



Türkiye’de Hortumların Sinoptik Desen Sınıflamaları

Synoptic pattern classifications of tornadoes in Turkey

Sema Özen Bayraktar*^a, İhsan Çiçek^b

Makale Bilgisi

Araştırma Makalesi

DOI:
10.33688/aucbd.1358374

Makale Geçmişi:
Geliş: 11.09.2323
Kabul:23.10.2023

Anahtar Kelimeler:
Hortum
Tahmin ve analiz
Sinoptik tip
Oluk
Türkiye

Öz

Ani gelişen meteorolojik kökenli doğal afetler içerisinde yer alan hortumlar, son yıllarda Türkiye’de can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Kısa zamanda gerçekleşmeleri nedeniyle tahmin edilmeleri zordur. Hortumlu günlerin sinoptik koşullarının detaylı değerlendirildiği çalışmalarda hortumların birbirine benzeyen meteorolojik koşullarda oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle Türkiye’de etkili olan hortumların benzer desenlerini ortaya amacıyla 2000-2020 yılları arasında gerçekleşmiş hortumlar ve hortumlu günler için sinoptik desen sınıflaması yapılmıştır. Bu sınıflama asıl olarak 500 hPa seviyesinin sirkülasyon tipine ve yüzey özellikleriyle bağlantılı olarak, oluk ve sırt eksenlerinin konumu ve yönüne dayanmaktadır. Buna göre Türkiye’de 520 hortum olayı ve 408 hortumlu gün incelenerek “Keskin Oluk”, “Yayvan Oluk” ve “Kapalı Sistem” olmak üzere 3 sinoptik tipe ayrılmıştır. Keskin oluklar en fazla hortum üreten hâkim sinoptik tiptir. Türkiye’de hortum olaylarına özgü belirlenen sinoptik modelleri ve bunların tehdit seviyelerini belirlemek, tahminciler için hortum gelişimini ne zaman ve nerede arayacaklarına dair iyi bir fikir sağlar.

Article Info

Research Article

DOI:
10.33688/aucbd.1358374

Article History:
Received: 11.09.2023
Accepted: 23.10.2023

Keywords:
Tornado
Forecast and analysis
Synoptic type
Trough
Turkey

Abstract

Tornadoes, which are among the sudden natural disasters of meteorological origin, have caused loss of life and property in Turkey in recent years. They are difficult to predict because they happen in a short time. In studies where the synoptic conditions of tornado days were evaluated in detail, it was concluded that tornadoes formed under similar meteorological conditions. To reveal meteorological conditions caused tornadoes in Turkey, a synoptic pattern classification was made for tornado days, between 2000-2020. This classification is mainly based on the circulation type of the 500 hPa level and the location and direction of the trough and ridge axes in conjunction with the surface features. Accordingly, 520 tornado events and 408 tornado days in Turkey were examined and divided into 3 synoptic types: "Sharp Trough", "Spanning Trough" and "Closed System". Sharp troughs are the dominant synoptic type that produces the most tornadoes. Identifying synoptic models and their threat levels specific to tornado events in Turkey provides forecasters with a good idea of when and where to look for tornado development.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: semaozen@aku.edu.tr

^a Afyon Kocatepe Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-0239-3982>

^b Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ankara, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-9000-2805>

1. Giriş

Hortumlar, dar bir alanda gerçekleşen ve ömürleri birkaç dakika ile sınırlı olan şiddetli hava olaylarından bir tanesidir. Şiddetli hava olayları da en temelde orta ölçekli dinamiklere ve etkileşimlere bağlıdır. Türkiye'yi en fazla etkileyen sistemlerden Orta ve Doğu Akdeniz üzerinden gelen siklonlar, ülkemizde konvektif fırtınalarla birlikte iri taneli dolu, hortum gibi şiddetli hava olaylarının gelişmesine neden olmaktadır (Kahraman, 2021:133). “Twister” veya “siklon” olarak adlandırılan hortumlar, alçak basınç merkezi etrafında hızla dönen hava sütunudur. Bu hava sütununun dönme hareketi kümülönimbüs bulutundan ya yere uzanan huni bulutu ya da dönen toz ve enkaz bulutu olarak görülür (Ahrens ve Samson, 2011). Bununla birlikte hortumlar, siklonlara bağlı hızla ilerleyen soğuk cephelerin önünde, güneybatılı rüzgarların denetiminde, sıcak ve soğuk hava kütlelerinin karşılaştığı kararsızlık kuşağı boyunca bir de nem oranı yüksek ve kararsız sıcak havanın içinde oluşabilmektedir (Türkeş, 2021:98). Türkiye’de son yıllarda hortum gibi şiddetli hava olaylarının hem can kayıplarına hem de önemli ekonomik kayıplara sebep olması bu olaylara farkındalığı artırmaktadır. Ancak Türkiye’de hortum sadece günümüzde görülen bir olay değildir. Kahraman ve Markowski (2014)’nin Gilbert, (1823) tarihli yayınına göre yaptıkları saptamada, hortumlara dair en eski kayıt 1818 yılının aralık ayı başlarında Çeşme’de gerçekleşmiş bir hortuma aittir. Türkiye’nin tamamında hortum oluşabiliyor olsa da kıyılar oluşum koşulları açısından daha elverişlidir. Bununla birlikte ülkemizde gerçekleşmiş hortumların mekansal ve mevsimsel dağılışı deseni bulunmaktadır. Bu dağılışı desine göre hortumlar, çoğunlukla bölgeleri etkileyen siklonlara bağlı olarak Akdeniz ve Ege kıyılarında kış mevsiminde ocak ayında; Karadeniz kıyısı boyunca ise yaz mevsiminde temmuz ayında, sonbahar mevsiminde eylül ayında oluşurken iç kesimlerde geç ilkbahar ve erken yaz aylarında meydana gelirler (Özen Bayraktar ve Çiçek, 2022).

Dar alanlarda kısa sürede gerçekleşmeleri sebebiyle önceden tahmin edilmesi zor olan hortumlar, konut, tarla ve seraların bulunduğu alanlarda oluştuklarında ciddi can ve mal kayıplarına neden olurlar. Bu kayıpları en aza indirmek, tahmin tutarlılığının artırılmasına bağlıdır. Hortumların gerçekleştiği günlerdeki sinoptik koşulların analizlerinin yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır (Canpolat vd., 2021; Coşkun ve Aksoy, 2007; Kocatürk, 2012; Koç ve Ünlüler, 2017; Kolay vd., 2020; Yurtseven, 2013). Diğer taraftan çeşitli çalışmalarda, hortum oluşturabilen atmosferik süreçler, uzun vadede sinoptik haritalarda incelenmiş ve hortumların çeşitli sinoptik durumlarda meydana geldiği sonucuna ulaşılmıştır. Örneğin Flocas ve Karacostas (1996), Ege Denizi’nde gelişen siklojenizin yapısı, davranışı ve sinoptik özelliklerini araştırdığı çalışmada; Avrupa Meteoroloji Bülteni’nden alınan 15 yıla ait (1976-1990) 00.00 ve 12.00 UTC’de kaydedilmiş 850, 700, 500 ve 300 hPa haritaları incelenmiş ve Ege Denizi’ndeki siklojeniz vakaları; uzun dalga oluşu (LW), güneybatı akışlı (SW), kuzeybatı akışlı (NW), zonal akış (ZONAL), kapalı sistem (CLOSE) ve cut off (kopmuş) sistem (CUT) şeklinde 6 kategoriye ayrılmıştır. Ayrıca bu çalışma, sinoptik kategorizasyon çalışmaları bakımından ilkler arasında sayılabilir. Nitekim aşırı dolu, hortum gibi hava olaylarının sinoptik değerlendirmelerinin yapıldığı çalışmalarda da bu sınıflama kullanılmıştır (Mihajlović vd., 2016; Renko vd., 2016; Sioutas ve Flocas, 2003; Sioutas ve Keul, 2007; Sioutas, 2003; Sioutas, 2011). Bunlara ek olarak Rauhala vd., (2012), Finlandiya’da 1948–2007 yılları arasında gerçekleşmiş 184 hortumlu gün için 300 hPa, 500 hPa, 850 hPa ve yüzey haritaları manuel olarak incelemiş, bu veriler

ile birlikte bileşik sinoptik haritalar üretilmiştir. Buna göre de A, B, C, D sinoptik patern olmak üzere dört farklı sınıfa ayrılmıştır. A sınıfı sinoptik patern: Bileşik sinoptik haritaya göre Finlandiya'nın kuzeybatısında bir oluk sistemi bulunur. Ayrıca ülkenin güneybatısında, batı-güneybatı yönünden gelen jet rüzgarları bulunur ve hortumlar bu bölgede gerçekleşir. B sınıfı sinoptik patern: Haritada ülkenin güneybatısında yüzeyde güçlü bir alçak basınç alanı bulunurken jet rüzgarları güneydoğu-kuzeybatı yönelimli etkilidir. C sınıfı sinoptik patern: Haritada ülkenin batısında bir oluk sistemi bulunurken ülkenin kuzeyinde batı-güneybatı yönünden gelen jet rüzgarları etkilidir. Hortumlar bu jet rüzgarlarının batısında gerçekleşmektedir. D sınıfı sinoptik patern: Haritada A grubu ile benzerdir ancak batıda oluk sistemi yoktur ve hortumlar daha çok yüzeydeki alçak merkez yakınında oluşurlar. Kahraman (2021), çalışmasında 1979-2014 yılları arasında gerçekleşmiş süper hücrelere bağlı gelişen hortumlar ve çok büyük dolu vakalarının sinoptik ortamlarına odaklanmıştır. Bunun yanı sıra Türkiye’yi etkileyen siklon yolları belirlenmiştir. Çalışmadaki analiz, her bir mezosiklonik hortum günü ve her çok büyük dolu günü için yapılmıştır. Buna göre altı sinoptik hava evresi kategorisi; üst seviye alçaklar (ULL), üst seviye olukları (ULT), Orta Akdeniz siklonları (CYMDC), Doğu Akdeniz siklonları (CYMDE), Kuzey Afrika kökenli veya kuru Sahra hava kütlelerini içeren siklonlar (CYAFR) olarak tanımlanmıştır.

