

İstanbul İçin Sıcak ve Soğuk Sezon Orajlarının Analizi

Muhammed Başpınar¹, Veli Yavuz^{1,*}

¹Samsun Üniversitesi, Özdemir Bayraktar Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 55420, Samsun.

Özet

Oraj (TS), atmosferik kararsızlık sonucu dikey gelişimli Cumulonimbus (Cb) bulutlarında oluşan, 1 - 100 km mekânsal çözünürlüğe (mezo-ölçek) sahip, kuvvetli sağanak yağış, dolu, şimşek, yıldırım, hortum, türbülans ve rüzgar hamlesi ile karakterize edilen şiddetli hava fenomenidir. Nemli ve kararsız hava kütlelerinin yükselip yoğunlaşması sonucu meydana gelen bu fenomen, ülkemizde genellikle ilkbahar ve yaz başlarında meydana gelmektedir. Fakat son yıllarda, yaz ortalarında, sonbahar başlarında ve hatta kış aylarında da bu hadiseler sık yaşanır hale gelmiştir. Bu çalışmada, İstanbul için 2013-2022 yıllarını kapsayan 10 yıllık periyot dahilinde, sıcak sezon (Mayıs-Eylül) ve soğuk sezon (Ekim-Nisan) orajlarının karakteristikleri incelenmiş ve meydana geldiği atmosferik koşullar ortaya konulmuştur. Çalışmada orajlı zamanların tespiti için Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı havacılık rasetatları kullanılmış, yukarı seviye atmosferik parametrelere ait verilerin temini için İstanbul Kartal Radyosonde İstasyonu verileri analiz edilmiştir. Her iki dönem için de orajların tekil ya da herhangi bir hadise ile birlikte meydana gelip gelmediği incelenmiş ve istatistikleri ortaya konulmuştur. Periyot dahilinde orajların gün içi, aylık ve yıllık bazda analizleri gerçekleştirilmiş, sıcak ve soğuk sezon için ayrı ayrı meteorolojik parametrelerde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak sunulmuştur. Sıcaklık, çiy noktası sıcaklığı, rüzgar şiddeti, rüzgar yönü ve bağıl nem gibi meteorolojik parametreler hem sıcak hem de soğuk sezon orajları için istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, toplamda sekiz adet termodinamik indeks ve atmosferik kararlılık parametresi kullanılarak, sıcak ve soğuk sezon orajlarının her bir indeksi ve parametredeki ortalama değişimleri incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler

Fırtına, Oraj, Şimşek, Dolu, Şiddetli Yağış, İstanbul

Analysis of Warm and Cold Season Thunderstorms for Istanbul

Abstract

A thunderstorm (TS) is a severe weather phenomenon characterized by intense showers, hail, lightning, thunder, tornadoes, turbulence, and gusty winds. It occurs in vertically developed Cumulonimbus (Cb) clouds due to atmospheric instability and has a spatial resolution (meso-scale) of 1 - 100 km. This phenomenon occurs mainly in spring and early summer in our country due to the uplift and condensation of moist and unstable air masses. However, in recent years, these events have become more frequent during mid-summer, early autumn, and even winter months. In this study, the characteristics of TS events in Istanbul, covering the period from 2013 to 2022, including the warm season (May-September) and the cold season (October-April), were examined, and the atmospheric conditions under which they occur were identified. Aviation observations from Sabiha Gökçen International Airport were used to determine the occurrence of TS events, and data from Istanbul Kartal Radiosonde Station were analyzed to obtain upper-level atmospheric parameters. The occurrence of individual TS events or their association with other phenomena was investigated, and the statistics were presented. The daily, monthly, and yearly analyses of TS events during the period were conducted, and the changes in meteorological parameters for both the warm and cold seasons were statistically presented. Meteorological parameters such as temperature, dew point temperature, wind speed, wind direction, and relative humidity were analyzed for both warm and cold season TS events. Additionally, the average changes in each thermodynamic index and atmospheric stability parameter for hot and cold season oraj events were examined using a total of eight indices and parameters.

Keywords

Storm, Thunderstorm, Lightning, Hail, Heavy Precipitation, Istanbul

1. Giriş

Oraj (TS), kararsız atmosfer koşullarında dikey gelişimli kümüliform bulut tipiyle ortaya çıkan, mezo-ölçek mekânsal çözünürlüğe sahip, kuvvetli yağışlarla ve buna bağlı dolu, şimşek, hortum ve rüzgar hamlesi gibi fenomenlerle birlikte ortaya çıkan bir atmosferik hadisedir. Aynı zamanda, oraj, insan hayatını tehlike altına alan, başta havacılık sektörü olmak üzere, tarım ve altyapı dahil birçok sektörde ciddi hasarlara ve olumsuz etkilere yol açabilen en yıkıcı meteorolojik hadiselerden biridir. Atmosferik kararsızlık sonucu dikey gelişimli Cumulonimbus (Cb) bulutlarında oluşan, 1 - 100 km mekansal ölçeğe (mezo-ölçek) sahip; kuvvetli sağanak yağış, dolu, şimşek, yıldırım, hortum, türbülans ve rüzgar hamlesi ile karakterize edilir (Yavuz vd., 2020).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (362) 3130055 Faks: +90 (362) 3130200

Gönderim Tarihi / Received : 24/07/2023

E-posta: muhammedbspnr@gmail.com (Başpınar M), veli.yavuz@samsun.edu.tr (Yavuz V)

Kabul Tarihi / Accepted : 16/10/2023

Dünya çapında orajlar meteorolojik bir fenomendir ve her yıl 16 milyon oraj olduğu ve herhangi bir anda kabaca 2.000 orajın devam ettiği tahmin edilmektedir. Yalnızca ABD'de her yıl yaklaşık 100.000 oraj vardır. Bunların yaklaşık %10'u ciddi seviyelere ulaşmaktadır (UCAR, 2023). Öte yandan 27 Temmuz 2017 tarihinde akşam saatlerine doğru İstanbul'u vuran süper hücre felakete yol almıştır. 8+ cm büyüklüğünde dolu ve 40 m/s'ye varan rüzgar hamlesi kaydedilmiş, 3 yaralı, 311 ağaç, 2 minare, 4 vinç devrilmesi, 162 çatı uçması rapor edilmiş, binlerce araç ve bina hasar görmüştür (Kahraman, 2017).

Akram vd. (2022), Bangladeş'te 1981-2020 yılları arasında ortalama orajlı günlerin aylık, mevsimsel, yıllık uzun vadeli eğilimini belirlemek için Mann-Kendall testi ve Sen'in eğim tahminini kullanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, Mayıs ayı, Bangladeş'te en yüksek orajlı gün sayısına sahip ay olurken bunu Haziran ve Eylül ayları takip etmiştir. Orajlı günlerin mekansal dağılımı, ülkenin kuzeydoğusundan orta batısına doğru bir eğilim göstermektedir. En yüksek orajlı gün sayıları kuzeydoğu bölgesinde yoğunlaşmıştır. Yıllık ve mevsimsel analizler, kış mevsimi hariç orajlı günlerde önemli bir artış eğilimi olduğunu göstermektedir. Aylık trend analizinde ise sadece Mayıs, Haziran ve Ekim aylarında orajlı günlerde artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir.

Sharma vd. (2022), 2016-2020 yılları arasında Hint bölgesindeki tropikal konveksiyonun günlük döngüsünü, Hindistan genelindeki yerel gözlem istasyonlarının oraj raporlarına dayanarak analiz etmiştir. Gözlem verileri, orajların genellikle öğleden sonra ve akşam saatlerinde yoğunlaştığını göstermektedir. Bu, güneşin etkisiyle atmosferin ısındığı ve termodinamik koşulların uygun hale geldiği zaman dilimine işaret etmektedir. Günlük döngünün bölgesel farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Örneğin, Batı Hindistan'da orajlar genellikle öğleden sonra ve akşam saatlerinde yoğunken, Kuzeydoğu Hindistan'da sabah erken saatlerinde ve öğleden önce daha yaygın olmuştur.

Ma vd. (2021) yaptıkları çalışmada, 2011-2018 yıllarının sıcak sezonları (Mayıs-Eylül) için Kuzey Çin üzerinden alınan atmosferik sondajları kullanarak, şiddetli orajlar, şiddetli olmayan orajlar ve yağmursuz günlerle ilişkili ortamları analiz etmiş ve konvektif tehlikeye neden olan dört adet şiddetli oraj ortamını araştırmıştır. Bunlar; yalnızca dolu, yalnızca şiddetli oraj rüzgarları, yalnızca kısa süreli yoğun yağış ve bunlardan iki veya üç türü (hibrit) ortamlarıdır. Şiddetli orajın olmadığı ve yağmurun olmadığı günlerin ortamları ile her bir hava kategorisindeki dağ ve ova gruplarına ayrılarak yapılan karşılaştırma sonucu; ovaların üzerindeki ortamların, dağların üzerindeki ortamlara göre daha güçlü kararsızlık, daha fazla nem ve daha yüksek dikey rüzgar kayması ile karakterize edildiğini göstermektedir. Hem dağlarda hem de ovalarda, yağışa dönüşebilir su, çeşitli kategoriler arasında ayırım yapma konusunda genel olarak en büyük beceriyi göstermiştir. Kararsızlık parametreleri, şiddetli oraj, şiddetli olmayan oraj ve yağmursuz oraj kategorileri arasında ayırım yapma konusunda önemli bir başarı gösterirken, dört oraj kategorisi arasında ayırım yapma konusunda oldukça sınırlı bir başarı göstermiştir. Rüzgar kayması parametreleri, çeşitli kategoriler arasında ayırım yapma konusunda çok sınırlı başarı göstermektedir. Yükselme ile yoğunlaşma seviyesi, yağmur yağmayan ve kısa süreli yoğun yağış ortamlarını diğer kategorilerden iyi bir şekilde ayırmakta ve troposfer ortası eşdeğer potansiyel sıcaklık, burada incelenen dolu ve şiddetli oraj rüzgarı ortamları arasında ayırım yapmada fayda gösteren tek parametre olmuştur.

