtimali bulunmamaktadır. K indeksi 16-19 iken %20 ihtimalle, 20-25 iken %35 ihtimalle, 26-29 iken %50 ihtimalle, 30-35 iken %85 ihtimalle ve 36'dan büyük olduğunda %100 ihtimalle oraj gerçekleşir denmektedir (Ceylan, 2007).

$$K = (T_{850} - T_{500}) + (Td_{850} - (T_{700} - Td_{700})) \quad [1]$$

2.4.2 Total Totals Index (TT)

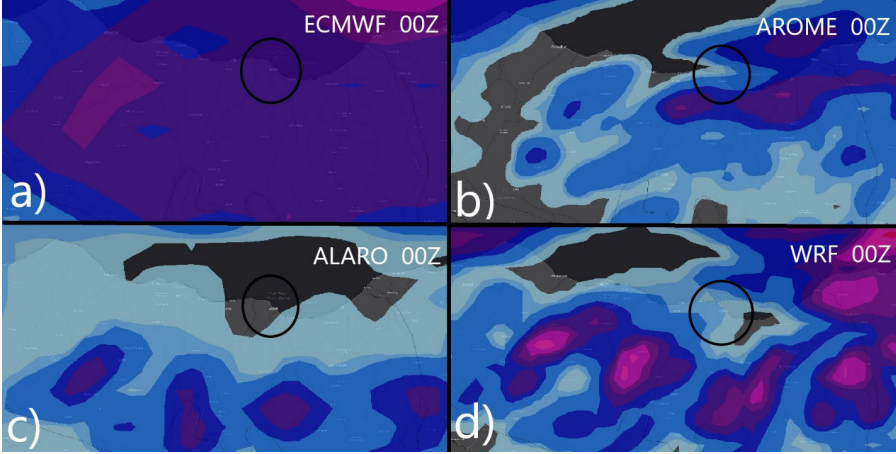
Total Totals İndeks (TT) sürtünme tabakası ile orta troposfer arasındaki kararlılığın ve yere yakın seviyelerdeki nemliliğin bir ölçüsüdür. Eşitlik 2 ile TT indeksi hesaplanmaktadır. Vertical Totals (VT) ve Cross Totals (CT) bileşenlerinin toplamıdır. TT indeksi 43'ten küçük ise oraj ihtimali zayıftır. TT indeksi 44-45 iken tek hücreli oraj yapıları, 46-47 iken çok hücreli oraj yapıları, 48-49 iken şiddetli oraj, 50-51 iken orta şiddette tornado, 52-55 iken superceller ve yayılmış tornadolar ve 56'dan büyük iken çok büyük tornadolar gözlenmektedir (Ceylan, 2007).

$$TT = VT + CT \quad [2]$$

$$TT = (T_{850} - T_{500}) + (Td_{850} - T_{500})$$

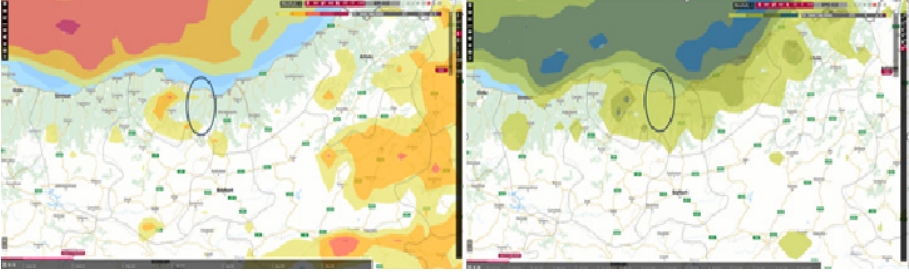
3. Meteorolojik Analiz

Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan verilere göre; 20/09/2024 tarihinde Trabzon/Araklı’da Türkiye saati ile 15:00-18:00 periyodunda 164 kg/m² yağış gerçekleşmiştir. Araklı’da o güne ait ölçülen maksimum deniz suyu sıcaklığı 23,0°C, maksimum hava sıcaklığı ise 23,7 °C’dir. 20 Eylül 2024 tarihinde Sayısal Hava Tahmini modellerinin Araklı mevkiinde 24 saatlik yağış çıktıları incelendiğinde; ECMWF 00Z modelinin yaklaşık 20 kg/m² yağış beklentisi olduğu görülmektedir. Aynı tarihte AROME 00Z modelinin kıyıda yağış beklentisi olmamakla birlikte çalışma alanının iç kesimlerinde yaklaşık 10 kg/m² yağış beklentisi vardır. ALARO 00Z ve WRF 00Z modellerinin aynı tarihte belirtilen alan için önemli bir yağış beklentisi olmamıştır. SHT modellerine bakılarak yaklaşık 4 saatlik periyotta gerçekleşen 164 kg/m² yağışın hiçbir model tarafından öngörülemediği görülmektedir (Şekil 5).