Tüm çalışmalarda hortum faaliyeti üreten uzun dönemli sinoptik durumlar incelenerek ortak baskın özellikleri belirlenmiş ve kategorize edilmiştir. Bu kategorizasyon, günümüzde gelişmiş analiz ve araştırma araçları sayesinde hortum tahmin tutarlılığını artırarak oluşabilecek zararı en aza indirecektir. Bu doğrultuda çalışmada Türkiye’de 2000-2020 yılları arasında gerçekleşmiş hortumlar ve hortumlu günlere dair meteorolojik haritaların çözümlenmesi ile bir sinoptik tip sınıflaması yaparak hortum tahmin tutarlılığının artırılması amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

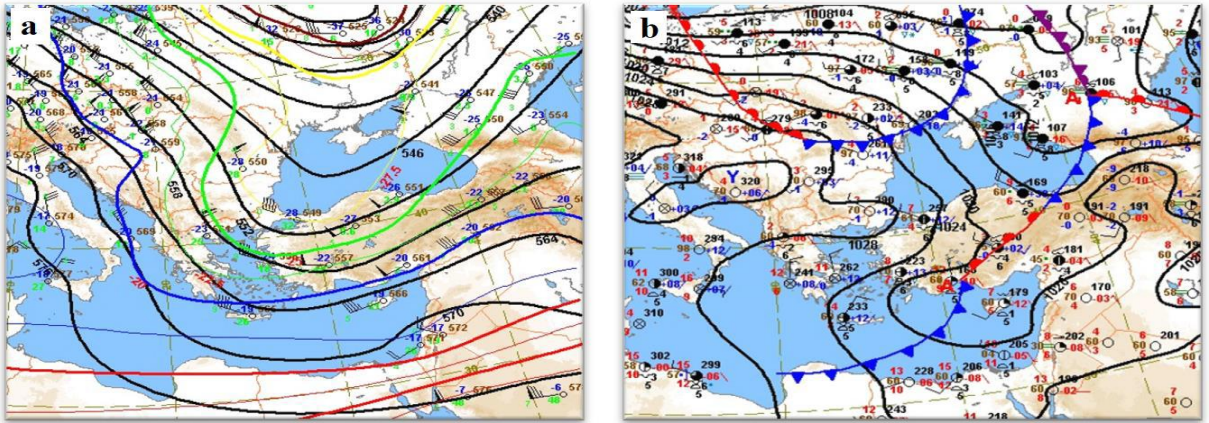
Aşırı hava olaylarından biri olan hortumlar ile ilgili çalışmalarda genellikle belirli kurum ve kuruluşlardan alınan ikincil veriler kullanılmaktadır. Çalışmalardaki en büyük sınırlılık veri setlerinde süreklilik durumudur. Uzun vadede öngörüler yapabilmek adına verilerin zaman aralığı ve sürekliliği önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada; Türkiye’de 2000-2020 yılları arasında gerçekleşmiş hortum verilerine, Avrupa Şiddetli Fırtına Laboratuvarı (ESSL) desteğiyle birlikte tüm Akdeniz ve Avrupa ülkeleri için topladığı ve doğrulamasını yaptığı veri tabanı olan “Avrupa Şiddetli Hava Veri Tabanı (European Severe Weather Database – ESWD eswd.eu/)” dan ulaşılmıştır. 21 yıllık döneme ait bulunan 562 veri kaydı manuel olarak düzenlenmiştir. İçerisinde tekrar eden gün ve saatler kontrol edilmiş, Google Earth ile koordinat sağlamaları yapılmıştır. Yapılan kontroller ve sağlama sonucunda 2000-2020 yılları arasında Türkiye’de toplam 520 hortum olayı kullanılabilir olarak değerlendirilmiş olup, 42 hortum ise birden fazla tekrarlanma nedeniyle değerlendirme dışı tutulmuştur. Çalışmada veri seti bu 520 hortum olayından oluşmaktadır.

Çalışmanın amacına uygun olarak hortumların gelişimlerinden sorumlu koşulların belirlenmesi için, hortumlu günlerde hüküm süren sinoptik şartların detaylı incelenmesi gerekmektedir. Bu süreç Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)’den alınan hortum günleri ve olay zamanına en yakın saatlere ait meteorolojik verilerin (eş jeopotansiyel yükseklik haritaları 850, 700,

500 ve 300 hPa; uydu ve radar görüntüleri, yer haritaları) incelenip ayıklanması daha sonra kategorize edilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Bununla birlikte bu sinoptik kategorizasyon, asıl olarak 500 hPa seviyesinin sirkülasyon tipine ve yüzey özellikleriyle bağlantılı olarak oluk ve sırt eksenlerinin konumu ve yönüne dayanmaktadır. 500 hPa eş jeopotansiyel yükseklik haritalarında analiz edilen oluklar önemlidir; çünkü oluklar genellikle soğuk ve yağışlı hava ile karakterize edilirler. Yani oluk eksenini ve yönünü belirlemek, özellikle de ana oluk önlerini belirlemek konvektif aktivite tahmini yapmayı kolaylaştırır. Buna göre Türkiye’de 2000-2020 yılları arasında gerçekleşmiş 520 hortum olayı ve 408 hortumlu gün incelenerek bir sinoptik sınıflama yapılmıştır. “Keskin Oluk”, “Yayvan Oluk” ve “Kapalı Sistem” olmak üzere 3 sinoptik tipe ayrılmıştır. Daha sonra her sinoptik tipe dair bir olay çalışması, sinoptik haritalarla detaylı şekilde incelenmiştir.

2.1. Sinoptik Tipler

(1) Keskin Oluk: 500 hPa eş jeopotansiyel yükseklik haritasında Şekil 1.’de görüldüğü üzere konturların “V” şeklini aldığı oluklar “Keskin Oluk” kategorisinde sınıflandırılmıştır. Bu olukların önlerinde güneybatılı, arkalarında kuzeybatılı tam üzerinde ise batılı rüzgâr akışları vardır. Bu oluklar önünde soğuk, gerisinde sıcak adveksiyon bulunması nedeniyle adveksiyonlarla soğuk havada hareket edeceği için çok hızlı hareket ederler. Olukların önünde güneybatılı akışlar olması nedeniyle oluk hattının önünde dikine hareket vardır bu da konvektif yapının gelişiminin hızlandırır. Yer haritasında gözlenen cephe ve oluk arası mesafenin dar olması nedeniyle cephe eğimi dikleşir ve dikey rüzgâr hızı artar, bu durum ani hava değişimlerine neden olur (Şekil 1b). Bununla birlikte keskin oluklara bağlı gelişen soğuk cephe önünde ani basınç düşüşü, cephe gerisinde ani basınç yükselişi gerçekleşir. Bu durum, sıcak havanın soğuk hava tarafından hızla yükselmeye zorlanması ve yerinin hızla soğuk hava tarafından doldurulması ile gerçekleşir. Bu da kısa süreli hamleli rüzgârları ortaya çıkarır. Bütün bu gelişmeler bir araya geldiklerinde hortum, dolu gibi ani ve şiddetli hava olaylarına neden olurlar.

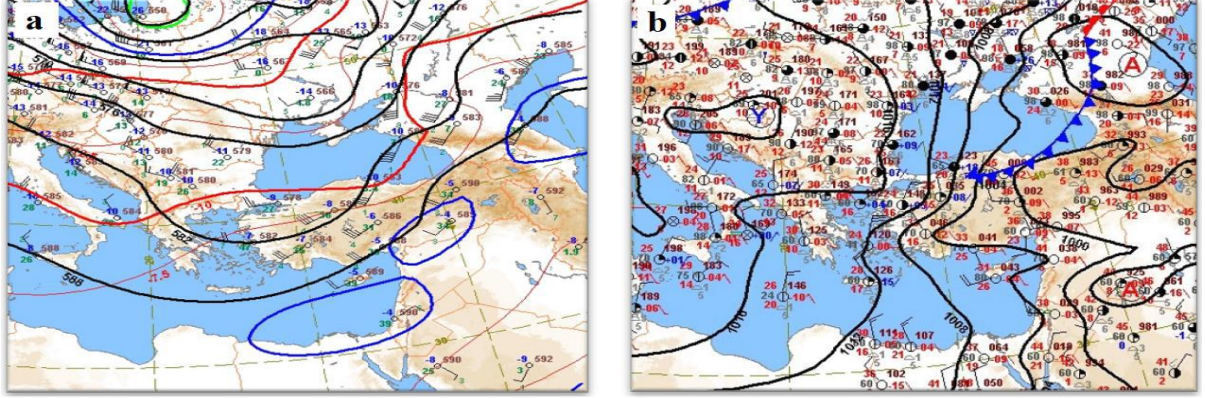


Şekil 1. (a) 500 hPa eş jeopotansiyel yükseklik haritasında keskin (V) oluk örneği ve (b) aynı güne dair yer haritası (22 Aralık 2014)

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)

(2) Yayvan Oluk: Şekil 2a.’da konturların “U” şeklini aldığı oluklar “Yayvan Oluk” kategorisinde sınıflandırılmıştır. Yayvan oluklar özellikle kuzeyde geniş yer kaplayan bir alçak merkeze bağlı oluklardır ve şeklinden de anlaşılacağı üzere oldukça geniş bir alanı etkilerler. Bu genişlik yer cephesi ile arasındaki mesafeyi de etkiler. Yani yer haritasındaki cephe, oluğun oldukça

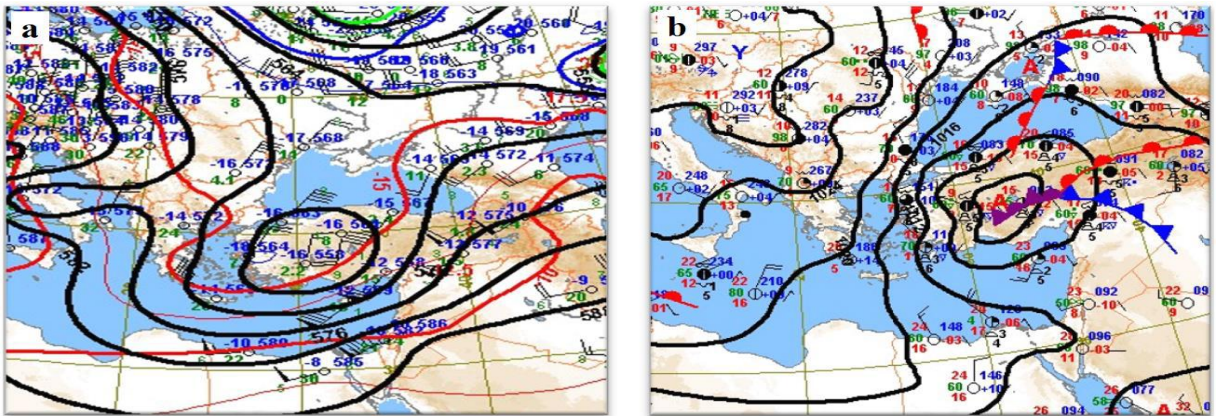
önünde bulunur (Şekil 2b). Böylece oluk ve cephe arasındaki alanda benzer hava şartları gözlenir. Bazen soğuk cephe geçişinin ardından sıcaklık tekrar yükselir ve yerin ısınmasına bağlı olarak tekrar gök gürültülü sağanak yağışlara neden olabilir. Yayvan oluklarda, keskin olukların aksine hava olayları daha yavaş gelişir ve uzun sürer. Ancak benzer şekilde hava olayları zaman zaman şiddetlenebilir.



Şekil 2. (a) 500 hPa eş jeopotansiyel yükseklik haritasında gelişmiş yayvan oluk örneği ve (b) aynı güne dair yer haritası (4 Temmuz 2017)

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)

(3) Kapalı Sistem: 500 hPa eş jeopotansiyel yükseklik haritasında en az 1 kapalı konturdan oluşması ile temsil edilir (Şekil 3). Kuzeyden sokulan oluğun Akdeniz üzerinde termal modifikasyonu ile sistemin derinleşmeye başlaması ile birlikte kuzeydeki ana olukla bağlantısı yavaş yavaş kesilir ve merkeze soğuk hava girişi olmaz. Bazen soğuk havanın hapsoldüğü durumlarda soğuk damla haline gelebilirler ve genellikle çok yavaş hareket ederler. Sistemin yavaş hareket etmesi nedeniyle etkili olduğu bölgede yağışlı gün sayısı artar. Üst atmosferin nispeten soğuk, yerin daha hızlı ısındığı ilkbahar ve sonbahar aylarında oluşan bu sistemler genellikle öğleden sonra ve akşam saatlerinde, kısa süreli gök gürültülü sağanak yağışlara neden olurlar. Rüzgâr yağışlar sırasında kısa süreli hamleli eser. Bazen kararsızlığın aşırı artmasıyla gök gürültülü sağanak yağışlarla birlikte dolu yağışı, hortum gibi şiddetli hava olayları gerçekleşebilir.