Bunkers ve Hjelmfelt (2021) yaptıkları çalışmada aşağı patlama (downburst) ve aşağı savurucu yıkım (blowdown) olaylarıyla ilgili bilgiler sunulmuştur. Aşağı akımların (downdraft) konvektif fırtınalar tarafından tetiklendiği ve farklı ölçeklerde meydana gelebileceği, mikro patlamalardan (microburst) derecholara kadar değişen büyüklüklerde etkili olabileceği, genellikle rüzgarlar ve bitki zararları açısından homojen olmadığı belirtilmiştir. Uydu teknolojilerindeki ilerlemelerin, bu tür olayları daha iyi tespit etme imkanı sunduğundan bahsedilmiştir. Aşağı patlamaların (downburst) yağış süreçleriyle ilişkili olduğu; organize fırtına hattı, yay eko ve süper hücreler gibi konvektif sistemlerin bu olayları tetikleyebileceği ifade edilmektedir. İklim değişikliğinin bu olayların dağılımını etkileyebileceği ve gelecekte şiddetli orajlar için elverişli çevrelerin artabileceği konusunda bazı araştırmaların bulunduğu da vurgulanmaktadır.

Kahraman vd. (2020), RCP8.5 senaryosuna dayalı olarak yaptıkları Med-CORTEX bölgesel iklim modeli simülasyonları ile 21. yüzyıl boyunca şiddetli oraj ortamlarının Avrupa-Akdeniz alanı için değişimini sunmuşlardır. Yüzyılın sonuna kadar Akdeniz kıyılarının daha yüksek sıklıkta şiddetli oraj ortamları yaşayacağı ve Batı Avrupa'da azalacağı tahmin edilmektedir. Akdeniz'deki artış çoğunlukla termodinamik koşulları güçlendiren ısınan deniz yüzeyi ile ilişkilidir. Sıcak sezonda subtropikal kuşağın Avrupa üzerinden kuzeye doğru genişlemesi, şiddetli oraj ortamlarının olduğu gün sayısını azaltan etken olmaktadır.

Mohr vd. (2019) tarafından 2001-2014 yılları arasındaki şimşek verileri, orajlı günleri belirlemek için kullanılmış ve atmosferik engelleme olayları ERA-Interim Re-analizinden verilerinden nesnel bir tanımlama algoritması kullanılarak çıkarılmıştır. Doğu Kuzey Atlantik ve Kuzey Avrupa üzerinde bulunan atmosferik engellemeler ile Batı ve Orta Avrupa'da sıcak mevsimdeki oraj faaliyeti arasında istatistiksel olarak anlamlı bir bağlantı sunulmaktadır. Doğu Kuzey Atlantik üzerindeki bir atmosferik engellenmenin antisiklonik sirkülasyonu, durağan ve kuru hava kütlelerinin Avrupa'ya taşınmasına ve genellikle konveksiyonu önleyen koşulların oluşmasına neden olmuştur. Baltık Denizi üzerindeki bir atmosferik engellenmenin batı cephesindeki adveksiyon süreci, sıcak, nemli ve kararsız hava kütlelerinin Batı ve Orta Avrupa'ya taşınmasına ve konveksiyonu tetikleyen koşulların oluşmasına yol açmıştır. Her iki atmosferik engelleme durumu da orta-troposfer seviyelerinde zayıf rüzgar hızları ve zayıf rüzgar kayması kuvveti ile ilişkili olmuştur.

Bu çalışmada, İstanbul'daki Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı tarafından yayınlanan rutin Meteorolojik Meydan Raporları (METAR - Meteorological Aerodrome Report) ve Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü Kartal Radyosonde (atmosferik sondaj) verileri kullanılarak 2013-2022 yılları için oraj hadiseleri incelenmiştir. Bu bağlamda, Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı'nda orajların zamansal analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılarak, hadiselerin meydana geldiği atmosferik koşullar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmanın özgün değeri, mega şehir İstanbul için ilk kez oraj hadiselerinin sıcak ve soğuk sezondaki karakteristiklerinin uzun yıllar ortaya konulmasıdır. Çalışmanın ilk aşamasında, 2013-2022 yıllarına ait METAR raporlarından, şiddetlerine bakılmaksızın tüm orajlı hava durumu kodları ile beraber sıcaklık, çiy noktası sıcaklığı, bağlı nem, rüzgar yönü, rüzgar şiddeti gibi meteorolojik değişkenler temin edilmiştir. Bu rasatların sezonluk analizlerinin yapılabilmesi için Mayıs-Eylül periyodu sıcak sezon, Ekim-Nisan periyodu ise soğuk sezon olarak ikiye ayrılmıştır. Böylece İstanbul’da meydana gelen orajların sezonluk analizleri, türleri ve atmosferik koşulları incelenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında sıcak ve soğuk sezondaki orajlı günlerin atmosferik koşullarını incelemek amacıyla, orajın gözlemlendiği zaman dilimine en yakın atmosferik sondaj (radyosonde) verileri temin edilmiştir. Bu sondajlardaki beş termodinamik ve üç statik kararlılık parametresi analizler için kullanılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada, Türkiye’nin nüfus, sanayi ve ekonomi bakımından en gelişmiş şehri İstanbul için orajların analizleri gerçekleştirilmiştir. Asya ve Avrupa kıtalarını birbirine bağlayan mega şehrin kuzeyinde Karadeniz ve güneyinde Marmara Denizi bulunmaktadır. Soğuk sezonda hakim rüzgar yönü kuzeyli yönlerden, sıcak sezonda ise genellikle güneyli yönlerdendir. Şehrin kuzey kesimlerinde genellikle Karadeniz İklimi, güneyinde ise Akdeniz İklimi özellikleri gözlemlenmektedir. Yazları kuru ve sıcak, kışları ise ılık ve yağışlı geçmektedir (Unal vd., 2011; Yavuz vd., 2022a). İstanbul’da kış aylarında zaman zaman deniz etkili kar yağışları ile birlikte yoğun kar birikimleri meydana gelmekte (Yavuz vd., 2022b; Yavuz vd., 2023), ilkbaharın sonları, yaz ve sonbaharın başlarında ise oraj aktiviteleri gözlenmektedir (Özdemir vd., 2017; Yavuz vd., 2022c). Kış aylarında çok sık olmasa da gök gürültülü kar yağışları (kar yağışlı orajlar) gözlenebilmektedir (Yavuz vd., 2022d). Çalışma alanı olarak İstanbul’un seçilmesinin temel sebebi de sıcak ve soğuk sezonlarda oraj aktivitelerinin gözlenebildiği bir şehir olmasıdır.

Oraj hadiselerinin tespiti ve zamansal dağılımlarının analizi için İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı tarafından yayımlanan havacılık rasatları kullanılmıştır. Bu rasatların temin edildiği havalimanının konum bilgisi Şekil 1’de verilmiştir. Diğer yandan, yukarı seviye düşey atmosferik değişkenlerin analizleri için, İstanbul Kartal Radyosonde İstasyonu verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden (MGM) temin edilmiştir. Radyosonde istasyonunun konum bilgisi Şekil 1’de verilmiştir. Bunlara ilave olarak, hem havalimanı hem de radyosonde istasyonu için detaylı bilgiler Tablo 1’de sunulmuştur.



Şekil 1: Çalışma alanı, havalimanı ve radyosonde istasyonu konumları

Tablo 1: Çalışma alanında yer alan havalimanı ve radyosonde istasyonu bilgileri

İstasyon Adı	İstasyon Kodu	Koordinat Bilgisi	Rakım	Kaynaklar
Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı	LTFJ	40°53'55"K 29°18'33"D	95 metre	(All Met Sat, 2023)
Kartal Radyosonde İstasyonu	17062/17064	40°54'40"K 29°09'20"D	18 metre	(Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü, 2023)

2.2. Materyal

İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı Meteoroloji Ofisi, her yarım saatte bir (20 ve 50 geçe) METAR yayımlamaktadır. Bu çalışmada, METAR raporları 2013 – 2022 yılları arası 10 yıllık periyot için MGM'den temin edilmiştir. Bu rapor içerisinde sıcaklık, çiy noktası sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar yönü, rüzgar şiddeti, vb. meteorolojik değişkenler bulunmaktadır (Iowa State University, 2023).