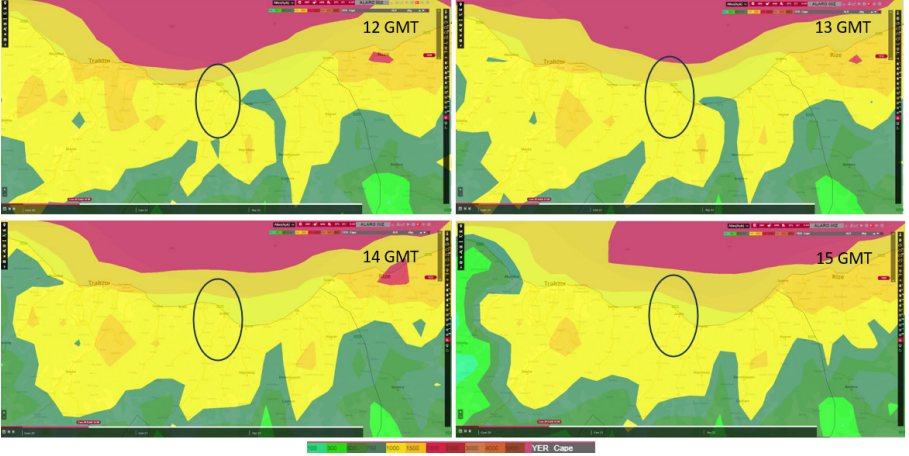
Şekil 5. ECMWF(a), AROME(b), ALARO(c) ve WRF(d) 24 saatlik yağış ürünleri

Aynı tarihte Araklı için EFI 00Z modelinde toplam yağış indeksi incelendiğinde herhangi bir yağış beklentisi olmadığı görülmektedir. EPS 00Z modelinin 20 mm ve üzeri yağışları incelendiğinde ise kuvvetli yağış ihtimalinin oldukça düşük olduğu görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. EFi toplam yağış indeksi ve EPS-20 mm ve üzeri yağış ürünleri

ALARO 00Z modelinin saatlik CAPE değerleri incelendiğinde, olayın gerçekleştiği periyotta (12-15 GMT) yaklaşık 1000-1500 J/kg CAPE değerleri görülmüştür. Bu değerler literatürde orta derecede kararsızlığa tekabül etmektedir (Şekil 7).



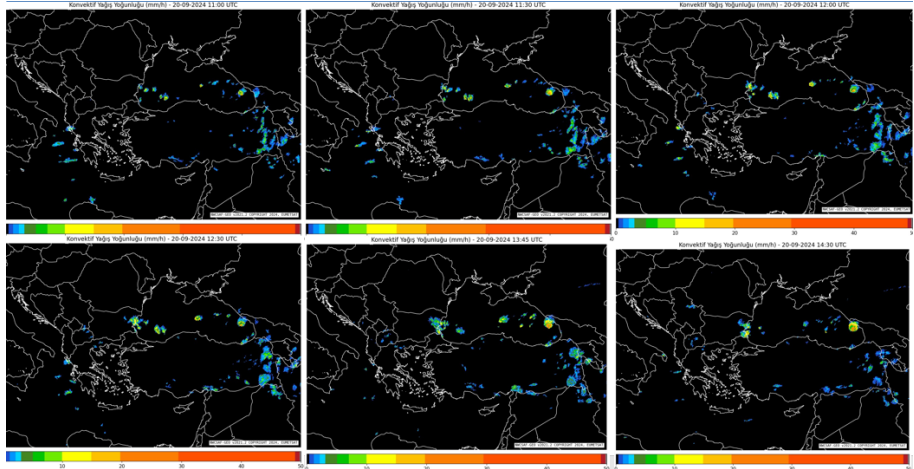
Şekil 7. ALARO saatlik CAPE ürünleri (12-13-14-15 GMT)

WRF 00Z modelinin SkewT-logP diyagramında olay saati 12:00 GMT (CAPE değerinin en yüksek olduğu saat) incelendiğinde CAPE değerinin 3184 J/kg (ekstrem kararsızlık) olduğu görülmektedir. CAPE değerinin yüksek olması ve LCL yüksekliği (360m) ile LFC yüksekliğinin (396m) oldukça düşük olması kararsızlığı destekleyen başlıca faktörlerdir. Bu yüksek kararsızlık değeri kısa sürede gerçekleşen ani yağışın başlıca sebebidir. Bu diyagramda yüksek seviyelerin (850, 700, 500 hPa) sıcaklık ve işba sıcaklık değerlerinden yararlanılarak K ve TT indeksleri hesaplanmıştır. K indeksi 32,9 (%85 ihtimalli oraj) ve TT indeksi 47,6 (şiddetli oraj) olarak hesaplanmıştır (Şekil 8).