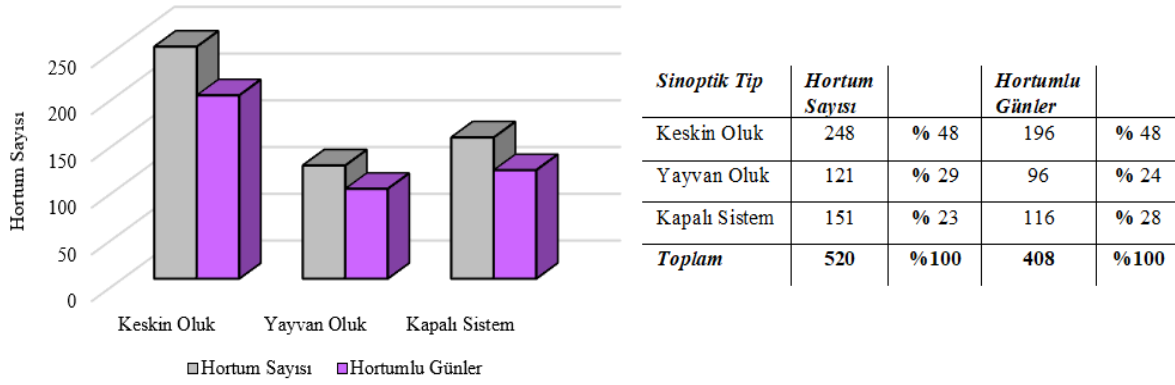


Şekil 3. (a) 500 hPa eş jeopotansiyel yükseklik haritasında gelişmiş kapalı sistem ve (b) aynı güne dair yer haritası (28 Eylül 2014)

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)

3. Bulgular

Türkiye’de 2000-2020 yılları arasında 520 hortum olayı ve 408 hortumlu gün gerçekleşmiştir. Yapılan sinoptik tip sınıflamasına göre; kısa sürede gelişip hızlı hareket ederek kuvvetli rüzgâr makaslaması ile birlikte ani ve şiddetli hava olaylarına neden olan sistem ile karakterize edilen keskin oluklar, Türkiye’de toplam 520 hortum olayınının 248’inde, 408 hortumlu günün 196 gününde etkili olmuştur. Yani hem hortum sayısı hem de hortumlu günlerin % 48’ini oluşturarak en fazla hortum üreten hâkim sinoptik tiptir (Şekil 4). Yayvan oluklar, keskin oluklara nispeten daha yavaş hareket eden ve geniş alanları etkileyen oluk sistemleridir. Bununla beraber hortum sayılarının (121) %23, hortum günlerinin (96) de %24’ünde ortaya çıkan ve en az hortum üreten sistemdir. Kapalı sistem ise 500 hPa’da oluk içerisinde en az bir kapalı konturun varlığı ile karakterize edilir ve gerçekleşen 151 hortum sayısı ile % 29’u, 116 hortumlu günün ise %28’inden sorumlu olan sistem sık görülen ikinci tiptir. Bunların yanı sıra keskin ve yayvan oluk günlerinde 1.2 tane hortum oluşurken, kapalı sistemin etkili olduğu günlerde 1.3 hortum olayı gerçekleşmiştir. Buna göre kapalı sistemler günlük daha fazla hortum üretirler.



Şekil 4. Hortum sayısı ve hortumlu günlerin sinoptik tiplere göre dağılışı

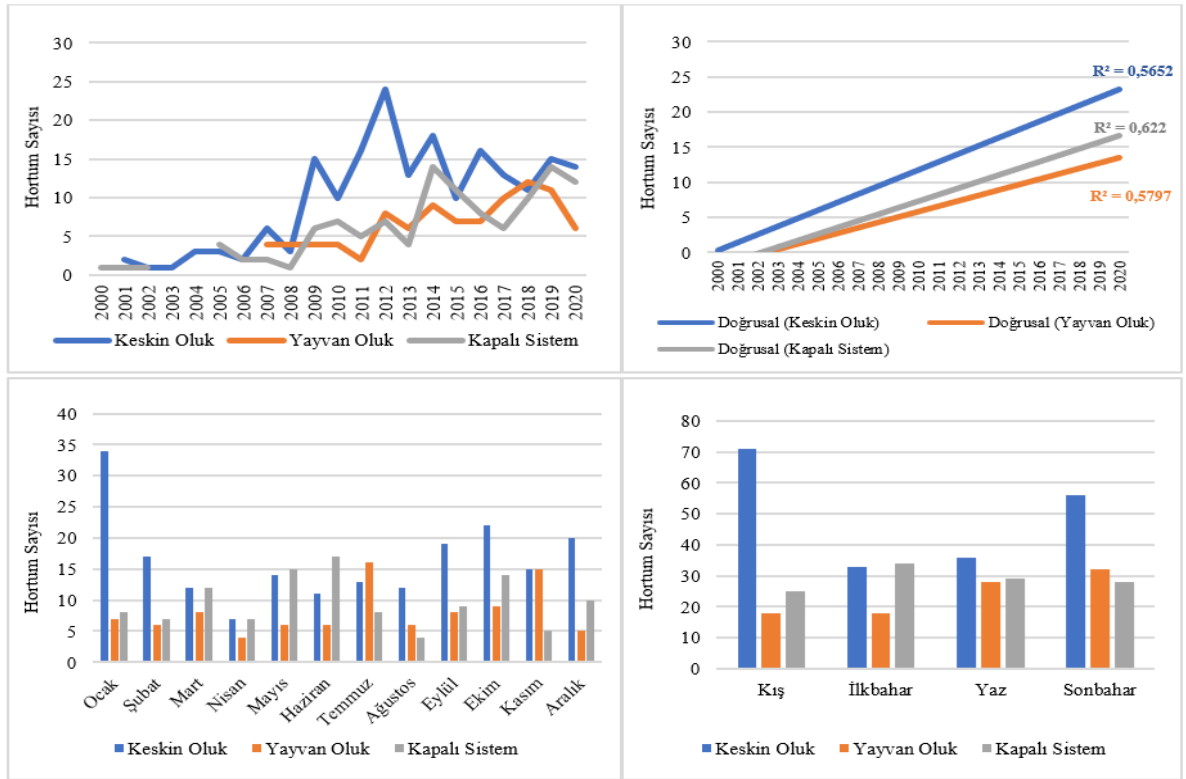
Hortum hadiselerinin zamansal ve coğrafi dağılımlarının belirlenmesi, onları oluşturan koşulların anlaşılması, tahmin edilebilmeleri için gereklidir.

3.1. Zamansal Dağılışı

Hortum verilerinin yıllar içerisinde dağılımına eş değer olarak, 2008 yılından itibaren hortum sayılarının artmasıyla birlikte sinoptik tipler için zamansal bir değişimden bahsetmek daha anlamlıdır. Buna göre yıllar içerisinde kesintisiz olarak gerçekleşmiş keskin oluklar, 2008 yılından 2014 yılına kadar en yoğun görülen sinoptik tiptir. Özellikle 2012 yılında gerçekleşmiş 46 hortum olayınının 24’ünden sorumludur. Bu zirve yıldan sonra sistemin etkinliği genel olarak azalma eğilimindedir. Bu tip oluklar en çok sonbahar ve kış aylarında aktif iken ilkbahar ve yaz mevsimlerinde zayıflar dolayısıyla sayıları azalmaktadır. Keskin oluklar en fazla sayıda etkili olmuş olsa da belirleyicilik katsayısı 2012 yılı sonrası azalma eğilimi nedeniyle 0,56’dır (Şekil 5). Bu katsayı diğer olukların belirleyicilik katsayılarına göre düşüktür.

Yayvan oluklar, 2011 yılından 2018 yılına kadar genel bir artış gösterirken bu yıldan itibaren sayıları azalmaya başlamıştır. Bununla birlikte yayvan oluklar 2018 yılında en fazla sayıda (12) gerçekleşmişken 2020 yılında diğer sistemlere nispeten düşük sayıda gerçekleşmiştir. Özellikle aylar içerisinde en fazla temmuz ve kasım aylarında etkili olduğundan mevsimlere yansımaları da benzer şekildedir. Yani en çok yaz ve sonbahar mevsimlerinde sayıları artar. Ayrıca yayvan oluklar için de belirleyicilik katsayısı değeri 0,57’dir (Şekil 5).

Kapalı sistem de 2008 yılından itibaren genel eğilim artış yönündedir. 2014 ve 2018 yıllarında görülme sıklığı yüksektir. Tüm aylar içerisinde etkili olabilen sistem en çok mayıs ve haziran aylarında etkili olmuştur. Kapalı sistem için yapılan analizde belirleyicilik katsayısı değeri 0.62’dir.



Şekil 5. Türkiye’de 2000-2020 yılları arasında gerçekleşmiş hortumların sinoptik tiplere göre yıllara, aylara ve mevsimlere dağılışı

3. 2. Coğrafi Dağılışı

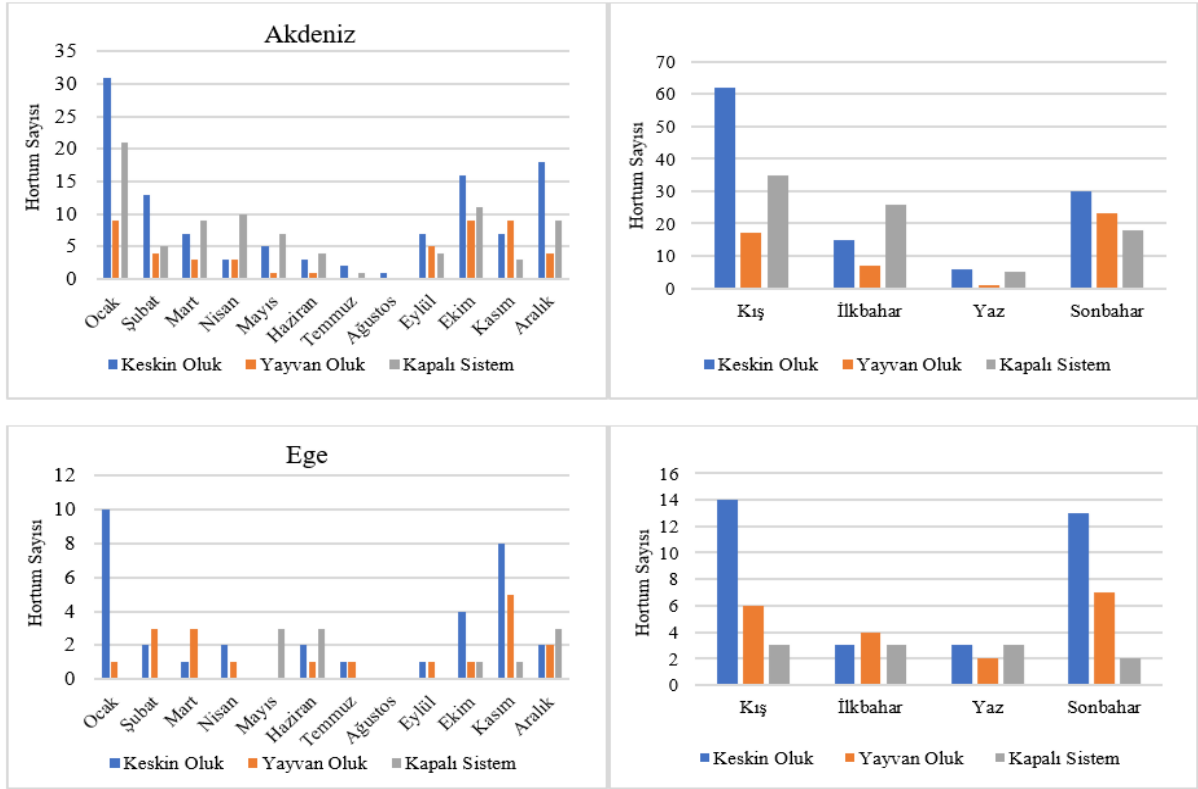
Bir orta enlem ülkesi olan Türkiye için sinoptik ölçekli hava koşullarının ana etkeni tropik dışı siklonlardır (Kahraman, 2021:129) ve ülkemizi etkileyen çeşitli ana siklon yolları bulunmaktadır (Karaca vd., 2000; Türkeş, 1998). Buna göre sistemleri oluşturan kaynak bölgeleri ve bu sistemlerin uzanış yönleri sinoptik tiplerin etki alanları hakkında fikir verecektir.