Düşey atmosferik koşulların belirlenebilmesi ve meteorolojik değişkenlerin temini için Kartal Radyosonde İstasyonu verileri 00.00 UTC ve 12.00 UTC için temin edilmiştir. Atmosferik sondaj rasatları ülkemizde günde iki kez olacak şekilde düzenli olarak yapılmaktadır. Bu bağlamda, sondaj rasatları 10 yıllık periyot dahilinde tüm zamanlar için 00.00 UTC ve 12.00 UTC için temin edilmiştir (University of Wyoming, 2023).

2.3. Yöntem

Çalışmanın ilk aşamasında, 2013 – 2022 yıllarına ait METAR raporlarından, şiddetlerine bakılmaksızın tüm orajlı hava durumu kodları ile beraber sıcaklık, çiy noktası sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar yönü, rüzgar şiddeti gibi meteorolojik değişkenler de temin edilmiştir. Bu rasatların sezonluk analizlerinin yapılabilmesi için Mayıs – Eylül periyodu sıcak sezon, Ekim – Nisan periyodu ise soğuk sezon olarak ikiye ayrılmıştır. Böylece İstanbul'da meydana gelen orajların sezonluk analizleri, türleri ve atmosferik koşulları incelenmiştir. METAR rasatlarında bir oraj olayının belirlenmesi için o gün METAR rasatlarında en az iki TS kodunun olması gerekliliği dikkate alınmıştır. Bu bağlamda, oraj olaylarının aylık ve yıllık analizleri, çalışmanın ilk aşamasında gerçekleştirilmiştir. Gözlemlenen oraj türlerine ait Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyon (International Civil Aviation Organisation – ICAO) hava durumu kodları ve açıklamaları Tablo 2'de verilmiştir (International Civil Aviation Organisation, 2023).

Tablo 2: ICAO hava durumu kodlarının açıklamaları (International Civil Aviation Organisation, 2023)

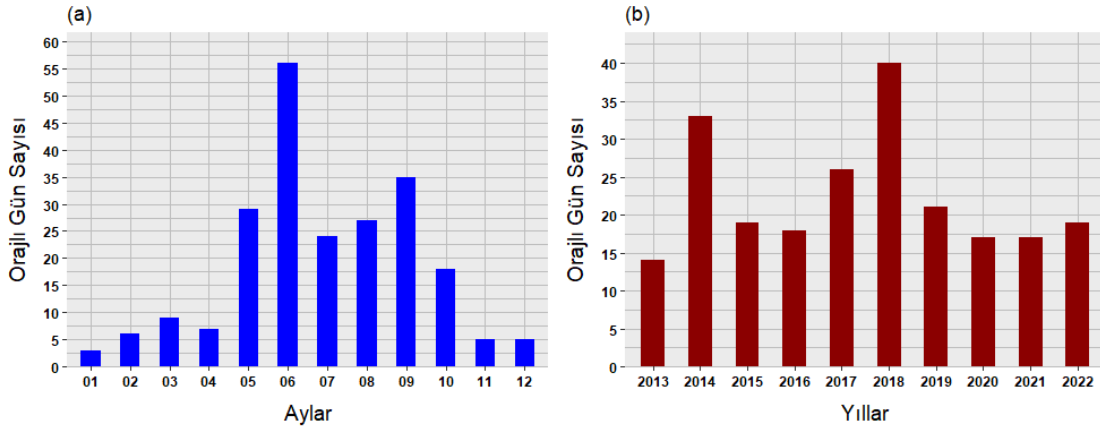
Hava Durumu Kodları	Açıklama
TSRA	Oraj ile Yağmur
VCTS	Civarda Oraj
TS	Oraj
TSSN	Oraj ile Kar
TSRA BR	Oraj ile Yağmur ve Pus
TS VCSH	Oraj ve Civarda Sağanak Yağış
TSGRRA	Oraj ile Dolu ve Yağmur
TSGR	Oraj ile Dolu
VCSH TS	Civarda Sağanak Yağış ve Oraj

Çalışmanın ikinci aşamasında, sıcak ve soğuk sezondaki orajlı günlerin atmosferik koşullarını incelemek amacıyla, orajın gözlemlendiği zaman dilimine en yakın sondaj verileri temin edilmiştir. Bu sondajlardaki beş termodinamik indeks ve üç statik kararlılık parametresi analizlerde kullanılmıştır. Bunlar: Showalter İndeksi (SI), Kaldırma İndeksi (LI), Şiddetli Hava Tehdit İndeksi (SWEAT), K-İndeks (KI), Toplam Toplam İndeks (TTI), Elverişli Konvektif Potansiyel Enerji (CAPE), Konvektif Engelleme (CIN) ve Bulk Richardson Sayısı'dır (BRN). Dolayısıyla her bir indeks ve parametre değerlerinin, sıcak ve soğuk sezondaki dağılımları analizlere tabi tutulmuştur.

3. Bulgular

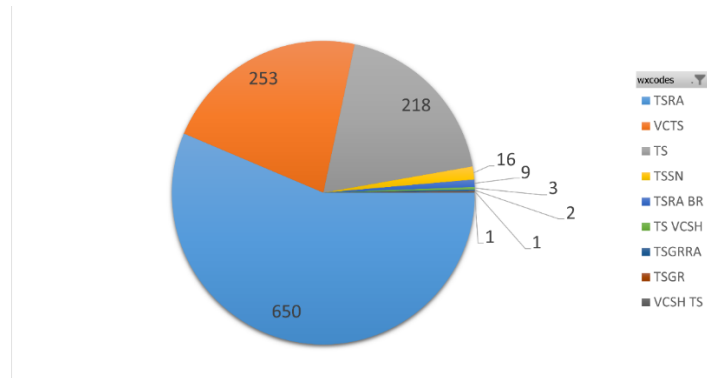
3.1. İstanbul'da Orajlı Günlerin Aylık ve Yıllık Analizleri

İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı Meteoroloji Ofisi tarafından hazırlanan rutin METAR raporlarından seçilen TS rasatları, 10 yıllık periyot (2013-2022) için analiz edilmiştir. METAR rasatlarında bir oraj olayının belirlenmesi için, o gün METAR rasatlarında en az iki TS kodunun olması gerekliliği dikkate alınmıştır (Yavuz vd., 2022c). Bu bağlamda, oraj olaylarının aylık ve yıllık analizleri yapılmıştır. En az iki TS kodu içeren orajlı günlerin aylık ve yıllık dağılımları Şekil 2'de gösterilmektedir. İstanbul'da 10 yıllık analiz sonucu, en fazla orajlı gün sayısı 56 gün ile Haziran ayında olurken bunu 35 gün ile Eylül ayı ve 29 gün ile Mayıs ayı takip etmiştir. En az orajlı gün sayısı 3 gün ile Ocak ayında olmuştur (Şekil 2a). Tilev-Tanriover vd. (2015) yaptıkları çalışmada, benzer şekilde Türkiye genelinde en fazla orajlı gün sayısının Mayıs ve Haziran aylarında olduğunu tespit etmiştir. Orajlı günlerin çoğunlukta olduğu periyodun, atmosferik kararsızlık koşullarının daha fazla gözlemlendiği sıcak dönemler ile paralellik gösterdiği anlaşılmaktadır. Yıllık orajlı gün dağılımında, İstanbul'da en fazla orajlı gün sayısı 40 gün ile 2018 yılında olmuştur ve onu 33 gün ile 2014 yılı takip etmiştir. En az orajlı gün sayısı ise 14 gün ile 2013 yılı olmuştur (Şekil 2b). Özellikle 2018 yılının Haziran ayındaki 500 hPa alçak merkez ve oluk paterninin, atmosferik kararsızlığı artıran bir unsur olarak, oraj hadiselerinin sık gözlemlenmesine neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2: İstanbul'da orajlı günlerin (a) aylık ve (b) yıllık dağılımları

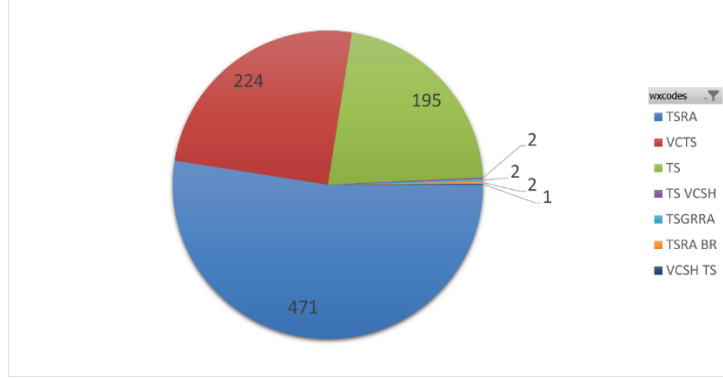
İstanbul'da 10 yıllık periyotta, METAR raporlarındaki tüm TS rasatlarının şiddetlerine bakılmaksızın hangi meteorolojik olaylar ile birlikte gözlemlendiği Şekil 3'de gösterilmektedir. Buna göre en fazla gözlemlenen oraj türü, oraj türlerinin arasından %56,4'ünü kapsayarak 650 rasat sayısı ile gök gürültülü fırtına ile yağmur (TSRA) olmuştur. Bunu sırayla 253 rasat sayısı (%21,9) ile havalimanı civarındaki gök gürültülü fırtına (VCTS) ve 218 rasat sayısı (%18,9) ile gök gürültülü fırtına (TS) takip etmiştir. Bu değerlere göre, orajla birlikte eşlik eden yağışların, orajın tek başına gerçekleşme ihtimalinden daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3: İstanbul'da oraj türlerinin dağılımı