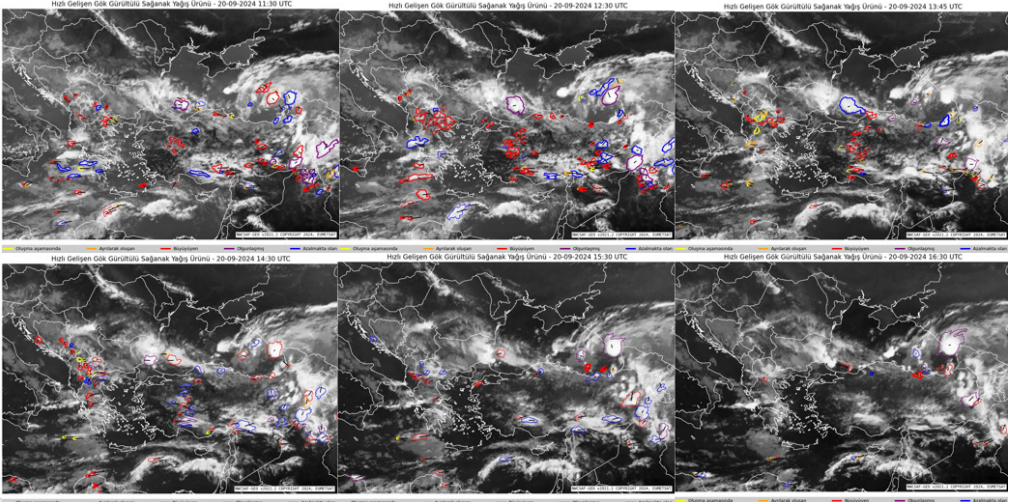
Şekil 8. WRF 12Z modelinin Skew T- Log P diyagramı

Konvektif yağış yoğunluğu (CRR) uydu görüntüsü konvektif sistemlerdeki yağış oranını gösteren bir uzaktan algılama ürünüdür. Bu ürün incelendiğinde; 12:00 GMT'ye kadar herhangi bir oluşum gözlenmemekle birlikte ilerleyen zamanlarda sarı ve turuncu renkli ekolar (saatte 20-30 mm yağış) görülmektedir (Şekil 9).



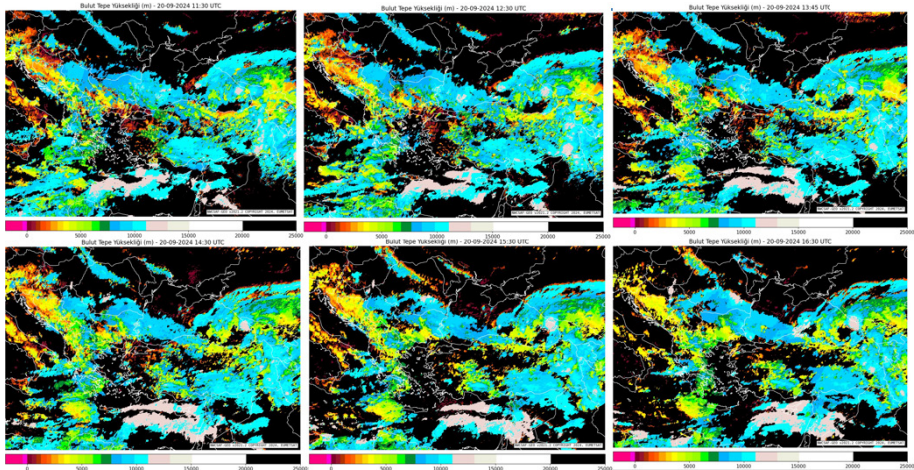
Şekil 9. Konvektif Yağış Yoğunluğu (CRR) uydu görüntüsü

Hızlı gelişen fırtına (RDT) uydu görüntüsü ile konvektif sistemler ve bulutların takibi gözlemlenebilir. Bu ürün incelendiğinde; kuvvetli yağışın başladığı saatlerde (12:00 GMT) Araklı üzerinde hücre bulunmamaktadır. 14:30 GMT itibarıyla zaman zaman büyüyen, zaman zaman küçülen hücre yapıları tekrar tekrar beslenmektedir (Şekil 10.).



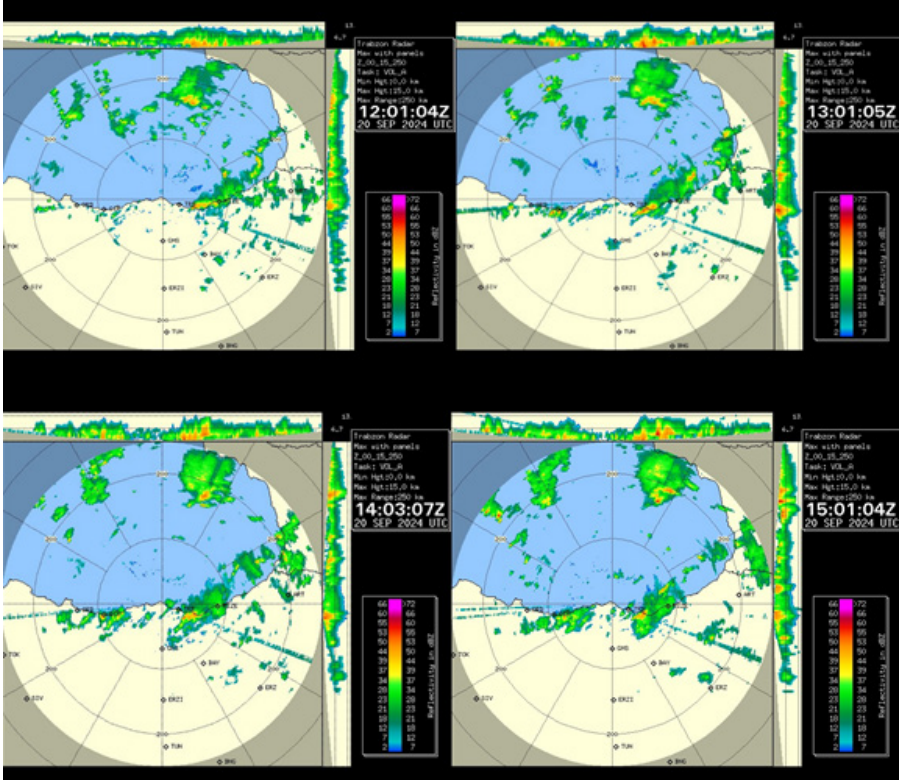
Şekil 10. Hızlı Gelişen Fırtına (RDT) ürünü