3.2.1. Akdeniz ve Ege Bölgesi

Akdeniz Bölgesi’nde, ülke genelinde gerçekleşmiş hortumların neredeyse yarısı oluşmaktadır. Buna göre bölgede gerçekleşmiş toplam 245 hortumun 113’ü keskin oluklara, 48’i yayvan oluklara ve

84'ü de kapalı sisteme bağlı gelişmiştir. Ege Bölgesi'nde de toplam 63 hortum gerçekleşmiş 33'ü keskin oluklara, 19'u yayvan oluklara ve 11'i de kapalı sisteme bağlı gelişmiştir.

Keskin oluklar ocak ayında maksimum sayıya ulaşmış ve Akdeniz Bölgesi'nde 31, Ege Bölgesi'nde 10 hortuma neden olmuştur. Bir sonraki etkili mevsim sonbahardır ancak Akdeniz Bölgesi'nde aralık (18), Ege Bölgesi'nde kasım (8) ayında en fazla gerçekleşmiştir. Yayvan oluklara bağlı gelişen hortumlar da keskin oluğa benzerdir. Ancak kapalı sistem Ege Bölgesi'nde her mevsim 2 ila 3 hortuma neden olurken Akdeniz Bölgesi'nde çoğunla kış ve ilkbahar aylarında hortuma neden olmuştur (Şekil 6).



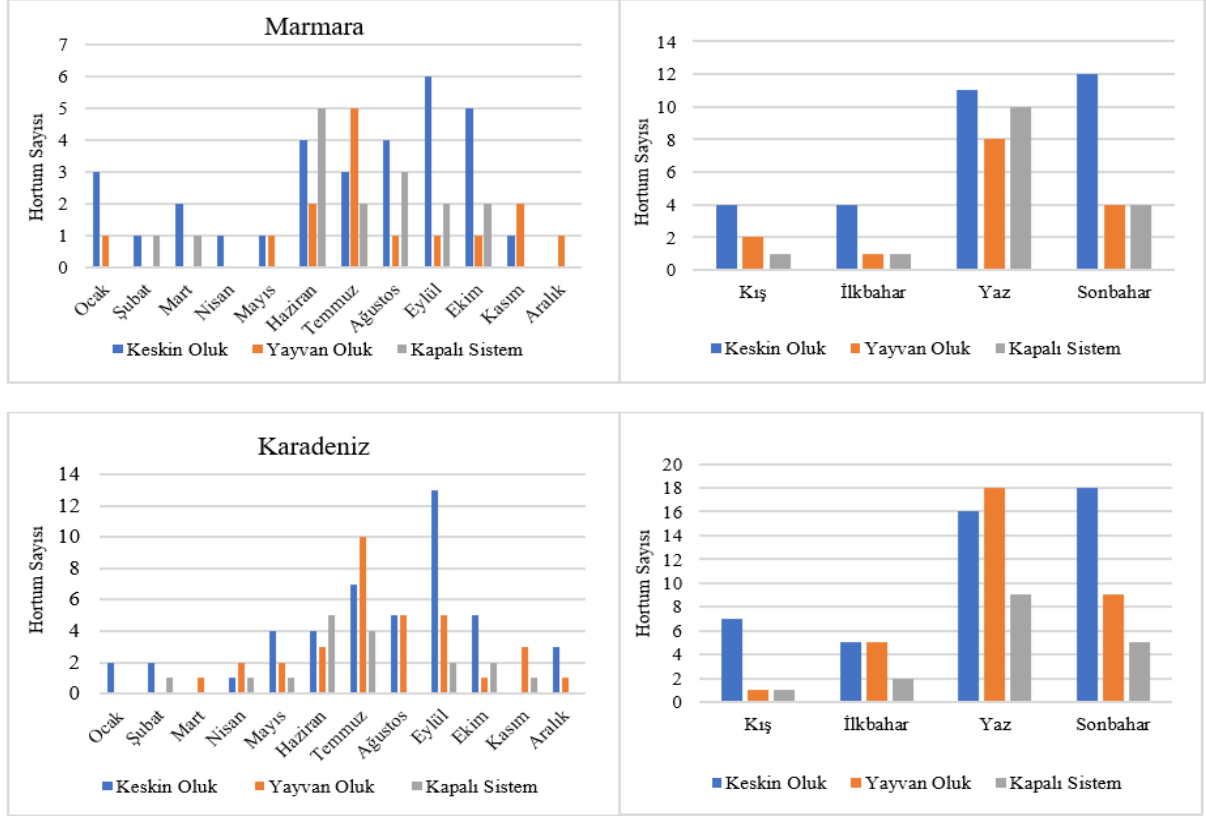
Şekil 6. Akdeniz ve Ege bölgelerinde 2000-2020 yılları arasında gerçekleşmiş hortumların sinoptik tiplere göre aylara ve mevsimlere dağılışı

3.2.2. Marmara ve Karadeniz Bölgesi

Marmara Bölgesi'nde gerçekleşmiş toplam 62 hortumun 31'i keskin oluklara, 15'i yayvan oluklara ve 16'sı de kapalı sisteme bağlı gelişmiştir. Karadeniz Bölgesi'nde ise toplam 96 hortum gerçekleşmiş 46'sı keskin oluklara, 33'ü yayvan oluklara ve 17'si de kapalı sisteme bağlı gelişmiştir.

Her iki bölgede hortumların etkili olduğu mevsimler ve onlara neden olan sistemler benzerdir. En yoğun mevsimler yaz ve sonbahardır. Marmara Bölgesi'nde keskin oluk yaz mevsiminde 11, sonbahar mevsiminde 12 hortuma neden olmuştur ve bu mevsimde en fazla eylül (6), ekim (5) aylarıdır. Karadeniz' Bölgesi'nde yaz mevsiminde 16, sonbaharda 18 hortuma neden olmuş ve bunun 13'ü eylül ayında gerçekleşmiştir. Kış ve ilk bahar mevsimlerinde sayıları düşüktür. Yayvan olukların

da mevsimlere genel dağılışı keskin oluklara benzerdir. Ancak Karadeniz Bölgesi’nde yayvan oluk, en fazla yaz mevsiminde 18 hortum oluşturmuş ve bunun 10’u temmuz ayında gerçekleşmiştir. Kapalı sistemler için de mevsim dağılışı benzerdir. Ancak Marmara Bölgesi’nde yaz mevsiminde keskin oluklardan sonra ikinci etkili sistem kapalı sistemdir. Burada toplam 10 hortuma neden olmuştur ve bunun 5’i haziran ayında gerçekleşmiştir (Şekil 7).

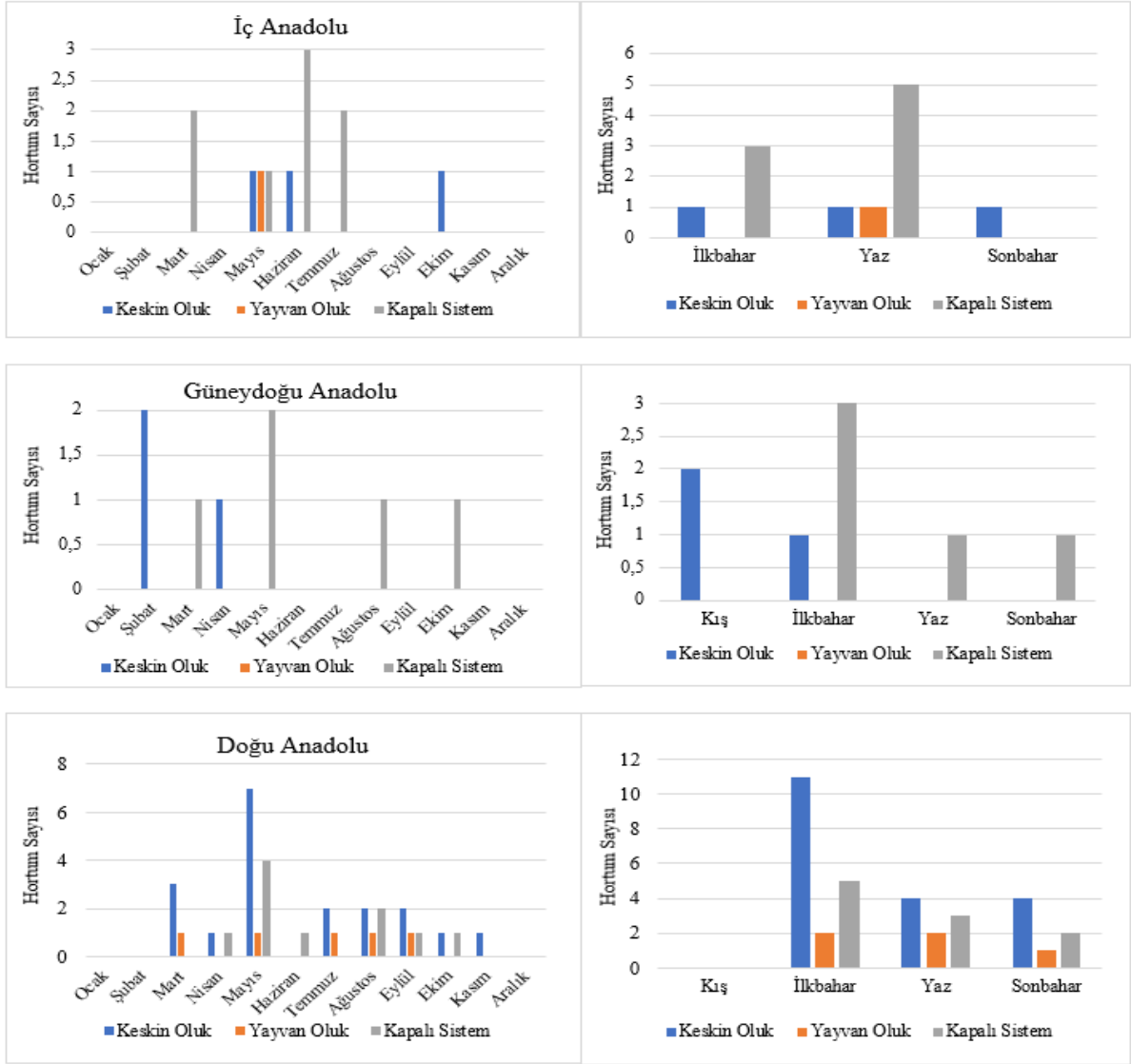


Şekil 7. Marmara ve Karadeniz bölgelerinde 2000-2020 yılları arasında gerçekleşmiş hortumların sinoptik tiplere göre aylara ve mevsimlere dağılışı

3.2.3. İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesi

Üç bölgede de hortumların en fazla görüldüğü sinoptik tip keskin oluk ve kapalı sistemdir. İç Anadolu Bölgesi’nde toplam 12 hortumun 8 ‘i kapalı sisteme, 3’ü keskin oluklara, 1’i de yayvan oluklara bağlı oluşmuştur. Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde toplam 8 hortumun; 5’i kapalı sisteme, 3’ü keskin oluklara bağlı oluşurken Doğu Anadolu Bölgesi’nde toplam 34 hortumun 19’u keskin oluklara, 5’i yayvan oluklara ve 10’u da kapalı sisteme bağlı gelişmiştir.