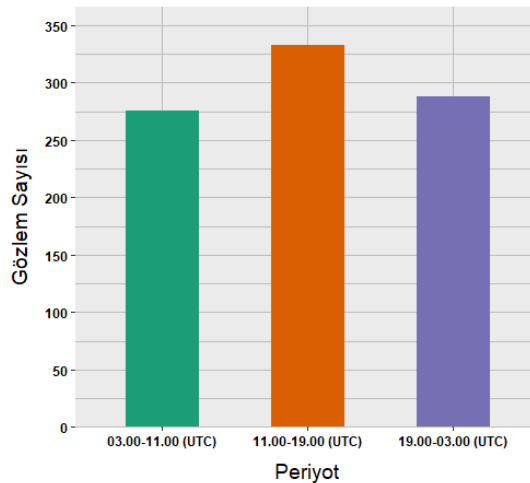
3.2. İstanbul'da Sıcak Sezon Orajlarının Analizi

İstanbul'da 2013 – 2022 yılları sıcak sezon (Mayıs – Eylül) periyodu için METAR raporlarındaki TS kodlarından yapılan analizlere göre, en fazla gözlemlenen oraj türü, oraj türlerinin arasından %52,5'ini kapsayarak 471 rasat sayısı ile gök gürültülü fırtına ile yağmur (TSRA) olmuştur. Ardından bunu sırayla 224 rasat sayısı (%25,0) ile havalimanı civarında gök gürültülü fırtına (VCTS) ve 195 rasat sayısı (%21,7) ile gök gürültülü fırtına (TS) izlemiştir. Bu sezonda atmosferde sıcak koşulların hakim olması nedeniyle, gök gürültülü kar yağışı (TSSN) gözlemlenmemiştir (Şekil 4).



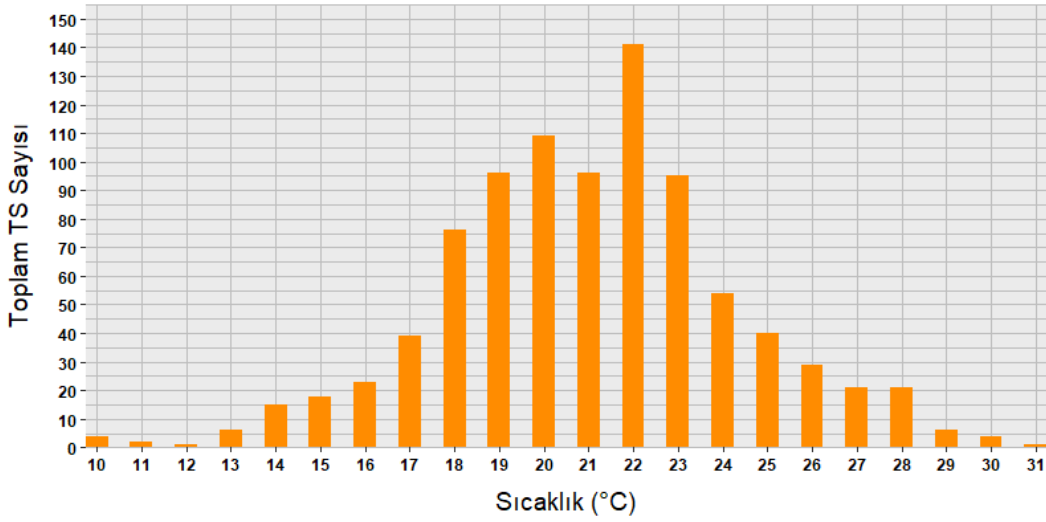
Şekil 4: Sıcak sezonda oraj türlerinin dağılımı

İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı METAR raporları kullanılarak sıcak sezonda (Mayıs-Eylül) gözlemlenen tüm TS rasatları, günün üç farklı zaman diliminde incelenmiştir (Şekil 5). Günün birinci zaman diliminde (03.00 – 11.00 UTC) TS rasatlarının gözlemleri, diğer zaman dilimlerine göre en az dağılım göstermiştir. Bu periyotta, özellikle sabahın erken saatlerinde kararlı koşulların hakim olması ve termal türbülans zayıflığı, bu sonucu desteklemektedir. Ancak ilerleyen saatlerde, yerin güneşten gelen kısa dalga boylu radyasyon ile ısınmasından dolayı termal türbülans oluşmaya başlar ve atmosfer zamanla kararsız hale gelir (Karan, 2007). Sıcak sezonda gece uzunluğunun daha az olduğu göz önüne alındığında, TS rasatlarının günün bu periyodundaki dağılımı diğer zaman dilimlerine göre belirgin bir düşüklük göstermemiştir. Günün ikinci zaman diliminde (11.00 – 19.00 UTC) TS rasatlarının gözlemleri, diğer zaman dilimlerine göre en fazla dağılım göstermiştir. Yüzeysel ısınması maksimum seviyelere ulaştığından termal türbülans çok güçlüdür ve atmosfer daha kararsızdır. Ancak saatler ilerledikçe yüzeysel ısınması azalır ve termal türbülanslar zayıflar. Sıcak sezonda güneşlenme süresi fazla olduğundan bu durum daha geç saatlere sarkabilir. Günün üçüncü zaman diliminde ise (19.00 – 03.00 UTC) TS rasatlarının gözlemleri, günlük periyotta ortanca durum sergilemiştir. Bu zaman diliminde yüzeysel sıcaklıkları azalır, termal türbülans zayıflar ve atmosfer kararlı hale gelmeye başlar. Atmosferik sınır tabaka içerisinde kararlı tabaka gelişirken, onun üzerindeki artık tabakada bir önceki günden eser miktarda atmosferik bileşen (eddy paketçikleri) içerir. Böylece orajlar geç saatlere kadar gözlemlenebilir (Karan, 2007).



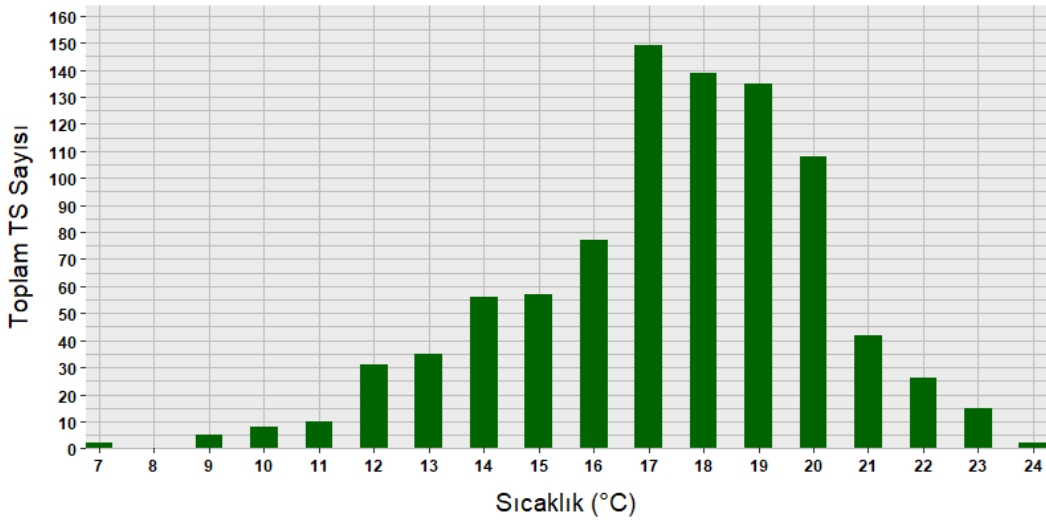
Şekil 5: Sıcak sezonda orajların gün içi periyotlara göre dağılımı

Sıcak sezon boyunca (Mayıs – Eylül) METAR raporlarındaki tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki hava sıcaklıklarının dağılımı incelendiğinde, orajların en fazla gözlemlendiği sıcaklık 22°C ve orajların çoğunun gözlemlendiği sıcaklık aralığı ise 19 – 23°C olmuştur. Bu sıcaklık aralığının dışındaki sıcaklıklarda, oraj gözlemlerinde belirgin bir düşüş tespit edilmiştir (Şekil 6).



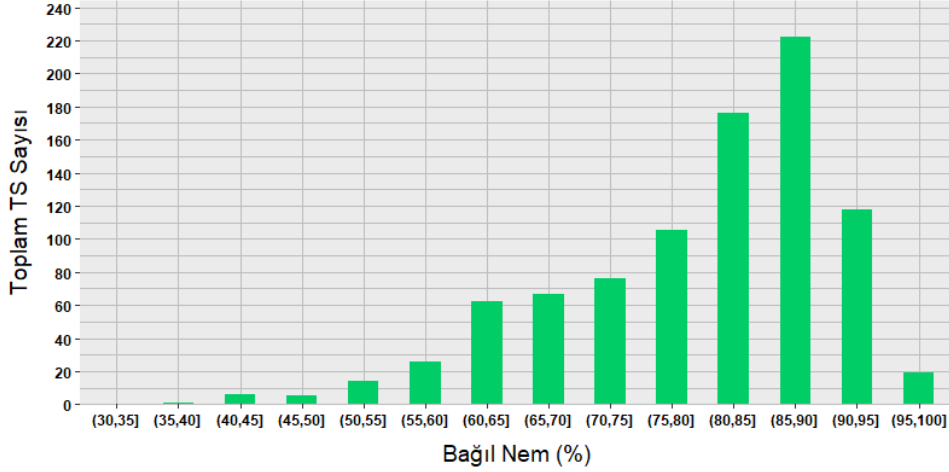
Şekil 6: Sıcak sezonda orajların hava sıcaklığına göre dağılımı.