Bulut tepe yüksekliği (CTTH) uydu görüntüsü incelendiğinde; yağışın başladığı saatlerde bulut tepe yüksekliği 3000-5000 m (turuncu ve sarı renkler) iken, ilerleyen saatlerde konvektif faaliyetlerin etkisiyle 10000 m'ye kadar (yer yer yeşil ve mavi renkler görülmektedir) ulaştığı söylenebilir (Şekil 11.).



Şekil 11. Bulut Tepe Sıcaklığı ve Yüksekliği (CTTH) ürünü

Radar görüntüleri incelendiğinde; Araklı üzerindeki kırmızı renkli ekolar 50-55 reflektivite değerine tekabül etmektedir. Bu yüksek değerler kuvvetli sağanak hadisesini de desteklemektedir. 12:00 ve 13:00 GMT radar görüntülerinde görülen yüksek reflektivite değerleri ilerleyen saatlerde azalarak etkisini kaybetmektedir. Sistemin yatay doğrultuda hiç hareket etmediği hemen hemen aynı bölge üzerinde yaklaşık 4 saat (12:00-15:00 GMT) etkili olarak yağış bıraktığı görülmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. Trabzon radar ürünleri (12-13-14-15 GMT)

Araklı ilçesinde meydana gelen yağışta kararsız hava nedeniyle oluşan kütle normalin üzerindeki deniz suyu sıcaklığı ile denizden nem takviyesi almaya devam etmiştir. Yer seviyesindeki ve orta seviyedeki (850 mb ve 700 mb) rüzgar akışlarının batılı yönlerden olması nem takviyesinin bölgedeki kütleyi beslemesine neden olmuştur. Aynı zamanda rüzgar hızlarının düşük olması (8-15 kt) nedeniyle oluşan yağış kütlelerinin yatayda hareketi sınırlanmış ve hemen hemen aynı bölgede 4 saat boyunca etkili olmasına neden olmuştur.

Bölgenin topografyası, hadisenin meydana geldiği saatlerdeki atmosferik dinamikler göz önünde bulundurulduğunda oluşan gök gürültülü sağanak ya-

ğışın yatayda hareket etmediği ve yapının geri beslemeli bir şekilde kendini yenileyerek bölgede etkili olduğu görülmektedir. Bu nedenle SHT çıktılarında beklenen yağış miktarlarında çok daha fazla yağış değerleri gerçekleşmiştir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Karadeniz Bölgesi kıyı kuşağında yer alan Araklı ilçesi son yıllarda daha fazla sel, taşkın ve heyelan olaylarına maruz kalmaya başlamıştır. Bu çalışmada 20 Eylül 2024 tarihinde Araklı ve çevresinde meydana gelen sel olayı meteorolojik olarak analiz edilmiştir. Meydana gelen sel, Araklı, Arsin, Sürmene ve Yomra ilçelerimizde toplamda 39 mahalle heyelan ve sel su baskınından etkilenmiş olup 121 iş yeri, 25 konut ve 18 araç ile 125 dekar tarım arazisinde hasar olduğu tespit edildi. Dere taşkını sonucunda da 1 kişi hayatını kaybetmiştir. Kısa zamanda düşen yüksek miktarda konvektif sağanak yağış, selin ana nedenini oluşturmuştur (4 saat içerisinde 164 kg/m² yağış gerçekleşmiştir).

Russ S. Schumacher 2017 yılında yaptığı çalışmada, Houston, Teksas bölgesinde 18 Nisan ve 26-27 Mayıs 2016 tarihlerinde gerçekleşen iki aşırı yağış olayını incelemiştir. Bu iki olaydaki konveksiyonun gelişimi ve evrimi, yağışın mekansal dağılımı dahil benzerlik göstermiş ancak, benzer sürelerde gerçekleşen iki yağış durumu için üretilen Yüksek Çözünürlüklü Hızlı Yenileme modelinin performansı farklılık göstermiştir. 18 Nisan olayında, model tahmini gözlemlerle oldukça yakından eşleşmiştir. Tahmin edilen en yoğun yağış, neredeyse gözlemlendiği tam konumda gerçekleşmiştir, konveksiyonun zamanlaması ve evrimi de gözlemlere oldukça benzemiştir. Bunun aksine, 26-27 Mayıs vakası için model tahmini, orta şiddette yoğun yağışlı birkaç bölge göstermiş ancak gözlemlenen aşırı miktarlar (> 350 mm) model tahminlerinde bulunamamıştır. Bu inceleme, bir modelleme sisteminin aynı coğrafyada benzer olaylar için farklı tutarlılık performansları gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Çalışmaya konu olan hadisenin yağış miktarlarına bakıldığında SHT çıktılarından oldukça fazla miktarda yağış gerçekleştiği ve özellikle dar bir lokasyonda kuvvetli yağış hadisesinin meydana geldiği görülmektedir. Yağış kütlesi oluşması aşamasından itibaren meteoroloji radarından takip edilebilmiş olup yatayda hareket etmediği tespit edilmiştir. Meteoroloji radarında bulunan PPI/MAX ürünleri incelendiğinde yapının sığ sayılabilecek düzeyde olduğu ancak geri besleme mekanizması ile yaklaşık 4 saat etkili olduğu görülmüştür. Meydana gelen konvektif yapı meteoroloji uydularında bulunan CRR, RDT ve CTTH ürünlerinde de takip edilmiştir. Konvektif faaliyetin başlama evresi ve bulut tepe yüksekliği ile birlikte oluşum safhaları takip edilmiştir. Oluşum ve yaşam evresine bakıldığında kuvvetli yağışa neden olan kütlelerin batılı ve düşük hızlı rüzgarlarla kara üzerine yığılma yapması ve deniz üzerinden nem takviye-