İç Anadolu Bölgesi’nde en fazla yaz ve ilkbahar mevsimlerinde kapalı sistemlere bağlı hortum oluşmuştur ve yazın haziran (3), ilkbaharda mart (3) ayları en yoğundur. Ayrıca kış mevsiminde hiç hortum gerçekleşmemiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde ise her mevsim hortum oluşmuştur. Kış mevsiminde keskin oluğa bağlı şubat ayında 2 hortum; kapalı sistemde ise ilkbaharda mayıs ayında 2 hortum oluşmuştur. Yükseltinin arttığı iklimin karasallaştığı Doğu Anadolu Bölgesi’nde de hortumlar üç mevsimde oluşmuştur. Keskin oluklara bağlı en fazla ilkbaharda mayıs (11) ayında, kapalı sistemde de mayıs ayında (4) hortum oluşmuştur (Şekil 8).



Şekil 8. İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgelerinde 2000-2020 yılları arasında gerçekleşmiş hortumların sinoptik tiplere göre aylara ve mevsimlere dağılışı

3.3.Olay Çalışmaları

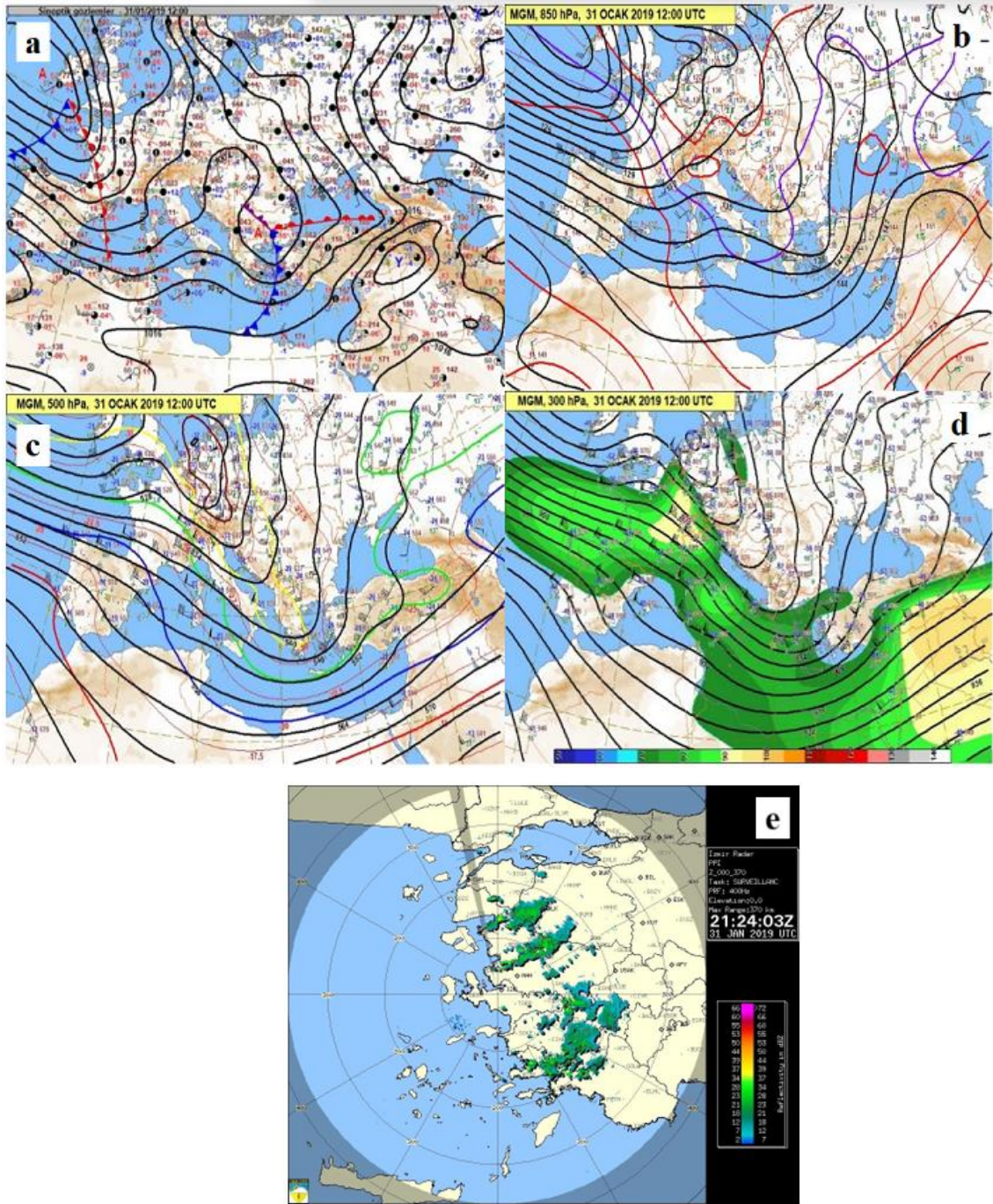
Hortum etkinliği sırasında hüküm süren sinoptik koşulları araştırmak için bu bölümde üç vaka çalışması kısaca açıklanmıştır. Seçilen vakalar, hortum sayılarının en fazla olduğu 2019 yılı içerisinde ayrıca yukarıda belirlenmiş sinoptik tiplerin baskın olarak görüldüğü aylardan seçilmiştir. Belirlenen hortum günleriyle ilişkili olarak sinoptik ortam, hortum aktivitesinin en yakın zamanına odaklanan sinoptik analiz haritaları kullanılarak tanımlanmıştır.

3.3.1. Keskin Oluk (31 Ocak 2019-Balıkesir 14.20, İzmir,15.00 Aydın 15.25)

31 Ocak 2019 günü kuvvetli bir cephesel sistem Yunanistan ve Ege Denizi üzerinden Türkiye'nin batısını etkilemiş, Balıkesir, İzmir ve Aydın illerinde şiddetli gök gürültülü sağanak yağışlarla beraber hortumlara neden olmuştur. Bugün için 12.00 UTC ye ait yer ve hava haritaları

incelendiğinde sinoptik durum: Yer haritasında Ege denizi üzerinde bir soğuk cephe, Karadeniz kıyısını paralel uzanan bir sıcak cephe bulunmaktadır. Bu nedenle Türkiye bu cephe sisteminin sıcak sektöründe kalmıştır. Türkiye’nin batı kesiminde sıcaklık 14-15 °C civarındadır 850 hPa’da kuzeybatıdan güneydoğuya uzanan keskin bir oluk sistemi bulunurken, yer haritasında ülkenin batısını bir hat boyunca etkileyen soğuk cephe gelişmiştir. (Şekil 9 a,b). 500 hPa’da kuzeybatıdan güneydoğuya uzanan keskin bir oluk gelişmiştir.

500 hPa’da Türkiye üzerindeki sıcaklık -30 ile -25 °C arasındadır. Bu kuvvetli bir sıcaklık gradyanı olduğunu göstermektedir. Oluğun önündeki güney batılı sıcak ve nemli rüzgârlar ile soğuk cephe gerisindeki kuzey batılı rüzgârlar (500 hPa eş jeopotansiyel yükseklik haritasında 50 knot esen kuzey batılı rüzgâr) arasındaki makaslama bulunmaktadır. Bu nedenle sıcak sektörün bulunduğu alan pozitif vortisite sahasıdır. 300 hPa jeopotansiyel eş yükseklik haritasında 800 knot üzerinde rüzgâr hızı bulunmaktadır (Şekil 9 c,d). Bu koşullar altında soğuk cephe önünde kuvvetli bir konveksiyon oluşmuştur. Bu durum İzmir radar görüntüsündeki bir çizgi boyunca uzanan bulut ekolarından görülmektedir. Bu kesimde 500 mm üzerinde yağış gerçekleşmiştir. Yani bu hortum olayı bir sağanak hattı boyunca gelişen kuvvetli konveksiyon sonucu oluşmuştur (Şekil 9e).

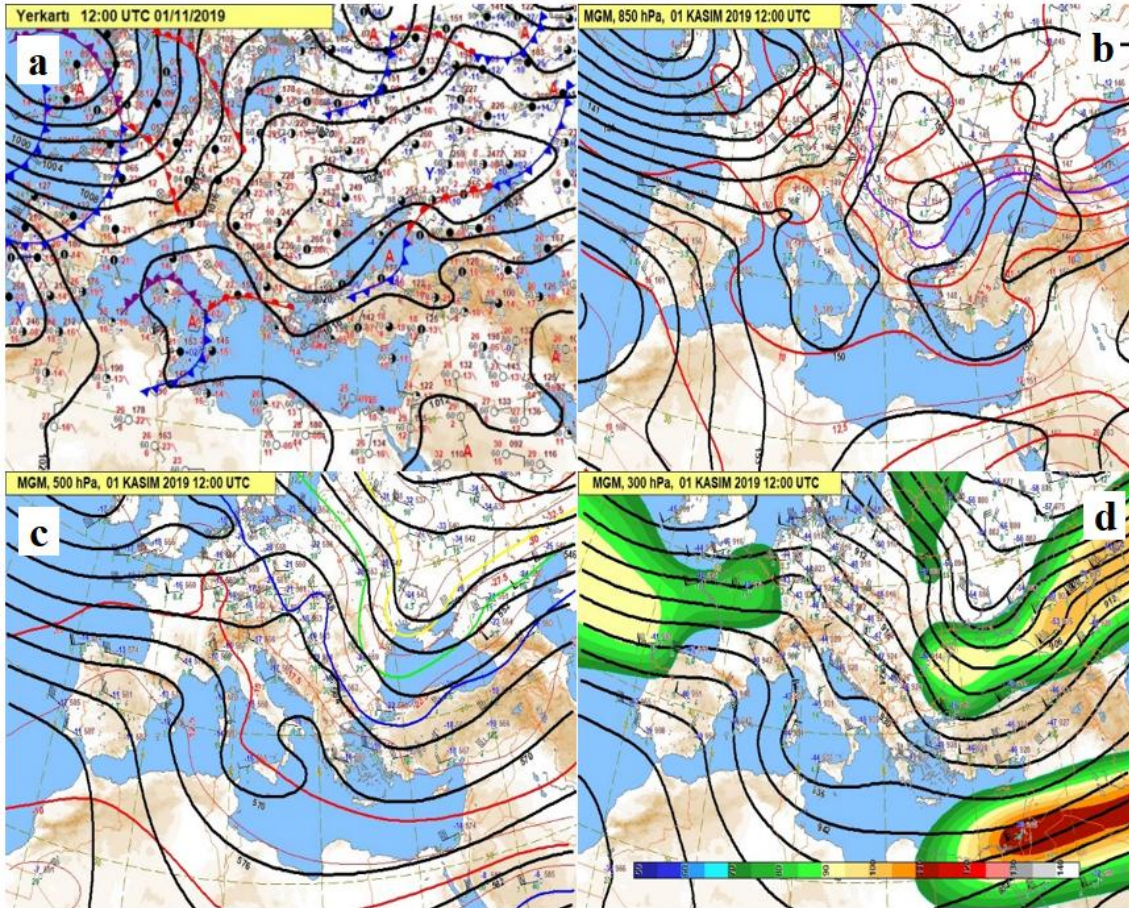


Şekil 9. 31 Ocak 2019, 12.00 UTC'nin sinoptik haritaları: (a) yer haritası, (b) 850 hPa, (c) 500 hPa, (d) 300 hPa, (e) radar görüntüsü

31 Ocak 2019 günü kış mevsimi olmasına rağmen İzmir-Aydın civarında sıcaklık 12-13 °C iken 500 hPa'da sıcaklık -30°C civarındadır. Bu şekilde yer sıcaklığı ve üst atmosfer arasındaki sıcaklık farkının yüksek olması ile kararsızlığı artırmıştır. Ayrıca yer cephesinin kuvvetli ve 500 hPa'daki oluğun derin olması konvektif aktiviteyi artırmış, bunun sonucunda Balıkesir, İzmir ve Aydın gibi birbirine yakın illerde kısa süreli ancak şiddetli gök gürültülü fırtına, sağanak yağış gibi hava olayları ile birlikte hortumlara neden olmuştur.