Sıcak sezon boyunca (Mayıs – Eylül) METAR raporlarındaki tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki çiy noktası sıcaklıkları incelendiğinde, İstanbul'da orajların en fazla gözlemlendiği çiy noktası sıcaklığı 17°C ve orajların çoğunun gözlemlendiği çiy noktası sıcaklığı aralığı ise 17 – 20°C olmuştur. Bu sıcaklık aralığının dışındaki sıcaklıklarda, oraj gözlemlerinde belirgin bir düşüş tespit edilmiştir (Şekil 7).



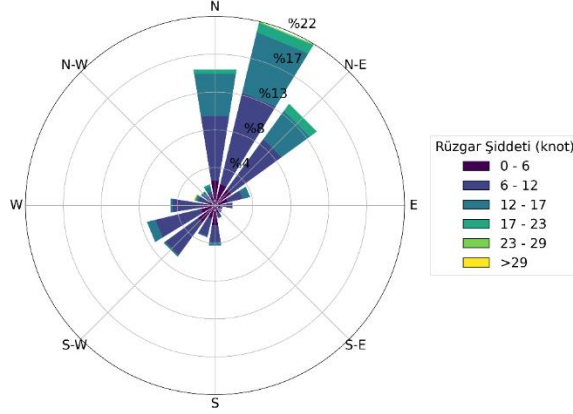
Şekil 7: Sıcak sezonda orajların çiy noktası sıcaklığına göre dağılımı.

Sıcak sezon boyunca (Mayıs – Eylül) METAR raporlarından elde edilen tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki bağıl nem değerleri incelendiğinde, İstanbul'da orajların en fazla gözlemlendiği bağıl nem aralığı %86 – %90 olmuştur. Bu değerlerin dışında oraj gözlemleri hızla azalmıştır. Bağıl nem, hava sıcaklığıyla doğrudan ilişkilidir ve atmosferdeki sabit su buharı miktarında sıcaklık arttıkça bağıl nem düşer. Bu nedenle daha düşük bağıl nem değerlerinde oraj gözlemlenme dağılımı da fazladır (Şekil 8).



Şekil 8: Sıcak sezonda orajların bağıl neme göre dağılımı.

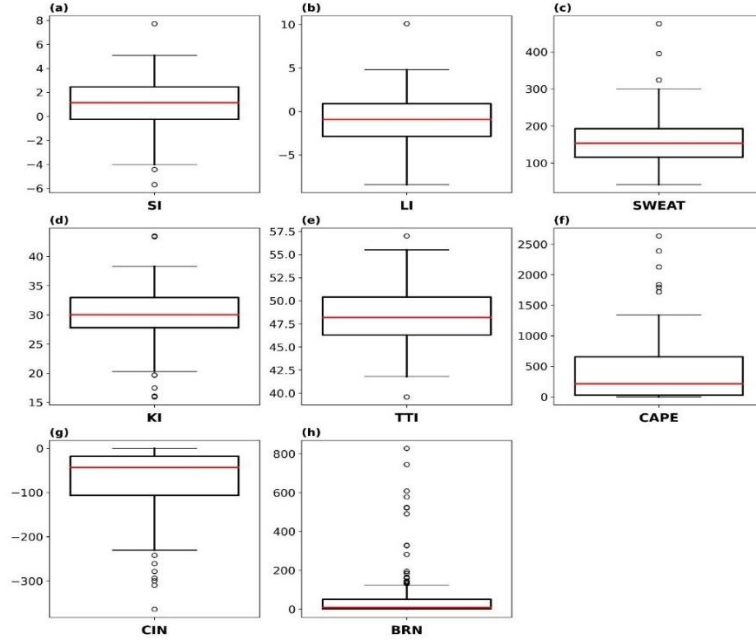
Sıcak sezon boyunca (Mayıs – Eylül) METAR raporlarından elde edilen tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki rüzgar bilgileri incelendiğinde, İstanbul’da hakim rüzgar yönü, veri setindeki rüzgarların yaklaşık %22’sini kapsayarak kuzey-kuzeydoğu yönü olurken, onu sırayla kuzey ve kuzeydoğu yönleri takip etmiştir (Şekil 9). Rüzgarın zaman zaman kuvvetli şekilde estiği (29 knot ve üzeri) gözlemlenmiştir. Oraj hücreleri bulunduğu konumda rüzgarın değişik yönlerden esmesine neden olabilir. Ancak, gözlem zamanında atmosferdeki sinoptik ölçekli koşullar da rüzgar yönü için baskın bir unsurdur. Sıcak sezondaki rüzgarlar (özellikle Temmuz ayı), Türkiye’ye kadar uzanan güçlü bir termal alçak basınç sistemi ile karakterize edilmekte ve Avrupa üzerinde nispeten yüksek basınç sistemine göre büyük bir basınç gradyan kuvveti oluşturarak, bölgede güçlü rüzgarlara neden olmaktadır (Arslan vd., 2020). Bu sinoptik ölçekli sistemlerin konumu ve İstanbul’un topoğrafik koşulları nedeniyle hakim rüzgar yönü kuzey-kuzeydoğu olmuştur.



Şekil 9: Sıcak sezonda orajlı zamanlardaki rüzgar şiddeti ve yönlerinin dağılımı.

Orajların meydana gelmesinde atmosferik kararsızlık önemli bir rol oynamaktadır. Atmosferin kararlılığını ortaya çıkarmak için kullanılan bazı atmosferik sondaj parametreleri ve indekslerinin incelenmesi, orajların oluşum, gelişme ve dağıtım aşamalarını anlamada önemlidir (Yavuz, 2023). Çalışmanın ikinci aşamasında, METAR raporlarındaki en az iki TS içeren orajlı günlerin, beş termodinamik indeks (SI, LI, SWEAT, KI, TTI) ve üç atmosferik stabilite parametresine (CAPE, CIN, BRN) göre analizleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için Kartal radyosonde istasyonundan günde iki kez yapılan atmosferik sondajlar (00.00 UTC ve 12.00 UTC), orajlı zaman dilimine en yakın olacak şekilde ele alınmıştır. Sıcak sezon için yapılan incelemelerde, atmosferdeki kararsız koşulların indekslere ve parametrelere yansıtıldığı görülmektedir (Şekil 10). Sıkça kullanılan termodinamik indekslerden SI ve LI değerlerinin ortalamaları, orajların mümkün olduğunu göstermektedir (Şekil 10a-b). SWEAT indeksi ortalaması, hafif şiddetli orajları nitelendirmiştir (Şekil 10c). KI ortalaması, birkaç dağınık orajların oluşabileceği potansiyelini vermiştir (Şekil 10d). TTI ortalamasına göre orajlar olasıdır (Şekil 10e). Atmosferik statik kararlılık parametrelerinden CAPE değerleri, sıfırdan farklı olarak marjinal kararsızlık gösteren 421 J/kg etrafında yoğun dağılım göstermiştir. CAPE değerlerinin genellikle yüksek değerlerde ve hatta çok-ekstrem kararsız koşullar sunan 2500 J/kg değerlerini aştığı da gözlemlenmiştir (Şekil 10f). Atmosferde havanın serbest bir şekilde yükselmesine engel olan CIN değerlerinin ortalaması, kararlı koşulları göstermiştir (Şekil 10g).

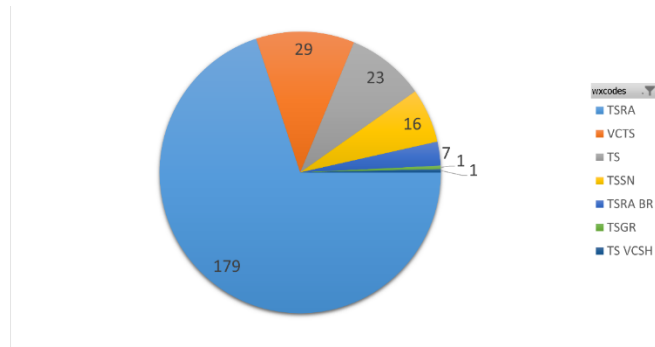
Bu kapatıcı tabaka (capping) bir şekilde aşıldığı zaman, hava yükselmeye devam eder. BRN, CAPE ve rüzgar kayması ile ilişkilendirilerek ortaya konulmuş bir parametredir. BRN değerlerinin dağılımı, süper veya çok hücreli orajların oluşabileceği potansiyelini sergilemiştir (Şekil 10h).