si ile geri beslemeli bir şekilde kütlelerin yenilendiği görülmüştür. Ülkemizde meydana gelen konvektif hareketlerin yaşam ömürleri genellikle 30-45 dakika olmasına rağmen Araklı’da meydana gelen konvektif yapının geri beslemeli olması nedeniyle 4 saat sürdüğü düşünülmektedir. Meteorolojistlerin bu tür lokasyonlar için tahmin yaparken konvektif faaliyet beklentisi olan dönemlerde düşeydeki rüzgar yön ve hızlarının yapıyı yatayda hareket ettirip ettirmeyeceğini göz önünde bulundurması gerekmektedir. Aynı zamanda SHT ürünleri geliştirilirken yağış algoritmasında ve/veya konvektif faaliyet çıktılarında geri beslemeli yağış şartlarının (rüzgarın topografyaya göre konumu, düşeydeki rüzgarların yön ve hızları, yapıyı besleyecek nem kaynağının konumu ve konvektif yapının yataydaki hareketi) yansıtılması için çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte geri beslemeli yağışlarla ilgili yapılan araştırmalarda yayınlanmış literatürlerin oldukça az olduğu görülmektedir. Geri beslemeli yağışlar üzerinde örnek olaylarının incelemelerinin yapılması, bu tür yapıların oluşum mekanizmalarını anlamamıza olanak sağlayacaktır. Aynı zamanda geri beslemeli konvektif hava olaylarının oluşum şartlarının belirlenmesi sonucunda SHT ürünlerinin geliştirilmesine de olanak sağlayacaktır.

Russ S. Schumacher Ve Richard H. Johnson, 2005 yılında yapmış oldukları çalışmada, 1999-2001 yıllarında ABD’nin Rocky Dağları’nda (Florida hariç) gerçekleşen 116 olayın 24 saatlik toplam yağış gözlemlerinin 50 yıllık tekerür periyodundaki miktarları aştığı sonucuna varmıştır. Yapılan çalışmada, aşırı yağış olaylarının %65’inden fazlasının orta ölçekli konvektif sistemlerle ilişkili olduğunu ve %27’sinin sinoptik ölçekli hava sistemlerinden kaynaklandığını göstermiştir. Çalışmada, gerçekleşen diğer hadiselerin geri besleme yapıları veya yarı durağan konvektif yapılar olduğu ortaya konulmuştur.

5. Öneriler

Bu çalışmada, halihazırda kullanılmakta olan SHT ürünlerinde bazı konvektif yapıların kapasitelerinin tam anlamıyla ortaya konulamadığı görülmüştür. Yapılan literatür çalışmalarında da geri beslemeli yapılar gibi bazı konvektif yapıların model tarafından tahmin edilemediği sonucuna varılmaktadır. Geri beslemeli konvektif yapıların oluşum mekanizmalarının ortaya konulması ve bu şartların model algoritmalarında işlenerek yeni SHT ürünleri geliştirilmesi gerekmektedir. Uzaktan algılama teknolojisi meteorolojik hadiselerin başlaması ve yaşam evrelerinin takibi açısından önemli gelişmeler kat etmiş olsa da geri beslemeli yapılar gibi özel durumlarda daha detaylı ürünlere ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bu tür yapılar benzer etkiyi ortaya koyan konvektif faaliyetlerden daha sık şekilde görülebilmektedir. Dolayısıyla uzaktan algılama teknolojilerinde yapılacak yeni çalışmalarda zamansal ve alansal eşleştirmelerin yapılması gerekmektedir. Meteoroloji alanında yeni çalışmaya başlanan

makine öğrenmesi teknolojisi ile uzaktan algılama ürünleri (radar ve uydu) birleştirilerek beklenenden daha kuvvetli olması muhtemel yapılar için bir uyarı mekanizması geliştirilebilir.

Türkiye coğrafyası göz önüne alındığında farklı lokasyonlarda gerçekleşen geri beslemeli konvektif yapıların "örnek olay incelemesi" şeklinde çalışılması ve oluşum mekanizmalarındaki benzerlik ve farklılıkların ortaya konulması gerekmektedir. Yapılacak bu çalışmalar ve belirlenecek kriterler literatürdeki eksikliği tamamlayacak olup bundan sonraki gerçekleşmesi muhtemel hadiselerin tahmininde tutarlılık oranını arttıracaktır.

Kaynakça

Akman, M. U. (2021). Taşkın Koruma ve Kontrol Yapılarının Değerlendirilmesi. *Türk Hidrolik Dergisi*, 5(1), 25-31.

Avcı, V., Dölek, İ., & Uzelli, T. (2023). Araklı ve çevresinde (Trabzon) Sel ve Taşkına Neden Olan Derelerin Morfometrik Analizlerle Taşkın Duyarlılıklarının Belirlenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(3), 1024-1054.

Arslan, E., & Yıldırım, M. U. (2015). Radar ve SkewT-LogP Diyagramı Yardımı ile Adana ve Samsun'da Bulut Tepe Yüksekliğinin Belirlenmesi. 1(3), 337-350.

Bluestein, H. B. and M. H. Jain, (1985). Formation of mesoscale lines of precipitation: Severe squall lines in Oklahoma during the spring. *J. Atmos. Sci.*, 42, 1711-1732

Bouttier, F., Hello, G., Seity, Y., & Malardel, S. (2006). Progress of the AROME mesoscale NWP project. *Research activities in atmospheric and oceanic modeling*, 36, 11-12.

Bulti, D. T., & Abebe, B. G. (2020). A review of flood modeling methods for urban pluvial flood application. *Modeling earth systems and environment*, 6, 1293-1302.

Ceylan, A. (2007). Meteorolojik Karakterli Bir Afet: Türkiye'de Dolu Yağışları ve Zararları. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü. Coğrafya Anabilim Dalı.

Clarke, B., Otto, F., Stuart-Smith, R., & Harrington, L. (2022). Extreme weather impacts of climate change: an attribution perspective. *Environmental Research: Climate*, 1(1), 012001.

Çeribaşı G , (2019). Şen Yöntemi ve Trend Yöntemleri Kullanılarak Doğu Karadeniz Havzasının Yağış Verilerinin Analiz Edilmesi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1): 254-264.

Ceribasi, G., & Iyad Ceyhunlu, A. (2020). Investigation of Climate Change Impact on Meteorological Data and Floods: A Case of Karacam, Turkey. *J. Water Resour. Ocean Sci*, 9(6), 123-128.

Ceribasi, G., & Ceyhunlu, A. I. (2021). Generation of 1D and 2D flood maps of Sakarya river passing through Geyve district of Sakarya city in Turkey. *Natural Hazards*, 105(1), 631-642.

Ceyhunlu, A. I., & Ceribasi, G. (2024). Prediction of Precipitation-Temperature Data and Drought Assessment of Turkey with Stochastic Time Series Models. *Pure and Applied Geophysics*, 181(9), 2913-2933.

Çöleri, M, Yayvan, M, Deniz, A, Turgut, Ü, Eryılmaz, A, Geçer, C. & Güser, A. (2006). Hava Analiz ve Tahmin Tekniği, MGM Yayın No: 2006/1.

De Troch, R., Hamdi, R., Van de Vyver, H., Geleyn, J. F., & Termonia, P. (2013). Multiscale performance of the ALARO-0 model for simulating extreme summer precipitation climatology in Belgium. *Journal of Climate*, 26(22), 8895-8915.

Demircan, M. (2022). İklim, iklim değişikliği ve su ilişkisi. *Küresel İklim Değişikliği ve Sosyo-Ekonomik Etkileri*.

Doswell, C. A., III, H. E. Brooks, & R. A. Maddox, (1996). Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology. *Wea. Forecasting*, 11, 560–581.

Duffourg, F., Lee, K. O., Ducrocq, V., Flamant, C., Chazette, P., & Di Girolamo, P. (2018). Role of moisture patterns in the backbuilding formation of HyMeX IOP13 heavy precipitation systems. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 144(710), 291-303.

Efe, B. (2012). Manisa Soma bölgesi için meso ölçek sayısal hava tahmin modeli (WRF) ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği modeli (WINDSIM) kullanılarak kısa vadeli rüzgar enerjisi tahmini. Yüksek Lisans Tezi.

Eminoğlu, S., Beştepe, F., Geçer, C., & Öztürk, K. (2007). Meteorolojik Karakterli Doğal Afetlerin Tahmininde Meteoroloji Radarlarının Kullanılması. *TMMOB Afet Sempozyumu*. 143-154.

Erdi, E. (2015). Hava Ulaşımını Etkileyen Bazı Meteorolojik Hadiselerin Uzaktan Algılama Verileri Kullanılarak İncelenmesi. *Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü*.

Fang, J., Lincke, D., Brown, S., Nicholls, R. J., Wolff, C., Merkens, J. L., ... & Liu, M. (2020). Coastal flood risks in China through the 21st century—An application of DIVA. *Science of the total environment*, 704, 135311.

Fischer E M and Knutti R (2015) Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes *Nat. Clim. Change* 5 560–4

Gözet, E., Atmaca, B. N., Özgün, B., & Dündar, C. (2023) Doğu Karadeniz Yağış ve Sellerinin Toz Taşınımı ve Deniz Suyu Sıcaklığı ile İlişkisinin İncelenmesi. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu.

Guerreiro, S. B., Glenis, V., Dawson, R. J., & Kilsby, C. (2017). Pluvial flooding in European cities—A continental approach to urban flood modelling. *Water*, 9(4), 296.

Guillou, Y., Autones, F., & Sénési, S. (2008). Improved identification of convective cloud by the RDT product. In 2008 EUMETSAT METEOROLOGICAL SATELLITE CONFERENCE.

Gürgen G. (2004). Doğu Karadeniz Bölümü'nde Maksimum Yağışlar ve Taşkınlar Açısından Önemi, *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, Cilt 24, Sayı 2 79-92.

Haltas I, Yildirim E, Oztas F, Demir I. (2021). A comprehensive flood event specification and inventory: 19302020 Turkey case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 56: 102086.

Hitchcock, S. M., & Schumacher, R. S. (2020). Analysis of back-building convection in simulations with a strong low-level stable layer. *Monthly Weather Review*, 148(9), 3773-3797.

IPCC. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. IPCC, Geneva, Switzerland.

Ito, J., Tsuguchi, H., Hayashi, S., & Niino, H. (2021). Idealized high-resolution simulations of a back-building convective system that causes torrential rain. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 78(1), 117-132.

Kadioğlu, M. (2019). *Kent selleri yönetim ve kontrol rehberi*. Marmara Belediyeler Birliği.

Khan, P. I., Ratnam, D. V., Prasad, P., Basha, G., Jiang, J. H., Shaik, R., ... & Kishore, P. (2022). Observed climatology and trend in relative humidity, CAPE, and CIN over India. *Atmosphere*, 13(2), 361.

Karadeniz, Y. (1995). *Trabzon ve çevresinin iklimi*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul.

Karadavut, C. (2014). WRF ve ALARO sayısal hava tahmin modelleri için verifikasyon sonuçlarının karşılaştırılması.

Karaman, S., & Gökalp, Z. (2010). Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*(1), 59-66.

Karmakar, S., & Quadir, D. A. (2017). On the turbulence and levels of condensation and free convection in the troposphere associated with local severe storms and

their distribution over Bangladesh and neighbourhood during the pre-monsoon season. *The Atmosphere*, 7, 28-38.

Kato, T. & Goda, H. (2001). Formation and maintenance processes of a stationary band-shaped heavy rainfall observed in Niigata on 4 August 1998. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79, 899–924.

Kömüşçü, A.Ü. & Çelik, S. (2013). Analysis of the Marmara flood in Turkey, 7–10 September 2009: an assessment from hydrometeorological perspective. *Natural Hazards*, 66, 781–808.

Maddox, R. A., C. F. Chappell & L. R. Hoxit, (1979). Synoptic and meso-scale aspects of flash flood events. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 60, 115–123.

Marcos Martín, C., & Rodríguez Martínez, A. (2010). Validation of the CRR product of the NWCSAF software package version 2010.

Marcos Martín, C., & Rodríguez Martínez, A. (2013). Algorithm Theoretical Basis Document for “Precipitation products from Cloud Physical Properties”(PPh-PGE14: PCPh v1. 0 & CRPh v1. 0).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), 2024. Meteoroloji Radarı Nedir? 11 Kasım 2024 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiradarlar>

De Meutter, P., Gerard, L., Smet, G., Hamid, K., Hamdi, R., Degrauwe, D. ve Termonia, P. (2015). Küçük ölçekli, kısa ömürlü aşağı yönlü patlamaları tahmin etme: Pukkelpop fırtınası için NWP sınırlı alan ALARO modeliyle vaka çalışması. *Aylık Hava Durumu İncelemesi*, 143(3), 742-756.

Nacar, S., Şan, M., Kankal, M., Okkan, U. (2022). Farklı İklim Değişikliği Senaryoları için Doğu Karadeniz Bölgesindeki Meteorolojik Kuraklıkların Eğilim Analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(2), 843-856.

Odacı, B. (2013). Araklı-Sürmene (Trabzon) Arasındaki Bölgenin Jeolojik ve Yapısal Özellikleri (Kuzeydoğu Anadolu, Türkiye). *Yı Bitireme tezi Hacettepe üniversitesi jeoloji müh anabilim dalı*.

Özgenç, R. (2020). Yer Tabanlı Uzaktan Algılama Sistemleri Kullanılarak Akdeniz Bölgesinde Hortum Hadiselerinin Sinoptik Analizi ve Modellenmesi.. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı.

Öztürk, K., & Geçer, C. (2013). Meteorolojik karakterli sel ve taşkınların erken tespitinde meteorolojik radarların kullanılması. *İMO Taşkın ve Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 24-26.

Ölgen, M. . K. (2010). Türkiye’de Yıllık ve Mevsimsel Yağış Değişkenliğinin Alansal Dağılımı. *Ege Coğrafya Dergisi*, 19(1), 85-95.