3.3.2. Yayvan Oluk (1 Kasım 2019- Kocaeli 15.00)

Amatör balıkçılar tarafından 1 Kasım 2019 günü saat 15.00 civarlarında Kocaeli, Kandıra'nın Sarısu mevkiinde denizde 1 adet su hortumu görüntülenmiştir. Bugün için 12.00 UTC ye ait yer ve hava haritaları incelendiğinde sinoptik durum: Yer kartı incelendiğinde yer seviyesinde zayıf bir alçak basınç ve ona bağlı cephe sistemleri görülmektedir. Azak Denizi üzerinden Türkiye'ye uzanan soğuk cephe Samsun yakınlarından Marmara Denizi'ne doğru uzanmaktadır. Karadeniz kuzeyinde ise termik bir yüksek basınç vardır. Buradaki soğuk karasal hava kuzeyli akışlarla sıcak deniz üzerinde karasız hale gelmiştir. 850 hPa'da Balkan yarımadası üzerindeki zayıf sırt nedeniyle biri İtalya biri Türkiye üzerinde iki parça halinde görülen zayıf oluk ve oluktaki soğuk hava Türkiye üzerinde yer kartındaki soğuk cephenin oluşumuna neden olmuştur. (Şekil 10 a,b). 500 hPa'da yerde buluna yüksek basınç yerinde 700 ile 850 hPa arasında bulunan denkleşme yüzeyi üzerinde kuzeydoğu-güneybatı yönlü bir kısa dalga oluşu bulunur. Oluk gerisinde kuzey batılı, olukta batılı ve oluşun önünde güney batılı rüzgâr vardır. Oluşan rüzgâr makaslamaı oluk önünde konveksiyonu kuvvetlendirmiştir. 300 hPa seviyesinde 90 knot üzerinde esen rüzgârlar ve -46 °C'i bulan sıcaklıklar bulunmaktadır (Şekil 10 c,d).

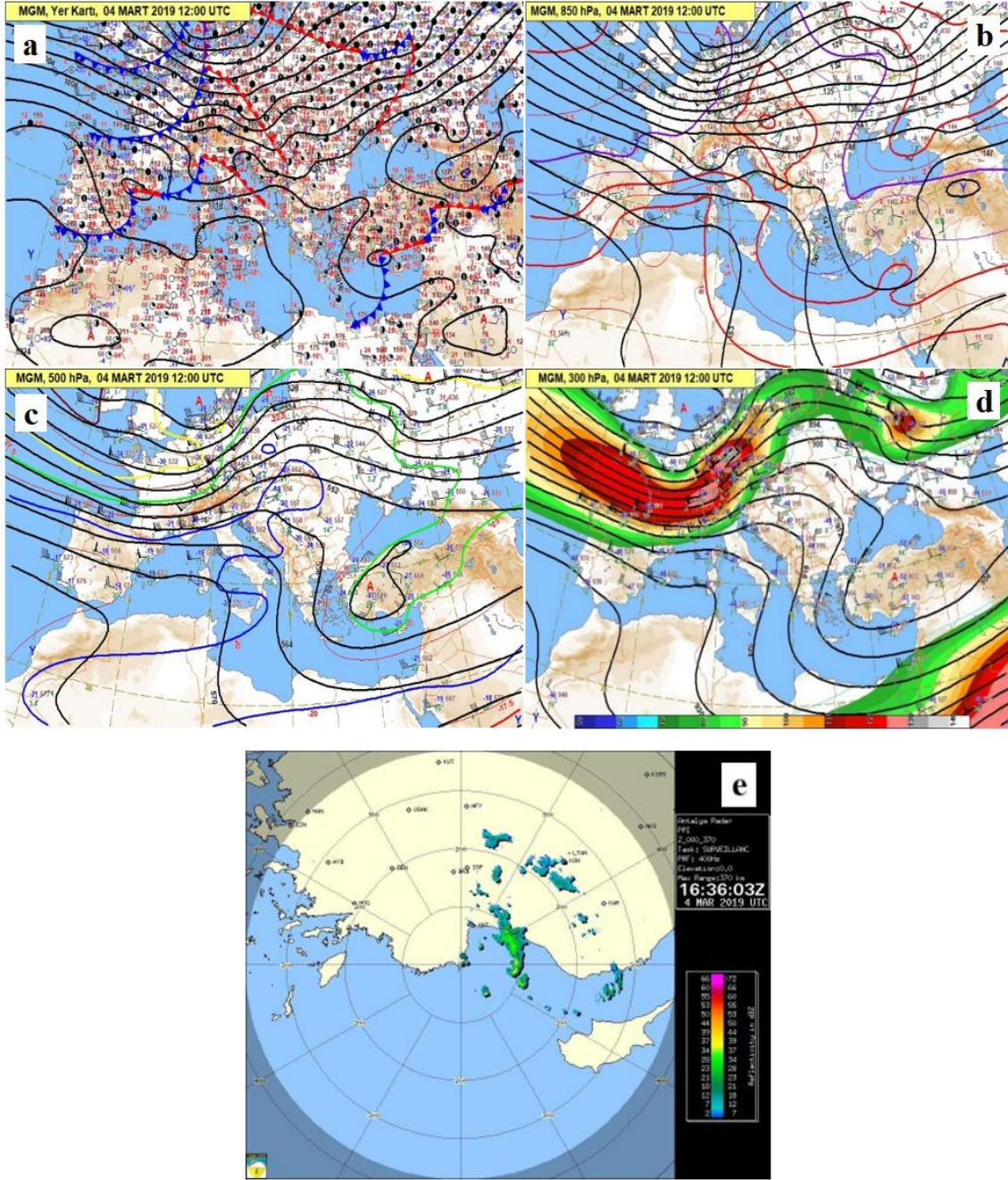


Şekil 10. 1 Kasım 2019, 12.00 UTC'nin sinoptik haritaları: (a) Yer haritası, (b) 850 hPa, (c) 500 hPa, (d) 300 hPa

1 Kasım 2019 Günü 500 hPa'da sıcaklık $-22,5^{\circ}\text{C}$, yere en yakın seviyede olan 850 hPa'da yaklaşık 2°C iken yerde 12°C civarındadır. Yani Kocaeli civarında yer ve yüksek seviye arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık 35°C 'dir. Bu sıcaklık farkı ve bu farkın artmaya devam etmesi kararsızlığı destekleyerek orajlar ve bunlara bağlı hortumların oluşumunda en etkili koşullardan biridir. Bunun yanı sıra önemli hususlardan bir diğeri de bugüne dair deniz suyu sıcaklığının (18°C) hava sıcaklığından yüksek oluşudur. Bu durum deniz üzerinden atmosfere, hızlı bir konverjans hareketi ile çok miktarda ısı ve nemin transfer edilmesine neden olarak kümülonimbus bulutlarını geliştirir. Böylece deniz üzerinde su hortumları (waterspout) oluşur.

3.3.3. Kapalı Sistem (4 Mart 2019-Antalya 16.00)

4 Mart 2019 günü saat 16.00 civarlarında Antalya, Kumluca'ya bağlı Yalı mevkiinde denizde 1 adet hortum meydana gelmiştir. Bugün için 12.00 UTC ye ait yer ve hava haritaları incelendiğinde sinoptik durum: Anadolu üzerinde, kapalı bir alçak merkez ile temsil ediliyordu. Yüzeyde, merkezi Antalya Körfezi üzerinde olan bir alçak basınç sistemi bulunmaktadır. Bu alçak basıncın sıcak cephesi kıyıya paralelken, soğuk cephesi Körfezin batı kıyılarına paralel olup kuzey güney yönlüdür. Bu sistem çok sığ bir alçak basınç merkezi halindedir. Doğu Anadolu'da ise Hazar Gölü üzerinden sokulan zayıf ve yüksek basınç sırtı bulunmaktadır. 850 hPa haritasında ise Türkiye'nin batı yarısında zayıf bir oluk, doğusunda ise zayıf bir sırt bulunmaktadır (Şekil 11a, b). 500 hPa haritasında Türkiye üzerinde 552 dam eş jeopotansiyel yükseklikte kapalı bir eğri bulunmakta, bu eğriyi de -25°C sıcaklık eğrisi kuşatmaktadır. Ege Denizi üzerinde kuvvetli bir rüzgâr yön değişimi vardır. Karadeniz'den Ege Denizi'ne doğru kuzeydoğu 40 knot hızında soğuk rüzgâr eserken, Akdeniz üzerinde batı, güneybatı yönlü rüzgâr esmektedir. Bu durum kopmuş sistemin güney ve doğu kesiminde pozitif vortisiteyi kuvvetlendirmiştir. 500 ve 300 hPa eş jeopotansiyel yükseklik haritalarında rüzgâr hızı diğer durumlara göre yavaştır (Şekil 11 c, d). Bu yaşanan kopma nedeniyle kuzeyden soğuk hava ile beslenemeyen sistem hızı zayıflamıştır. Sistemin 2-3-4 Mart tarihlerinde Ege ve Akdeniz üzerinde yavaş hareket etmesi ve nem kazanarak konvektif özellik kazanmasını sağlamıştır.



Şekil 11. 4 Mart 2019, 12.00 UTC'nin sinoptik haritaları: (a) Yer haritası, (b) 850 hPa, (c) 500 hPa, (d) 300 hPa, (e) radar görüntüsü

4 Mart 2019 günü Antalya’da 500 hPa’da sıcaklık $- 25^{\circ}\text{C}$, yere en yakın seviyede olan 850 hPa’da yaklaşık 4°C iken yerde 15°C civarındadır. Yani yer ve yüksek seviye arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık 40°C ’dir. Diğer modellere benzer şekilde Antalya’da deniz suyu sıcaklığının (18°C) hava sıcaklığından yüksek olması, kararsızlığın artmasıyla deniz üzerinde oluşan kümülönimbüs bulutları altında gelişen su hortumu oluşmuştur (Şekil 11e).