Şekil 10: Sıcak sezonda orajlı günlerdeki termodinamik indeks ve atmosferik kararlılık parametrelerinin dağılımı

3.3. İstanbul'da Soğuk Sezon Orajlarının Analizi

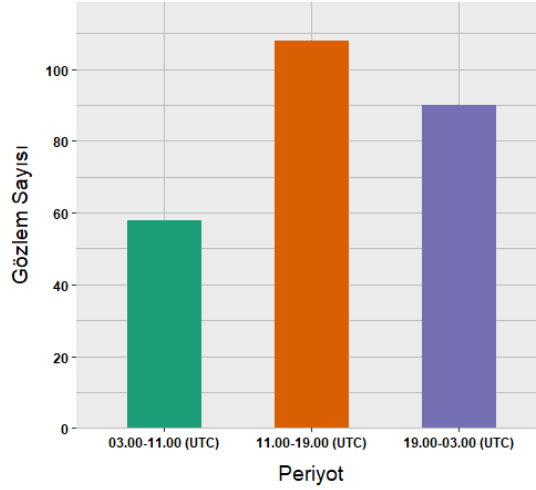
İstanbul'da 2013 – 2022 yılları soğuk sezon (Ekim – Nisan) periyodu için METAR raporlarındaki TS kodlarından yapılan analizlere göre, en fazla gözlemlenen oraj türü, oraj türlerinin arasından %69,9'unu kapsayarak 179 rasat sayısı ile gök gürültülü fırtına ile yağmur (TSRA) olmuştur. Ardından bunu sırayla 29 rasat sayısı (%11,3) ile havalimanı civarında gök gürültülü fırtına (VCTS) ve 23 rasat sayısı (%9,0) ile gök gürültülü fırtına (TS) izlemiştir. Bu sezonda atmosferde soğuk koşulların hakim olması nedeniyle, 16 rasat sayısı (%6,3) ile gök gürültülü kar yağışı (TSSN) gözlemlenmiştir (Şekil 11).



Şekil 11: Soğuk sezonda oraj türlerinin dağılımı

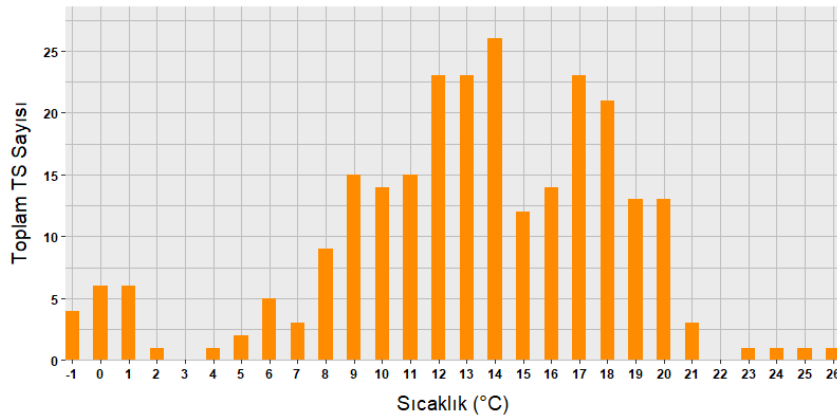
İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı METAR raporları kullanılarak soğuk sezon (Ekim-Nisan) periyodunda gözlemlenen tüm TS rasatları, günün üç farklı zaman diliminde incelenmiştir (Şekil 12). Günün birinci zaman diliminde (03.00 – 11.00 UTC) TS rasatlarının gözlemleri, diğer zaman dilimlerine göre en az dağılım göstermiştir. Bu periyotta, özellikle sabahın erken saatlerinde kararlı koşulların hakim olması ve termal türbülans zayıflığı, bu sonucu desteklemektedir. Ancak ilerleyen saatlerde yerin güneşten gelen kısa dalga boylu radyasyon ile ısınmasından dolayı termal türbülans oluşmaya başlar ve atmosfer zamanla kararsız hale gelir (Karan, 2007). Soğuk sezonda gece uzunluğunun daha fazla olması, atmosferin kararlı koşullarını bu periyodun daha ilerisine uzatmıştır. Bu durum, TS rasatlarının diğer zaman dilimlerine göre çok daha düşük bir dağılım göstermesine neden olmuştur.

Günün ikinci zaman diliminde (11.00 – 19.00 UTC) TS rasatlarının gözlemleri, günün birinci zaman dilimine belirgin fark atarak en fazla TS dağılımı gösteren zaman dilimi olmuştur. Yüzeysel ısınması maksimum seviyelere ulaştığından termal türbülans çok güçlüdür ve atmosfer daha kararsızdır. Ancak saatler ilerledikçe yüzeysel ısınması azalır ve termal türbülanslar zayıflar. Günün üçüncü zaman diliminde ise (19.00 – 03.00 UTC) TS rasatlarının gözlemleri, günlük periyotta ortanca durum sergilemiştir. Bu zaman diliminde yüzeysel sıcaklıkları azalır, termal türbülans zayıflar ve atmosfer kararlı hale gelmeye başlar. Atmosferik sınır tabaka içerisindeki kararlı tabaka gelişirken, onun üzerindeki artık tabakada bir önceki günden eser miktarda atmosferik bileşen (eddy paketçikleri) içerir (Karan, 2007). Böylece orajlar geç saatlere kadar gözlemlenebilir ancak bu durum soğuk sezonda daha kısıtlıdır.



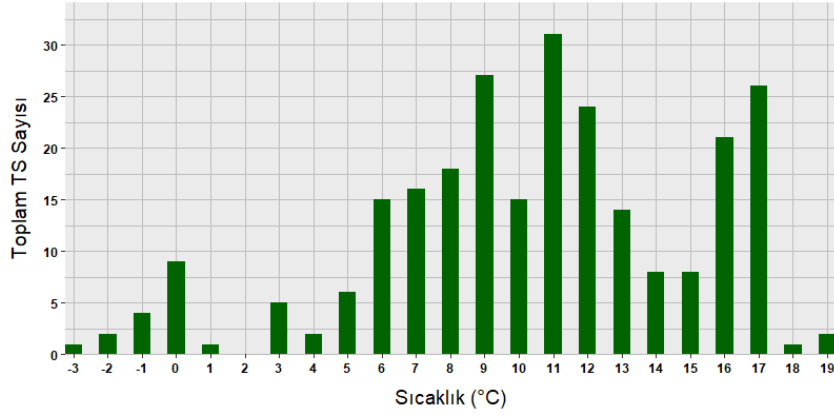
Şekil 12: Soğuk sezonda orajların gün içi periyotlara göre dağılımı

Soğuk sezon boyunca (Ekim – Nisan) METAR raporlarındaki tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki hava sıcaklıklarının dağılımı incelendiğinde, orajların en fazla gözlemlendiği sıcaklık 14°C olmuştur. Bu sezonda orajlar, çeşitli sıcaklıklarda kümelenmiştir. En fazla oraj gözlemi 12 – 14°C aralığında gerçekleşmiştir. Bu sıcaklık aralığının üzerindeki sıcaklıklarda, önce oraj gözlemi azalmış sonra belirgin bir şekilde artış göstermiştir (17 – 18°C). Diğer yandan, sıcaklık azaldıkça oraj gözlemlerinin azaldığı ancak -1°C ile 2°C aralığında orajların tekrar kümelendiği tespit edilmiştir (Şekil 13).



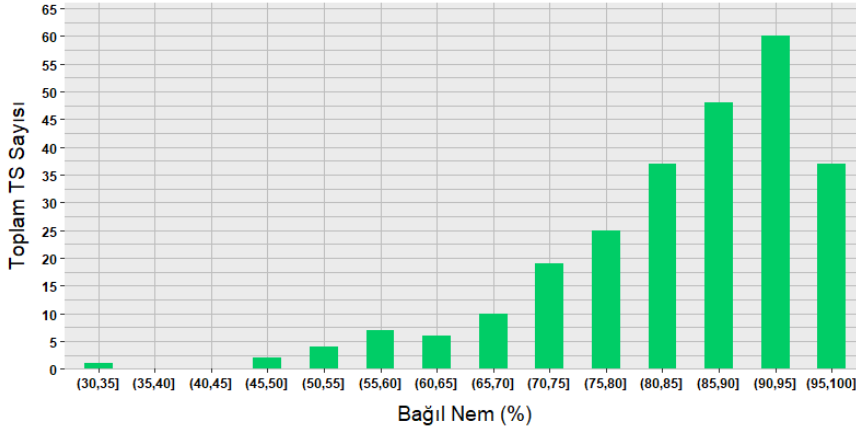
Şekil 13: Soğuk sezonda orajların hava sıcaklığına göre dağılımı

Soğuk sezon boyunca (Ekim – Nisan) METAR raporlarındaki tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki çiy noktası sıcaklıkları incelendiğinde, İstanbul’da orajların en fazla gözlemlendiği çiy noktası sıcaklığı 11°C olmuştur. Bunu sırasıyla 9°C, 17°C ve 12°C takip etmiştir. Diğer yandan, düşük çiy noktası sıcaklığı aralığında (-3°C ile 1°C) TS sayısının kümelendiği görülmektedir. Çiy noktası sıcaklığı, havanın neme doymaya ulaştığı sıcaklık olduğuna göre, 0°C’ nin altında meydana gelen orajların gök gürültülü kar yağışları (TSSN) olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 14).



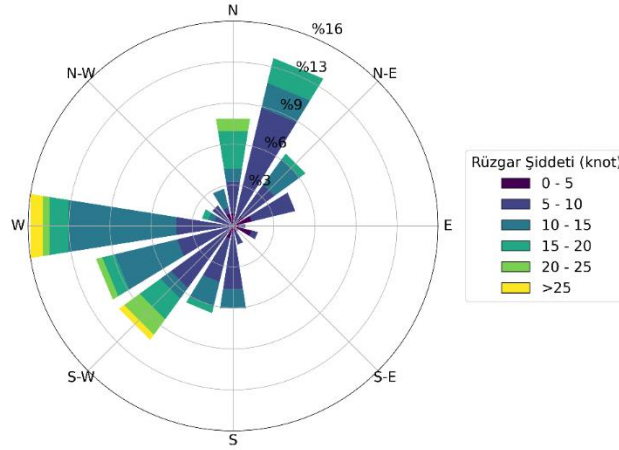
Şekil 14: Soğuk sezonda orajların çiy noktası sıcaklığına göre dağılımı.

Soğuk sezon boyunca (Ekim – Nisan) METAR raporlarından elde edilen tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki bağıl nem değerleri incelendiğinde, İstanbul’da orajların en fazla gözlemlendiği bağıl nem aralığı %91 – %95 olmuştur. Bu değerlerin dışında oraj gözlemleri hızla azalmıştır. Bağıl nem, hava sıcaklığıyla doğrudan ilişkilidir ve atmosferdeki sabit su buharı miktarında, sıcaklık azaldıkça bağıl nem artar. Dolayısıyla soğuk sezondaki orajların, yüksek bağıl nem değerlerinde daha fazla görülmesi bunun sonucu olmuştur (Şekil 15).



Şekil 15: Soğuk sezonda orajların bağıl neme göre dağılımı

Soğuk sezon boyunca (Ekim – Nisan) METAR raporlarından elde edilen tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki rüzgar bilgileri incelendiğinde, İstanbul’da hakim rüzgar yönü, veri setindeki rüzgarların yaklaşık %16’sını kapsayarak batı yönünden olurken, onu sırayla kuzey-kuzeydoğu ve güneybatı yönleri takip etmiştir (Şekil 16). Oraj hücreleri bulunduğu konumda rüzgarın değişik yönlerden esmesine neden olabilir. Ancak, gözlem zamanındaki sinoptik örüntü de rüzgar yönü için baskın bir unsur olmaktadır. Akdeniz Havzası’nda oluşan ve gelişen alçak basınç sistemleri, en çok kış aylarında etkilerini gösterirler. Bu alçak basınç sistemleri Türkiye’nin batısından giriş yaparken, rüzgarın öncelikle güneybatılı sektörlerden esmesine ve sıcaklıkların artmasına neden olur (Apostol, 2008). Halk dilinde lodos olarak bilinen bu rüzgar yönü, İstanbul’da soğuk sezonda sıklıkla gözlemlenmiş ve rüzgarın kuvvetli şekilde (25 kt ve üzeri) estiği durumlar olmuştur.



Şekil 16: Soğuk sezonda orajlı zamanlardaki rüzgar şiddeti ve yönlerinin dağılımı.

Orajların meydana gelmesinde atmosferik kararsızlık önemli bir rol oynamaktadır. Atmosferin kararlılığını ortaya çıkarmak için kullanılan bazı sondaj parametreleri ve indekslerinin incelenmesi, orajların oluşum, gelişme ve dağıtım aşamalarını anlamada önemlidir (Yavuz, 2023). Çalışmanın ikinci aşamasında, METAR raporlarındaki en az iki TS içeren orajlı günlerin, beş termodinamik indeks (SI, LI, SWEAT, KI, TTI) ve üç atmosferik stabilite parametresine (CAPE, CIN, BRN) göre analizleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için Kartal radyosonde istasyonundan günde iki kez yapılan atmosferik sondajlar (00.00 UTC ve 12.00 UTC), orajlı zaman dilimine en yakın olacak şekilde ele alınmıştır. Soğuk sezon için yapılan incelemelerde, atmosferdeki zayıf kararsız koşulların, indekslere ve parametrelere yansıtıldığı görülmektedir (Şekil 17). Sıkça kullanılan termodinamik indekslerden SI ve LI değerlerinin ortalamaları, atmosferde kararlı koşulların olduğunu göstermektedir (Şekil 17a-b). SWEAT indeks ortalaması, hafif şiddetli orajları nitelendirmiştir (Şekil 17c). KI ortalaması, izole edilmiş orajların oluşabileceği potansiyelini vermiştir (Şekil 17d). TTI ortalamasına göre orajlar olasıdır (Şekil 17e). Atmosferik statik kararlılık parametrelerinden CAPE değerleri, sıfırdan farklı olarak kararlılık gösteren 54 J/kg etrafında yoğun dağılım göstermiştir. CAPE, genellikle düşük değerlerde olmuş ve 700 J/kg değerini aşan yalnızca bir rasat yapılmıştır (Şekil 17f). Atmosferde havanın serbest bir şekilde yükselmesine engel olan CIN değerlerinin ortalaması, kararlı koşulları göstermiştir (Şekil 17g). Bu kapatıcı tabaka (capping) bir şekilde aşıldığı zaman, hava yükselmeye devam eder. BRN, CAPE ve rüzgar kayması ile ilişkilendirilerek ortaya konulmuş bir parametredir. BRN değerlerinin ortalaması, orajların olası olmadığını sergilemiştir (Şekil 17h). Bu sezonda termodinamik kararsızlık, havaya göre sıcak kalan deniz yüzeyine borçludur. Sıcak denizler ısı ve nem kaynağı olup, gök gürültülü sağanak yağışlarının meydana gelmesinde önemli bir etkidir.

3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı Meteoroloji Ofisi tarafından her yarım saatte bir yayınlanan METAR kullanılarak, 2013 – 2022 yıllarını kapsayan 10 yıllık dönem için TS rasatları incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, METAR raporlarında bir günde en az iki TS rasatı içeren günler, orajlı bir gün olarak kabul edilmiştir. Bu doğrultuda, aylık ve yıllık orajlı gün dağılımları incelenmiştir. Aylık bazda, İstanbul'da en fazla orajlı gün sayısı Haziran ayında olurken, bunu sırasıyla Eylül ve Mayıs ayları takip etmiştir. En az orajlı gün sayısı ise Ocak ayında gerçekleşmiştir. Yıllık bazda orajlı gün dağılımları incelendiğinde, en fazla orajlı gün sayısı 2018 yılında olmuştur ve bunu 2014 yılı takip etmiştir. En az orajlı gün sayısı ise 2013 yılında olmuştur. TS ile birlikte meydana gelen diğer meteorolojik hadiselerin görülmesi amacıyla yapılan analizde, tüm sezonlarda en fazla gözlemlenen oraj türü TSRA ve VCTS olmuştur. Soğuk sezonda, sıcak sezondan farklı olarak TSSN gözlemlenmiştir.

Toplam TS rasatlarının gün içi periyotlara göre dağılımı hem sıcak hem de soğuk sezon olarak analiz edildiğinde, orajların dağılımı her iki sezonda da en fazla günün ikinci zaman diliminde (11.00 – 19.00 UTC) gerçekleşmiştir. Günün bu zaman diliminde, güneşten gelen kısa dalga boylu radyasyonların yeryüzünü maksimum şekilde ısıtması ve termal türbülans ile ısınan havanın karışması (konvektif tabaka), atmosferde kararsız koşulların oluşmasında etkilidir. Bu etkilerin, orajların meydana gelmesinde önemli bir faktör olduğu anlaşılmaktadır. Her iki sezonda da en az oraj dağılımı ise günün birinci zaman diliminde (03.00 – 11.00 UTC) olmuştur. Özellikle bu periyodun başında, atmosferik sınır tabaka içerisinde kararlı tabaka yer almaktadır. Bu kararlı tabaka, gün doğumuna kadar devam ettiği için oraj aktivitesinin daha az meydana gelmesinde etkili olmuştur. Yavuz vd. (2022), Marmara Bölgesi için yaptıkları analizlerde bu çalışma çıktıklarına benzer sonuçlar elde etmiştir. Bölge genelinde en çok oraj gözlemi 11.00 – 19.00 UTC aralığında gerçekleşmiştir.