- Özcan, E. (2006). Sel Olayı ve Türkiye. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 26(1), 35-50.
- Parker, D. J. (2002). The response of CAPE and CIN to tropospheric thermal variations. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography, 128(579), 119-130.
- Pfahl S., O’Gorman P A & Fischer E. M. (2017). Understanding the regional pattern of projected future changes in extreme precipitation Nat. Clim. Change 7 423–7.
- Putsay, M., Kolláth, K., & Szenyán, I. (2006). Combined and parallel use of MSG composite images and SAFNWC/MSG products at the Hungarian Meteorological Service.
- Robinson A, Lehmann J, Barriopedro D, Rahmstorf S & Coumou D. (2021). Increasing heat and rainfall extremes now far outside the historical climate npj Clim. Atmos. Sci. 4 1–4
- Robinson, W. A. (2021). Climate change and extreme weather: A review focusing on the continental United States. Journal of the Air & Waste Management Association, 71(10), 1186-1209.
- Rodríguez, A., Marcos, C., & Manso, M. (2013). Algorithm theoretical basis document for “convective rainfall rate”(CRR-PGE05 v4. 0). SAF/NWC/CDOP2/INM/SCI/ATBD/05, 36 pp.[Available online at http://www.nwcsaf.org/scidocs/Documentation/SAF-NWC-CDOP2-INM-SCI-ATBD-05_v4.0.pdf].
- Rosenzweig, B. R., McPhillips, L., Chang, H., Cheng, C., Welty, C., Matsler, M., ... & Davidson, C. I. (2018). Pluvial flood risk and opportunities for resilience. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 5(6), e1302.
- Sayın, A., Gochis, J. D., Keskin, F., Yılmaz, K. K., Yücel, İ., & Mert, İ. (2012). Bölgesel nitelikli hidrometeorolojik model sistemi kullanımı ile taşkın olaylarının analizleri.
- Schulze, G. C. (2007). Atmospheric observations and numerical weather prediction: SAEON review. South African Journal of Science, 103(7), 318-323.
- Schumacher, R. S. and R. H. Johnson, (2005). Organization and environmental properties of extreme-rain-producing mesoscale convective systems. Mon. Wea. Rev., 133, 961–976.
- Schumacher, R. S. (2017). Heavy rainfall and flash flooding. Natural Hazard Science, Oxford Research Encyclopedias.
- Sholihah Q., Kuncoro, W., Wahyuni, S., Suwandi, S. P. and Feditasari, E. D. (2020). The analysis of the causes of flood disasters and their impacts in the perspective of environmental law. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 437.

Stott, P. (2016). How climate change affects extreme weather events. *Science*, 352(6293), 1517-1518.

Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific reports*, 10,13768.

Tarım ve Orman Bakanlığı (2020). Doğu Karadeniz Havzası Taşkın Yönetim Planı Yönetici Özeti, Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Daire Başkanlığı, Ankara.

Turgu, E. & Ceylan, A. (2008). ECMWF Yağış Verileri Yardımıyla Türkiye’de Sel Tahmini Çalışmaları, Uluslararası Katılımlı VI. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 25-28.

Türkeş, M. (2001). “Hava, İklim, Şiddetli Hava Olayları ve Küresel Isınma”, T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi: 1, 187-205.

Türkes, M. (2007) Küresel İklim Değişikliği Nedir? Temel Kavramlar, Nedenleri, Gözlenen ve Öngörülen Değişiklikler, I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi-TİKDEK, İTÜ, İstanbul.

Türkeş, M., Koç, T., & Sarış, F. (2008). Türkiye’de Yağışlı Gün Sayılarının Klimatolojisi ve Alansal İlişki Desenleri.

URL 1 (Araklı Kaymakamlığı, 2024)

(<http://www.arakli.gov.tr/>)

URL 2 (MGM,2024

(<https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiradarlar>)

URL 3 (MGM, 2024

(<https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/raporlar/2023-metafet-raporu.pdf>)

URL 4 (MGM, 2008)

(<https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/sss/sayisalnedir.pdf>)

URL 5 (IPMA, 2024 (<https://www.ipma.pt/en/enciclopedia/otempo/previsao.numerica/index.html?page=aladin.xml>))

Uysal, G., Sensoy, A., Şorman, A., & Ertaş, M. C. (2021). Kısa dönemli hidrolojik tahmin sistemi uygulaması.

Uzun, A. (2007). Doğu Karadeniz kıyı kuşağında coğrafi yapı ve sel ilişkisi. 5-7 Aralık 2007 TMMOB Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 387-393.

Xu, K., Zhuang, Y., Bin, L., Wang, C., & Tian, F. (2023). Impact assessment of climate change on compound flooding in a coastal city. *Journal of Hydrology*, 617, 129166.

Yılmaz, B. A., Mısır, M., & Mısır, N. (2018, December). Karbon Piyasaları Açısından Odun Üretimi İle İşletilen Ormanlık Alanların Ekonomik Değeri. In SETSCI-Conference Proceedings (Vol. 3, pp. 1223-1226). SETSCI-Conference Proceedings.

Yüksek Ö, Babacan H T, (2022). Yüksek O, Doğu Karadeniz Havzası'nda Taşkın Sebepleri, Zararları ve Taşkın Yönetimi Çalışmaları, Türk Hidrolik Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, Sayfa 36-46.

Zhang, H., Xue, M., Shen, H., Li, X., & Zhai, G. (2024). Local Torrential Rainfall Event within a Mei-Yu Season Mesoscale Convective System: Importance of Back-Building Processes. *Advances in Atmospheric Sciences*, 41(5), 847-863.