4. Tartışma ve Sonuç

Şiddetli hava olayları dünyanın pek çok yerinde can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Türkiye’de de son yıllarda yerleşim alanları ile onların yakın çevresinde gerçekleşen hortumlar, ciddi ekonomik kayıplar yanında can kayıplarına neden olmuştur. İnsanlar için bir tehdit oluşturması, bu aşırı hava olayını anlama çabasını doğurmuştur. Bu yüzden özellikle son yıllarda hortumla ilgili yapılan çalışma sayısı da artmıştır. Bu doğrultuda incelenen çalışmalar, hem hortum olaylarına hem de hortumlu günlerdeki sinoptik durumlara bakış açısını anlamak yönünden bu çalışmaya büyük katkı sağlamıştır. Ayrıca, bununla beraber hortumlu günlere dair sinoptik koşulların değerlendirilmesi ile hortumların birbirine benzeyen meteorolojik koşullarda oluştukları sonucuna ulaşılmıştır ve bu koşulların sinoptik meteorolojik analizlerle ortaya konması mümkündür. Örneğin Kolay vd., (2020), çalışmalarında yaptığı analizde 29 Kasım 2018 tarihinde Bodrum (Muğla)’da gerçekleşmiş hortum ve sel felaketinin yaşanmasında bölge üzerinden geçen oluğa bağlı sağanak hattının etkili olduğu sonucuna ulaşmıştır. Yine Canpolat vd. (2021), çalışmalarında hortumların, kış aylarında yörede soğuk cephelerde gelişen kümülonimbus bulutlarına bağlı oluştuklarını tespit etmişlerdir. Bu amaçla daha genel bir sınıflama yapabilmek adına, Türkiye’de 2000-2020 yılları arasında gerçekleşmiş 520 hortum olayı ve 408 hortumlu günün meteorolojik verileri incelenmiş “Keskin Oluk”, “Yayvan Oluk” ve “Kapalı Sistem” olmak üzere 3 sinoptik tipe ayrılmıştır. Kısa sürede gelişip hızlı hareket ederek kuvvetli rüzgâr makaslaması ile birlikte ani ve şiddetli hava olaylarına neden olan keskin oluklar en fazla hortum üreten hâkim sinoptik tiptir. Bunu 500 hPa’da oluk içerisinde en az bir kapalı konturun varlığı ile karakterize edilen kapalı sistem takip ederken, keskin oluklara nispeten yavaş hareket eden, geniş alanları etkileyen yayvan oluklar ise en az hortum üreten sistemdir. Her biri farklı özellik göstermelerinin yanı sıra ülke genelinde bir dağılım düzeni vardır. Akdeniz ve Ege bölgelerinde keskin oluklar, en çok sonbahar ve kış aylarında aktif iken ilkbahar ve yaz mevsimlerinde zayıflar, dolayısıyla bunlara bağlı oluşan hortum sayıları azalmaktadır. Akdeniz Bölgesi’nde sonbahar-kış mevsimlerinde hortum sayılarındaki artışta Akdeniz üzerinden gelen, ülkenin güney ve batısını etkileyen siklonlar çok önemlidir (Flocas vd., 2010; Kahraman, 2021; Trigo vd., 1999; Trigo vd., 2002). Ege Denizi üzerinde de siklon gelişimi sanıldığı kadar nadir değildir. Yıl içerisinde en çok ekim ayından mayıs ayına kadar olan soğuk dönemde meydana geldiği görülmektedir (Flocas ve Karacostas, 1996: 53). Tüm bunlar hortumların oluşumuna büyük katkı sağlarlar. Ayrıca vakaların çoğunluğunda sonuçlarımıza benzer şekilde Ege Denizi üzerinde keskin oluk ve kapalı bir sistem bulunmaktadır (Flocas ve Karacostas, 1996:60). Karadeniz ve Marmara bölgelerinde ise oluk sistemlerine bağlı hortumların oluştuğu en yoğun mevsimler yaz ve sonbahardır. Sistemlerin gelişimindeki en önemli faktör yazın kuzeydoğu Avrupa üzerinden, sonbaharda Balkanlar üzerinden ve gelen siklonlardır. Bunlar genellikle soğuk cephelerle birlikte gelişirler (Kahraman, 2021). Hortumlar özellikle Karadeniz Bölgesi’nde yaz mevsiminde yayvan oluklara, sonbahar mevsiminde keskin oluklara bağlı oluşurken, kuzeyden sokulan jet rüzgarları ve artan deniz suyu sıcaklığı ile gelişen hortum sayısı daha fazladır. Ayrıca artan deniz suyu sıcaklıkları ile birlikte deniz ve kıyı alanlarında hortum sayılarında artış olacağı tahmin edilmektedir (Özen Bayraktar vd., 2023). Nitekim örnek olay günlerinden 1 Kasım 2019’da gerçekleşmiş hortum olayında da o gün deniz suyu sıcaklığı, hem ortalama deniz suyu sıcaklıklarının üzerinde hem de hava sıcaklığından yüksektir. Karasal bölgelerde durum biraz daha farklıdır. İlkbahar

başlangıcı olan mart ayından itibaren hortum sayılarında artış görülür ve en çok kapalı sistemlere bağlı olarak gelişirler. Sıcaklığın artmasıyla hızla ısınan kara yüzeyleri ve soğuk üst atmosfer kararsızlığı artırarak kümülonimbus bulutlarını oluşturur. Bu bulutlara bağlı hortumlar gelişirler. Bununla birlikte yazları Akdeniz üzerinden gelen bol nemli ve sıcak hava kuzeyden inen serin hava ile karşılaştığında da hortumlara neden olmaktadır (Özen Bayraktar ve Çiçek, 2022). Ayrıca Kahraman (2021)’a göre de mart ve haziran ayları arasında, özellikle de nisan ve mayıs ayları arasında meydana gelen şiddetli hava olaylarında Kuzey Afrika kökenli ve kuru Sahra hava kütlelerini içeren siklonların (CYAFR) katkısı büyüktür. Ülkemizi etkileyen 13 CYAFR vakasının tümü ülkenin iç kesimlerinde şiddetli hava koşullarıyla sonuçlanmıştır.

Genel olarak, Türkiye’de seracılık faaliyetlerinin yaygın olarak yapıldığı kıyı kesimlerde artan hortum vakaları, bu sektöre büyük darbe vurmasının yanı sıra yerleşim yerlerini ve ulaşımı olumsuz yönde etkilemektedir. Çünkü kısa sürede ve ani gelişen hortumların tahmini zor olmasının yanı sıra engellenmesi mümkün olmayan hava olayları arasındadır. Ancak hortum oluşumuna katkı sağlayacak koşullar ve sonuçlar değerlendirildiğinde mekânsal ve zamansal bir uyum söz konusudur.

Sonuçta detaylı incelenen olay günlerinden de anlaşılacağı üzere,

- Türkiye’yi etkileyen siklonlar hortumların gerçekleşme sayılarında ve zamanlarında büyük paya sahiptir.

- 500 hPa’daki oluğun keskin, yer cephesinin kuvvetli olması konvektif aktiviteyi artırırken kısa mesafelerde şiddetli gök gürültülü fırtına, sağanak yağış gibi hava olayları ile birlikte hortumlara neden olmaktadır.

- Kapalı sistemlerde, yaşanan kopma nedeniyle kuzeyden soğuk hava ile beslenemeyen sistemin hızının zayıflamasının yanı sıra deniz üzerinde yavaş hareket etmesi, nem kazanmasını sağlar. Bu da konvektif aktiviteyi artırırken hortumlara neden olmaktadır.

- Ayrıca bazı hortumlu günlerde deniz suyu sıcaklığının hava sıcaklığından yüksek olması da oldukça önemlidir. Çünkü, bu durum deniz üzerinden atmosfere, hızlı bir konverjans hareketi ile çok miktarda ısı ve nemin transfer edilmesine neden olarak kümülonimbus bulutlarını geliştirir. Böylece deniz üzerinde su hortumları oluşur.

Son olarak, Türkiye’de hortum olaylarına özgü belirlenen sinoptik modelleri ve bunların tehdit seviyelerini belirlemek, tahminçiler için hortum gelişimini ne zaman ve nerede arayacaklarına dair iyi bir fikir sağlar. Bunun yanında hortum oluşumu için bir araya gelen meteorolojik koşulların ön görülmesi, can ve mal kayıplarının önüne geçilmesine de imkân sağlayabilir. Çalışmada sunulan sinoptik analiz, gelecekteki çalışmalar için bir temel sağlayabilir. Niceliksel ve niteliksel bir hortum veri tabanının oluşturulması zorluk olmaya devam ederken, bazı adımların atılması adına daha fazla klimatolojik araştırmaya ihtiyaç vardır.

Teşekkür ve Bilgilendirme

Bu çalışma, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Fiziki Coğrafya Ana Bilim Dalı’nda tamamlanmış “Türkiye’de Hortum Olaylarının Zamansal ve Mekânsal Analizi (2000-2020)” adlı doktora tezinden geliştirilerek üretilmiştir.



Synoptic Pattern Classifications of Tornadoes in Turkey

Sema Özen Bayraktar*^a, İhsan Çiçek^b

Submitted: 11.09.2023

Accepted: 23.10.2023

EXTENDED ABSTRACT

1. Introduction

Tornadoes are one of the severe weather events that occur in a narrow area and whose lifespan is limited to a few minutes. Severe weather events also fundamentally depend on mesoscale dynamics and interactions. Cyclones coming from the Central and Eastern Mediterranean, which are among the systems that affect Turkey the most, cause the development of severe weather events such as large-grain hail and tornadoes along with convective storms in Turkey (Kahraman, 2021:133). Tornadoes called “twisters” or “cyclones” are columns of air that rotate rapidly around the low pressure center. The rotational movement of this air column is seen from the cumulonimbus cloud as either a funnel cloud extending to the ground or a rotating cloud of dust and debris (Ahrens and Samson, 2011). However, tornadoes can form in front of rapidly advancing cold fronts due to cyclones, under the control of southwestern winds, along the instability zone where hot and cold air masses meet, and in unstable hot air with high humidity (Türkeş, 2021:98). According to Kahraman and Markowski's (2014) publication dated Gilbert (1823), the oldest record of tornadoes belongs to a tornado that took place in Çeşme in early December 1818. Although tornadoes can form throughout Turkey, the coasts are more suitable in terms of formation conditions. However, there is a spatial and seasonal distribution pattern of tornadoes that occurred in our country. According to this distribution pattern, tornadoes occur in January in the winter season on the Mediterranean and Aegean coasts, mostly due to cyclones affecting the regions; Along the Black Sea coast, they occur in July in summer and in September in autumn, while in the inland areas they occur in late spring and early summer (Özen Bayraktar and Çiçek, 2022).

There are studies analyzing the synoptic conditions on the days when tornadoes occurred (Canpolat et al., 2021; Coşkun and Aksoy, 2007; Kocatürk, 2012; Koç and Ünlüer, 2017; Kolay et al., 2020; Yurtseven, 2013). On the other hand, in various studies, atmospheric processes that can form tornadoes have been examined in long-term synoptic maps and it has been concluded that tornadoes occur in various synoptic situations. For example, Flocas and Karacostas (1996), in their study investigating the structure, behavior and synoptic characteristics of cyclogenesis developing in the

* **Corresponding Author:** semaozen@aku.edu.tr

^a Afyon Kocatepe University, Geography Department, Afyonkarahisar, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-0239-3982>

^b Ankara University, Faculty of Language, History and Geography, Geography Department, Ankara, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-9000-2805>

Aegean Sea, cyclogenesis cases were divided into 6 categories. As a matter of fact, this classification was used in studies where synoptic evaluations of weather events such as hail and tornadoes were made (Mihajlović et al., 2016; Rauhala et al., 2012; Renko et al., 2016; Sioutas and Flocas, 2003; Sioutas and Keul, 2007; Sioutas, 2003; Sioutas, 2011). In his study, Kahraman (2021) focused on the synoptic environments of tornadoes and very large hail cases that developed due to supercells that occurred between 1979 and 2014.

In all studies, long-term synoptic situations that produce tornado activity were examined and common dominant characteristics were determined and categorized. This categorization will minimize the damage that may occur by increasing the consistency of tornado forecasts thanks to today's advanced analysis and research tools. In this direction, the study aims to increase the consistency of tornado forecasts by making a synoptic type classification by analyzing meteorological maps of tornadoes and tornado days that took place in Turkey between 2000 and 2020.

2. Methodology

The tornado data used in the study, which occurred in Turkey between 2000 and 2020, was accessed from the "European Severe Weather Database (ESWD eswd.eu)". 562 data records belonging to the 21-year period were edited manually. Repeating days and times were checked, and coordinates were provided with Google Earth. As a result of the checks and verification, a total of 520 tornado events in Turkey between 2000 and 2020 were evaluated as usable, and 42 tornadoes were excluded from evaluation due to more than one repetition. The data set in the study consists of these 520 tornado events.