Orajların rasat edildiği andaki meteorolojik değişkenler incelendiğinde, sıcak sezonda en fazla oraj gözlemi, hava sıcaklığının 19 – 23°C aralığında olurken, soğuk sezonda ise 12 – 14°C aralığında olmuştur. Çiy noktası sıcaklığı havanın doyma noktasına geldiği önemli bir sıcaklık değeridir. Orajların meydana geldiği andaki çiy noktası sıcaklığı, sıcak sezonda 17 – 20°C aralığı olurken, soğuk sezonda ise birçok sıcaklık değerine düzensiz bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Soğuk sezonda, orajların en fazla meydana geldiği çiy noktası sıcaklığı 11°C olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu sezonda çiy noktası sıcaklık değerlerinin 0°C ve hemen altında TS rasatları kümelenmiştir. Bu koşullarda gözlemlenen orajların kar yağışı ile birlikte (TSSN) olabileceği anlaşılmaktadır. Özdemir vd. (2017), İstanbul Atatürk Uluslararası Havalimanı için yaptıkları oraj analizinde, sıcak ve soğuk sezonlarda orajların bu çalışma çıktılarına benzer sıcaklık aralıklarında meydana getirdiğini bulmuştur. Orajların gözlemlendiği andaki bağıl nem değerleri incelendiğinde, sıcak sezonda orajlar en fazla %86 - %90 aralığında gerçekleşirken, soğuk sezonda ise %91 - %95 aralığında olmuştur. Bu fark, atmosferin su buharı tutma kapasitesinin ve sıcaklıkla doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Hava sıcaklığı arttıkça, havanın taşıyabileceği su buharı miktarı da artar ve havanın doymaya ulaşabilmesi için daha fazla su buharı gerekmektedir. Bu nedenle, sıcak sezonda orajların meydana getiren bağıl nem değerleri daha düşük olmuştur. Oraj hücreleri, bulunduğu konumda kuvvetli rüzgar hamlelerine ve rüzgarın değişik yönlerden esmesine neden olabilir. Sıcak sezonda orajların gözlemlendiği hakim rüzgar yönü kuzey-kuzeydoğu olmuştur. Bu sezondaki rüzgarlar (özellikle Temmuz ayı), Türkiye'ye kadar uzanan güçlü bir termal alçak basınç sistemi ile karakterize edilmekte ve Avrupa üzerinde nispeten yüksek basınç sistemine göre büyük bir basınç gradyan kuvveti oluşturarak, bölgede güçlü kuzeyli rüzgarlara neden olmaktadır (Arslan vd., 2020). Rüzgar şiddetlerinin 29 kt ve üzerine çıktığı gözlemlenmiştir. Kışın ise Akdeniz Havzası'nda oluşan ve gelişen alçak basınç sistemleri etkilidir. Bu alçak basınç sistemleri Türkiye'nin batısından giriş yaparken, rüzgarın öncelikle güneybatılı esmesine ve sıcaklıkların artmasına neden olur (Apostol, 2008). Soğuk sezonda orajların meydana geldiği andaki hakim rüzgar yönünün, batı ve güneybatı olarak tespit edilmesi bunun sonucu olmuştur. Rüzgar şiddeti soğuk sezonda batıdan zaman zaman kuvvetli (25 kt ve üzeri) estiği gözlemlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, orajlı günlerdeki termodinamik indeks ve atmosferik stabilite değerlerinin dağılımını gözlemlemek amacıyla, Kartal radyosonde istasyonunda günde iki kez (00.00 UTC – 12.00 UTC) yapılan atmosferik sondajlar incelenmiştir. Sıcak sezonda atmosferik kararsızlık koşulları daha fazla ön plana çıkmıştır ve indeksler oraj oluşumunu destekleyen değerler göstermiştir. Soğuk sezonda ise orajlı günlerde atmosferik kararsızlık koşulları daha zayıf olmuş, indeksler ise orajların başlangıç koşullarını sınırlı düzeyde sağlayabilmiştir. İstanbul'da meydana gelen orajları daha iyi analiz etmek için diğer havalimanlarının meteorolojik verileri de dahil edilerek daha kapsamlı analizler yapılabilir.

Teşekkür

Yazarlar, çalışmada kullanılan veriler için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Akram, T., Akter, F., Mallik, M. A. K., Tabassum, F., Hassan, S. M. Q., & Faruq, M. O. (2022). Recent climatology of thunderstorm days over Bangladesh. *Journal of Climate Studies*, 12(3), 112-130.
- All Met Sat. (2023). *İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı konum bilgileri*. 30 Nisan 2023'de <https://en.allmetsat.com/metar-taf/turkey.php?icao=LTFJ> adresinden alındı.
- Apostol, L. (2008). The Mediterranean cyclones—the role in ensuring water resources and their potential of climatic risk, in the east of Romania. *Present Environment and Sustainable Development*, 2, 143-163.
- Arslan, H., Baltacı, H., Akkoyunlu, B. O., Karanfil, S., & Tayanç, M. (2020). Wind speed variability and wind power potential over Turkey: case studies for Çanakkale and İstanbul. *Renewable Energy*, 145, 1020-1032. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.128>
- Bunkers, M. J., & Hjelmfelt, M. R. (2021). Thunderstorm downbursts: windstorms and blowdowns (Second edition). In E. Johnson & K. Miyanishi (Eds.), *Plant Disturbance Ecology*, (pp. 65-115). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818813-2.00003-4>, 2021.
- Iowa State University. (2023, 27 Şubat). *ASOS-AWOS-METAR data download*. Iowa environmental mesonet. 27 Şubat 2023'de <https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml> adresinden alındı.
- Kahraman, A. (2017, 16-19 Ekim). *Konvektif fazların evrimi: 27 Temmuz 2017 Marmara vakası* [Bildiri sunumu]. III. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu, Antalya, Türkiye.
- Kahraman, A., Ural, D., & Öno, B. (2020). Future changes in Euro-Mediterranean daytime severe thunderstorm environments based on an RCP8.5 Med-Cordex simulation. *Atmosphere*, 11(8), Article 822. <https://doi.org/10.3390/atmos11080822>
- Karan, H. (2007). *Thermodynamic and kinematic characteristics of low-level convergence zones observed by the mobile integrated profiling system* [PhD Thesis, University of Alabama]. ProQuest Dissertations and Theses. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2007PhDT.....173K/abstract>
- Ma, R., Sun, J., Yang, X. (2021). An eight-year climatology of the warm-season severe thunderstorm environments over North China. *Atmospheric Research*, 254, Article 105519. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105519>
- Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü. (2023). *Bölge Müdürlüğü Gözlem Şebekemiz*. 30 Nisan 2023'de <https://istanbul.mgm.gov.tr/istasyonlar.aspx> adresinden alındı.

- Mohr, S., Wandel, J., Lenggenhager, S., & Martins, O. (2019). Relationship between atmospheric blocking and warm-season thunderstorms over western and central Europe. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *145*(724), 3040-3056. <https://doi.org/10.1002/qj.3603>
- Özdemir, E. T., Deniz, A., Sezen, İ., Aslan, Z., & Yavuz, V. (2017). Investigation of thunderstorms over Ataturk International Airport (LTBA), Istanbul. *Mausam*, *68*(1), 175-180.
- Sharma, P., Sen B., Balling, J. R. C., Roy, S. S., & Sen Roy, S. (2023). Diurnal cycle of summer season thunderstorm activity in India. *Theoretical and Applied Climatology*, *151*(3-4), 1567-1583. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04339-3>
- Tilev-Tanriover, Ş., Kahraman, A., Kadioglu, M., & Schultz, D. M. (2015). Lightning fatalities and injuries in Turkey. *Natural Hazards and Earth System Science*, *15*(8), 1881-1888. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1881-2015>
- UCAR. (2023). *How thunderstorms form*. 28 Nisan 2023'de <https://scied.ucar.edu/learning-zone/storms/how-thunderstorms-form> adresinden alındı.
- Unal, Y. S., Toros, H., Deniz, A., & Incecik, S. (2011). Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM10 concentrations in Istanbul metropolitan area. *Atmospheric Environment*, *45*(31), 5504–5513.
- University of Wyoming. (2023). *Upper-level atmospheric charts*. 30 Nisan 2023'de <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> adresinden alındı.
- Yavuz, V., Özdemir, E. T., & Deniz, A. (2020). Nowcasting of a thunderstorm: The case study of 2 February, 2015 at Istanbul Ataturk International Airport. *Mausam*, *71*(1), 21-32.
- Yavuz, V., Özen, C., Çapraz, Ö., Özdemir, E. T., Deniz, A., Akbayır, İ., & Temur, H. (2022a). Analysing of atmospheric conditions and their effects on air quality in Istanbul using SODAR and CEILOMETER. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(11), 16213-16232. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16958-w>
- Yavuz, V., Lupo, A. R., Fox, N. I., & Deniz, A. (2022b). Statistical characteristics of sea-effect snow events over the western Black Sea. *Theoretical and Applied Climatology*, *150*, 955-968. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04213-2>
- Yavuz, V., Deniz, A., Özdemir, E. T., Karan, H., & Temiz, C. (2022c). Long-term thunderstorm analysis at airports in the Marmara Region: types and favourable atmospheric conditions. *International Journal of Global Warming*, *28*(1), 81-95. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2022.125083>
- Yavuz, V., Lupo, A. R., Fox, N. I., & Deniz, A. (2022d). A long-term analysis of thundersnow events over the Marmara Region, Turkey. *Natural Hazards*, *114*, 367-387. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05393-w>
- Yavuz, V., Özdaş, M., Lupo, A. R., Fox, N. I., & Deniz, A. (2023). Historical extreme winters of Istanbul: the factors that contributed to severe winters during the 20th and 21st centuries. *International Journal of Global Warming*, *29*(4), 350-361. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2023.130134>
- Yavuz, V. (2023). An analysis of atmospheric stability indices and parameters under air pollution conditions. *Environmental Monitoring and Assessment*, *195*, Article 934. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11556-4>