In order to determine the conditions responsible for the development of tornadoes in accordance with the purpose of the study, the synoptic conditions prevailing on tornado days need to be examined in detail. This process involves examining and sorting the meteorological data (equivalent geopotential height maps 850, 700, 500 and 300 hPa; satellite and radar images, ground maps) of the tornado days and hours closest to the event time, received from the Turkish State Meteorological Service (MGM), and then categorizing them. It consists of stages. However, this synoptic categorization is based primarily on the circulation type of the 500 hPa level and the location and orientation of trough and ridge axes in relation to surface features. Accordingly, a synoptic classification was made by examining 520 tornado events and 408 tornado days that took place in Turkey between 2000-2020. It is divided into 3 synoptic types: "Sharp Trough", "Spanning Trough" and "Closed System. Then, an event study of each synoptic type was examined in detail with synoptic maps.

3. Result

There were 520 tornado events and 408 tornado days in Turkey between 2000 and 2020. According to the synoptic type classification; It was effective in 248 of the 520 tornado events in Turkey and on 196 days out of 408 tornadoes. In other words, it is the dominant synoptic type that produces the most tornadoes, accounting for 48% of both the number of tornadoes and the days with tornadoes. Broad gutters are gutter systems that move slower than sharp gutters and affect large areas. However, it is the system that produces the least number of tornadoes and occurs in 23% of the

number of tornadoes (121) and 24% of the tornado days (96). The closed system is the second most common type, accounting for 29% of the 151 tornado days and 28% of the 116 tornado days.

4. Discussion

In recent years, tornadoes that have occurred in residential areas and their immediate surroundings in Turkey have caused serious economic losses as well as loss of life. That's why the number of studies on tornadoes has increased, especially in recent years. By evaluating the synoptic conditions of tornado days, it has been concluded that tornadoes occur under similar meteorological conditions, and it is possible to reveal these conditions through synoptic meteorological analyses. For example, Kolay et al., (2020), in their analysis, concluded that the shower line connected to the gutter passing over the region was effective in the tornado and flood disaster that took place in Bodrum (Muğla) on November 29, 2018. Again, Canpolat et al. (2021) found in their study that tornadoes are formed due to cumulonimbus clouds that develop in cold fronts in the region during the winter months. For this purpose, in order to make a more general classification, the meteorological data of 520 tornado events and 408 tornado days that took place in Turkey between 2000-2020 were examined and divided into 3 synoptic types: "Sharp Trough", "Spanning Trough" and "Closed System". Sharp troughs that develop in a short time and move quickly, causing sudden and severe weather events with strong wind shear, are the dominant synoptic type that produces the most tornadoes. This is followed by a closed system at 500 hPa, characterized by the presence of at least one closed contour within the groove, while spanning trough, which move relatively slowly to sharp trough and affect large areas, are the systems that produce the least tornadoes. In addition to each of them showing different characteristics, they have a distribution pattern throughout the country. While sharp troughs in the Mediterranean and Aegean regions are most active in autumn and winter, they weaken in spring and summer, so the number of tornadoes formed due to them decreases. Cyclones coming from the Mediterranean and affecting the south and west of the country are very important in the increase in the number of cyclones in the autumn-winter seasons in the Mediterranean Region (Flocas et al., 2010; Kahraman, 2021; Trigo et al., 1999; Trigo et al., 2002). Cyclone development over the Aegean Sea is not as rare as it seems. It is observed that it occurs most during the cold period from October to May during the year (Flocas and Karacostas, 1996: 53). All of these contribute greatly to the formation of tornadoes. Additionally, in the majority of cases, there is a sharp trough and a closed system over the Aegean Sea, similar to our results (Flocas and Karacostas, 1996:60). In the Black Sea and Marmara regions, the busiest seasons when tornadoes connected to gutter systems occur are summer and autumn. The most important factor in the development of the systems is the cyclones that come over northeastern Europe in summer and over the Balkans in autumn. These usually develop together with cold fronts (Kahraman, 2021). While tornadoes are formed due to wide troughs in summer and sharp troughs in autumn, especially in the Black Sea Region, the number of tornadoes that develop with jet winds coming from the north and increasing sea water temperature is higher. In addition, it is estimated that there will be an increase in the number of tornadoes in sea and coastal areas with increasing sea water temperatures (Özen Bayraktar et al., 2023). The situation is slightly different in continental regions. There is an increase in the number of tornadoes starting from March, which is the beginning of spring, and they mostly develop in closed systems. As the temperature increases, rapidly

warming land surfaces and the cold upper atmosphere increase instability and form cumulonimbus clouds. Tornadoes develop attached to these clouds. However, when the humid and hot air coming from the Mediterranean in summer meets the cool air coming down from the north, it also causes tornadoes (Özen Bayraktar and Çiçek, 2022). In addition, according to Kahraman (2021), the contribution of cyclones (CYAFR) originating from North Africa and containing dry Saharan air mass is great in the severe weather events that occur between March and June, especially between April and May. All 13 cases of CYAFR affecting our country resulted in severe weather conditions in the interior of the country.

5. Conclusions

Tornadoes are among the weather events that develop in a short time and suddenly. Hence, it is not only difficult to predict, but also impossible to prevent. However, when the conditions contribute to the formation of tornadoes and results are evaluated, it is seen that there is a spatial and temporal harmony. According to this:

- Cyclones affecting Turkey have a large share in the number and timing of tornadoes.
- While the sharp trough at 500 hPa and the strong ground front increase convective activity, it causes tornadoes along with weather events such as severe thunderstorms and heavy rain in short distances.
- In closed systems, the speed of the system, which cannot be fed with cold air from the north due to the rupture, weakens, as well as its slow movement over the sea, allowing it to gain moisture. This increases convective activity and causes tornadoes.
- It is also very important that the sea water temperature is higher than the air temperature on some tornado days. Because this situation causes cumulonimbus clouds to be transferred over the sea to the atmosphere with a rapid convergence movement, causing a large amount of heat and moisture to be transferred. Thus, waterspout are formed on the sea.

Finally, identifying synoptic patterns and their threat levels specific to tornado events in Turkey provides forecasters a good idea of when and where to look for tornado development. While establishing a quantitative and qualitative tornado database remains a challenge, more climatological research is needed to take some steps forward. Put your results in perspective by comparing to other studies or generally accepted knowledge in the field. Criticise your own method and results, for example, with respect to the simplifications made.

References/Referanslar

- Ahrens, C. D., Samson, P. (2011). *Extreme Weather and Climate, Chapter 12: Tornadoes*, Brooks/Cole, Cengage Learning, ISBN: 0495118575.
- Canpolat, E., Keserci, F., Döker, M. F. (2021). Finike ve Kumluca ovalarında yaşanan su hortumlarının oluşum süreçleri ve etkileri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (77), 19- 36. doi: 10.17211/tcd.827607
- Coşkun, M., Aksoy, B. (2007). 19 Haziran 2004 Çubuk-Sünlü (Ankara) hortum olayı. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 12 (17), 203-22. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ataunidcd/issue/2442/31153> adresinden alınmıştır.
- Flocas, H.A., Karacostas, T.S. (1996). Cyclogenesis over the Aegean Sea: identification and synoptic categories. *Meteorological Applications*, (3), 53–61. doi: 10.1002/met.5060030106

- Flocas, H. A., Simmonds, I., Kouroutzoglou, J., Keay, K., Hatzaki, M., Bricolas, V., Asimakopoulos, D. (2010). On cyclonic tracks over the Eastern Mediterranean. *Journal of Climate*, (23), 5243–5257. doi: 10.1175/2010JCLI3426.1
- Gilbert. (1823). Von Wasserhosen und Erdtromben und ihrer verwüstenden Kraft, neuere Bemerkungen (On waterspouts and tornadoes and their devastating power, newer comments). *Annalen der Physik*. (Berlin), 73, 95–110. doi: 10.1002/andp.18230730108
- Kahraman, A., Markowski, P. M. (2014). Tornado climatology of Turkey. *Monthly Weather Review*, 142 (6), 2345–2352. doi: 10.1175/MWR-D-13-00364.1
- Kahraman, A. (2021). Synoptic climatology of supercell-type tornado and very large hail days in Turkey. *Weather*, (76) 129–134. doi: doi.org/10.1002/wea.3829
- Karaca, M., Deniz, A., Tayanç, M. (2000). Cyclone track variability over Turkey in association with regional climate. *International Journal of Climatology*, (20), 1225–1236. doi: 10.1002/1097-0088(200008)20:103.3.CO;2-T
- Kocatürk, O. (2012). The great storm and tornado incident in Istanbul (19 July 1914), *International Journal of Turcologia*, 7 (13), 27–37.
- Koç, İ., Ünlüler, M. (2017). 26 Kasım 2010 günü Muğla'nın Çallı köyünde meydana gelen hortum olayının incelenmesi. III. *Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu*, Meteoroloji Genel Müdürlüğü.
- Kolay, O., Özdemir, E. T., Yetemen, Ö. (2020). Flash flood and tornado disaster in Bodrum: case study of november 29, 2018, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 5 (4), 491–497. doi: 10.35229/jaes.759162
- Mihajlović, J., Ducić, V., Burić, D. (2016). Tornadoic waterspout event in Split (Croatia) analysis of meteorological environment. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic SASA*, 66 (2), 185–202. doi:10.2298/IJGI1602185M
- Özen Bayraktar, S., Çiçek, İ. (2022). Türkiye’de hortum olayları. *Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 9 (86), 1604–1616. doi: 10.26450/jshsr.3202
- Özen Bayraktar, S., Çiçek, İ., Yılmaz, E. (2023). Türkiye’de etki alanlarına göre hortumlar. *Premium E-Journal of Social Science*, 7 (34), 1140–1151. doi: 10.5281/zenodo.8404891
- Rauhala, J., Brooks, H. E., Schultz, D. M. (2012). Tornado climatology of Finland. *Monthly Weather Review*, 140, 1446–1456. doi: 10.1175/MWR-D-11-00196.1
- Renko, T., Kuzmić, J., Šoljan, V., Mahovic, N.S. (2016). Waterspouts in the eastern Adriatic from 2001 to 2013. *Natural Hazards*, (82), 441–470. doi: 10.1007/s11069-016-2192-5
- Sioutas, M.V. (2003). Tornadoes and waterspouts in Greece. *Atmospheric Research*, 67– 68, 645–656. doi: 10.1016/S0169-8095(03)00078-4
- Sioutas, M.V. (2011). A tornado and waterspout climatology for Greece. *Atmospheric Research*, 100 (4), 344–356. doi: 10.1016/j.atmosres.2010.08.011
- Sioutas, M.V., Flocas, H.A. (2003). Hailstorms in northern Greece: Synoptic and thermodynamic environment. *Theoretical and Applied Climatology*, (75), 189–202. doi:10.1007/s00704-003-0734-8
- Sioutas, M.V., Keul A.G. (2007). Waterspouts of the Adriatic, Ionian and Aegean Sea and their meteorological environment. *Atmospheric Research*, (83), 542–557. doi: 10.1016/j.atmosres.2005.08.009
- Trigo, I.F., Bigg G.R., Davies T.D. (2002). Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean. *Monthly Weather Review*, (130), 549–569. doi: 10.1175/1520-0493(2002)130<0549:COCMIT>2.0.CO;2
- Trigo, I.F., Davies T.D., Bigg, G.R. (1999). Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region. *Journal of Climate*, (12), 1685–1696. doi: 10.1175/1520-0442(1999)012<1685:OCOCIT>2.0.CO;2
- Türkeş, M. (1998). Influence of geopotential heights, cyclone frequency and Southern oscillation on rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, (18), 649–680. doi:10.1002/(SICI)1097-0088(199805)18:6<649::AID-JOC269>3.0.CO;2-3
- Türkeş, M. (2021). Türkiye’de hortumlar artıyor mu?, *EKOİQ*, (Mart) 96-101. <https://www.researchgate.net/publication/350020864> adresinden alınmıştır.
- Yurtseven, M. (2013). “Gelişmiş-V” Yapılı Oraj Fırtına Modeli Olarak Elâzığ-Maden Hortumu. Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayınları.