



## **Şiddetli sıcak hava dalgaları: dinamik-fiziksel etkenler ve bu sıcak hava dalgalarının özellikleri**

Meral Demirtaş<sup>1\*</sup>

*18.08.2016 Geliş/Received, 28.11.2016 Kabul/Accepted*

doi: <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.297005>

### **ÖZ**

Sıcak hava dalgası (SHD) oluşumunu tetikleyen, idamesini yapan dinamik ve fiziksel etmenler incelenmiştir. Yüksek basınç sistemlerinin SHD işlemlerindeki rolünden dolayı, atmosferik bloklamanın belirlenmesi için bir metot tanımlanmıştır. SHD teşhisinde, yere ve zamana göre değişen referans sıcaklığını bularak, SHD parametrelerini hesaplayan bir metot kullanılmıştır. 2003, 2012 ve 2015 Haziran-Temmuz-Ağustos dönemlerine ait 500hPa jeopotansiyel yüksekliği, 850hPa sıcaklığı, toprak nemi ve deniz yüzeyi sıcaklıklarının iklim ortalamalarından olan sapmaları analiz edilmiştir. Bu dönemlerdeki dinamik ve fiziksel etmenler, atmosferik bloklama ve SHD bulgularıyla birlikte irdelenmiştir. Sonuçlar, SHD en çok Ege Bölgesi'nde etkili olduğunu göstermektedir. Yaz aylarında yıldan yıla görülen değişkenlikler iklim değişkenliğinin göstergesi olarak değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sıcak hava dalgaları, atmosferik bloklama, iklim değişkenliği

## **Intense heat waves: dynamical-physical factors and characteristics of these heat waves**

### **ABSTRACT**

Dynamical and physical factors that trigger and maintain heat waves (HW) were examined. Since high pressure systems play a role in HW processes, an atmospheric blocking method was introduced. A HW detection method which employs spatially and temporally changing reference temperature to compute HW parameters was used. Departures from climate averages of 500-hPa geopotential height, 850-hPa temperature, sea-surface-temperatures and soil wetness of 2003, 2012 and 2015 June-July-August were analyzed. HWs were examined together with dynamical and physical factors, atmospheric blocking and HW characteristics. Results indicate that HWs were influential over the Aegean region. Year-to-year variability in summer temperatures is considered as signs of climate variability.

**Keywords:** Heat waves, atmospheric blocking, climate variability

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Dr Meral Demirtaş

<sup>1</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü - [mdemirtas@omu.edu.tr](mailto:mdemirtas@omu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sıcak hava dalgaları; insan sağlığına, yaşam konforuna, verimliliğine etki eder, ölümcül durumlara ve ölüme, orman yangınlarına, kötü hava kalitesine, aşırı elektrik ve su tüketimine sebep olurlar [1-3]. Ayrıca, ekosisteme, kuraklaşmaya, tarımda üretim kaybına ve turizm üzerinden ekonomiye etkileri olmaktadır [4].

Yüksek etkili sıcak hava dalgaları (YESHD) artan miktar ve uzunluklarda, Avrupa'yı [5] ve ülkemizi [6] yakından etkilemektedir. Etki düzeyine göre bu sıcak hava dalgalarına göz attığımızda; 2003 ve 2010 yazlarında meydana gelen muazzam sıcak hava dalgalarının öne çıktığını görürüz. Avrupa'da gösterdiği yüksek etkisi nedeniyle 2003 yılı yazında gerçekleşen muazzam sıcak hava dalgası [7-9], 40,000 kişinin ölümüne, çok geniş orman yangınlarına, tarımda üretim kaybına, aşırı enerji tüketimine sebep olmuştur. 2010 yılında Rusya'nın batı bölgesinde ve civar ülkelerde aşırı etkili olan ve yansımaları yurdumuza kadar uzanan muazzam sıcak hava dalgası [10] ise, Rusya'da 15,000 kişinin ölümüne ve 600 orman yangınına sebep olmuştur. Bunlar kadar etkili olmasa da 2000, 2006 [11], 2007 [12], 2012 ve 2015 sıcak hava dalgaları, Avrupa'da, Akdeniz'de ve yurdumuzda etkili olmuşlardır.

Çeşitli araştırma çalışmaları [7, 13-15] önümüzdeki onarlı yıllarda sıcak hava dalgası olaylarının daha sık ve şiddetli olacağını işaret etmektedirler. Hükümetlerarası İklim Değişimi Panel'inin (*Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC*) [16] sentez raporuna göre, geçtiğimiz 1400 yıl içinde, 1983-2012 dönemi en sıcak 30 yıllık dönem olarak vurgulanmıştır. Raporda ayrıca, sıcak hava dalgalarının daha sık oluşacağı ve daha uzun süreceği, küresel ortalama yer sıcaklığının 2016-2025 döneminde, 1986-2005 dönemine göre, 0.3-0.7°C daha fazla olması beklendiği belirtilmektedir. Küresel sera gazları (KSG) üretim durumu devam ederse, çeşitli KSG seviyelerine göre yapılan iklim projeksiyon çalışmaları, küresel sıcaklığın bu yüz yılın sonunda 2.6-4.8°C kadar artacağını işaret etmektedir. KSG etkisiyle oluşabilecek sıcaklık stresi üzerine yapılan bölgesel iklim çalışmaları [14, 17], Akdeniz bölgesinin iklim sistemi içinde en fazla etki gören yerlerden olduğunu ve artan sıcaklıkları, azalan yağışları ve yıl içindeki sıcak sezon değişikliklerindeki artışı vurgulamaktadır.

Etkileri bu denli yüksek olan sıcak hava dalgalarının oluşum ve idamesinin sebepleri, dinamik ve fiziksel yönleriyle ele alındığında, ilgili süreçlerde eş zamanlı olarak etki eden ve birbirlerini pozitif yönde besleyen başlıca etmenlere ve konuda yapılan araştırmalara bakmak faydalı olacaktır:

- i. Uzun ömürlü yüksek basınç sistemleri: Sıcak hava dalgalarını tetikleyen ve idame eden en temel ve en önemli dinamik etkidir [9, 18, 19]. Uzun ömürlü yüksek basınç sistemleri atmosferdeki genel akışa etki edip, akışın önünü kapatıp, onun yönünü değiştirmesi nedeniyle "atmosferik bloklama" adı verilir [20-23]. Bu tip yüksek basınç sistemleri, buldukları bölgede, batılı akışın önünü kapatarak, gelen yeni sistemlerin daha kuzeyli ve/veya güneyli enlemlere yönelmelerine sebep olduklarından, kendi üzerlerinde buldukları bölgedeki hava koşullarına orada kaldıkları sürece doğrudan nüfuz ederler. Uzun süreli yüksek basınç sistemleri fiziksel etkileriyle, yaz aylarında sıcak hava dalgasının oluşumuna ve idamesine aşağıda belirtilen yönleriyle sebep olurlar:
  - a. Yüksek basınç sistemlerinin dinamik özellikleri arasında yer alan aşağı yönlü (inici) hareket nedeniyle, adyabatik olarak ısınma meydana gelir.
  - b. İnici hareketler ayrıca; bulut oluşumunun önüne geçer, böylece açık gökyüzü durumu oluşur ve kuru hava koşullarını destekler.
  - c. Açık gökyüzü nedeniyle, güneşten gelen kısa dalga boylu ışınımın çok büyük bir kısmı yere kadar ulaşır.
  - d. Güneşten gelen yüksek ışınımın etkisiyle, yer seviyesinde hem ısınma artar ve hem de buharlaşma ile su kaybı, bu da toprak neminin azalmasına yol açar.
  - e. Aşırı derece ısınan yer yüzeyinden olan uzun dalga boylu ışınım artar ve bu da atmosferin aşağı kesiminde (atmosferik sınır tabakada) ısı birikiminin artmasına neden olur.
  - f. Suyla kaplı alanlarda ise, bulutsuz gökyüzü nedeniyle güneşten yere ulaşan yüksek ışınım, su sıcaklıklarının artışına neden olur. Sıcaklığı artan su, zaman içinde üzerinde tesir eden yüksek basınç sistemine pozitif yönde katkıda bulunarak, onu daha da güçlendirebilir.
  - g. Sıcak bölgelerden sıcak havanın taşınması (adveksiyonu).
- ii. Atmosferik Sınır Tabaka: Atmosferin yer ile temas eden en alt kesimi olan ve atmosferik sınır tabaka (AST) denilen, bizim de içinde yaşadığımız kısım, gün içinde ısıyı toplar. Aşırı ısınan AST'nin durumu gece pek değişmeyebilir, çünkü gündüz aşırı ısınan yerden, gece yukarıya doğru uzun dalga boylu ışınım olur, bu da gece serinlemesinin önüne geçer [9, 19, 24]. Bu nedenle, ertesi sabah, güne yüksek sıcaklık ile başlanır. Birbirini sürekli olarak besleyen bu pozitif etki süreci devam ettikçe, AST hem daha sıcak

ve hem de daha derin olur. 2003 ve 2010 YESHD üzerine yapılan çalışmalarda, AST'nin 500-m'den 4-km'ye kadar çıktığı not edilmiştir [9, 19]. Bu durum, sıcak hava dalgası döneminde, hava sıcaklığının neden artarak devam ettiğini fiziksel olarak açıklar. Oldukça ısınan AST, temas halinde olduğu altındaki yüzeye tesir eder ve buharlaşmayı tetikleyerek, toprak neminin buharlaşma ile azalmasına ve tükenmesine yol açarak, toprağın kurummasına ve zamanla çatlamasına sebep olur. Bu durumun, 2003 ve 2010 YESHD dönemlerinde, sıcaklıkların rekor seviyeye ulaşmasına neden olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir [19, 25].

iii. Toprak Nemi: Toprak nemi oldukça yavaş seyirde değişir, haftalar hatta aylar sürebilir, bu nedenle de önceki ayların/mevsimlerin toprak nem kapasitesi, yaz aylarındaki hava koşullarını etkileme potansiyeline sahiptir [26, 14]. Kış ve/veya ilkbahardaki yağış azlığı, toprak nemi eksikliğine neden olur. Bunun üzerine, bir de uzun ömürlü yüksek basınç sistemlerinin sebep olduğu açık gökyüzü koşulları eklendiğinde, ısınan havanın etkisiyle, toprak nemi azalmaya ve zamanla tükenmeye başlar. Topraktaki nem kaybolduğunda, yerden olan ısı akışı artar [14] ve nem olmadığından, ona dayalı buharlaşma işleminin sağladığı serinleme de azalır [27]. Bulut oluşumu gerçekleşemez ve güneşten yere ulaşan ışınım daha da artar, bu pozitif geri besleme AST'nin daha fazla ısınmasına ve dolayısıyla günlük sıcaklığın daha da artmasına neden olur [19]. Yapılan model simülasyonları, 2003 ve 2010 YESHD esnasındaki toprak neminin sıcak hava koşullarına pozitif yöndeki etkisini göstermiştir [19, 24, 26, 28].

iv. Deniz Yüzeyi Sıcaklıkları: Deniz yüzeyi sıcaklıkları (DYS), atmosfer ve okyanus arasındaki enerji değişim sürecinde çok önemli bir role sahiptir. Aşırı DYS anormalleri (en az 30 yıllık ortalamalarından olan sapmalar), hemen üzerindeki atmosfer sıcaklığına etki ederek, enlemsel sıcaklık dağılımını değiştirebilir. Bu da kuzeyli enlemlerle orta enlemler arasında yer alan kutupsal akımın (*Polar Jet*), alışıla gelen konumundan daha kuzey enlemlere çıkmasına ve güneyli enlemlerde yer alan tropik akımların (*Subtropical Jet*) orta enlemlere kadar uzanmasına neden olur. Bunun sonucunda, ilgili yüksek basınç sistemlerinin tesir alanı genişler ve bu da akabinde DYS anormallerinin daha da artmasına yol açar. Yüksek basınç sistemi bölgede kaldığı sürece, Atlantik Okyanusu üzerinden gelebilecek daha serin atmosfer akımlarının önü kapatıldığından, Akdeniz DYS'nin serinlemesinin önüne geçilmiş olur [29]. Yüksek basınç sistemi etkisini sürdürdükçe, aşağı doğru hareketler nedeniyle ısınma ve açık gökyüzü durumu devam

eder, bu da yine güneşten gelen ışınımın günlerce devam etmesine ve DYS'nin artarak devamını sağlar. Aşırı sıcak DYS de üzerindeki atmosfer tabakasını etkilediğinden, ilgili bölgedeki yüksek basınç sisteminin güçlenmesine ve idamesine katkıda bulunur. 2003 YESHD oldukça sıcak olan Akdeniz DYS değerleri ile yakından ilgili olduğu yapılan modelleme çalışmaları göstermektedir [9, 29, 30].

Avrupa, Akdeniz ve yurdumuz üzerine yapılan çalışmalar, sıcaklıktaki genel ve bölgesel değişimlere dikkati çekmektedir. Yurdumuzda günlük sıcaklıkların artan yöndeki değişimi [31-33], batı bölgelerimizdeki sıcak hava dalgalarındaki artış trendi [6] ve ülkemizi de içine alan Akdeniz bölgesi sıcak hava dalgası araştırma çalışmaları [14, 34, 35], artan yöndeki değişime dair önemli bulgular sunmaktadır. Balkanlar'ın batısı, Türkiye'nin batısı ve Karadeniz kıyıları sıcak hava dalgası oluşum noktaları olarak saptanmış ve bunlardaki artışa vurgu yapılmıştır [34]. Yurdumuzun batı kesimlerine yönelik yapılan bir çalışmada [6], 1965-2006 dönemi incelenmiş, özellikle 1998'den itibaren bu bölgedeki sıcak hava dalgalarının sayısında ve süresinde artış olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada ayrıca, ülkemizi çevreleyen denizlerin sıcak hava dalgalarıyla olan ilişkisi de incelenmiş ve Karadeniz ile doğu Akdeniz'in deniz suyu sıcaklıklarıyla yakından ilişkili olduğu not edilmiştir.

Yukarıda değinilen çalışmaların büyük bir kısmı istasyon bazında ve istatistiksel analizlere dayanmaktadır. Bu yeni çalışma ise, atmosfer modeli analiz verisi kullanarak, grid bazında, etkili sıcak hava dalgalarını, onların oluşumunda ve idamesinde çok önemli rol oynayan dinamik ve fiziksel etmenlere, özellikle atmosferik bloklama analizini de dahil ederek irdelemeyi ve ilgili dönemlerde meydana gelen sıcak hava dalgalarının sayısı, toplam süresi, şiddeti ve etki yoğunluğu hakkında elde edilen bulguları sunmayı amaçlamaktadır.

## 2. VERİ VE METOTLAR (DATA AND METHODS)

Bu çalışmada Avrupa Orta Vade Hava Tahminler Merkezi (*European Centre for Medium-Range Forecasts-ECMWF*) tarafından hazırlanan atmosfer analiz veri seti ERA-Interim (EI) [36] kullanılmıştır. Bu veri setinden alınan meteorolojik parametreler, yatay düzlemde  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  derece sıklıkla yer almaktadır.

Sıcak hava dalgalarının oluşumunda ve idamesinde önemli rol oynayan dinamik ve fiziksel etmenlerin analizi için kullanılan bazı parametrelerin (500 hPa jeopotansiyel yüksekliği, 850 hPa seviyesindeki sıcaklık, DYS ve toprak ıslaklığı) uzun yıllar (1979-2009) ortalamasından

olan sapmaları (anomali) için ECMWF-EI veri seti kullanılmıştır. Yaz dönemi olarak Haziran-Temmuz-Ağustos (HTA) ayları göz önüne alındığından, bu aylara ait uzun yıllar ortalaması hesaplanmış ve üzerinde çalışılan yılların ilgili dönemleri ile aralarındaki farklar alınmak suretiyle, uzun yıllar ortalamalarından olan sapmalar (anomali) hesaplanmıştır.

## 2.1. İki Boyutlu Atmosferik Bloklama Teşhis Metodu (Two Dimensional Atmospheric Blocking Detection Method)

Atmosfer akımlarının önünü kapatan uzun süreli ve etkili yüksek basınç sistemlerinin objektif olarak teşhisi için çeşitli metotlar kullanılmakta ve bunlar başlıca iki grupta toplanmaktadır:

- 500-hPa basınç seviyesinin jeopotansiyel yüksekliğine dayanan metotlar [21, 23, 37]
- Potansiyel vortisiti [38, 39] parametresine dayanan metotlar [22, 40, 41]

Bu çalışmada ilk grupta yer alan 500 hPa jeopotansiyel yüksekliğine dayanan metot [21] uygulanmaktadır. Bu metot, güneyde ve kuzeyde seçilen enlemlerdeki, 500hPa jeopotansiyel yüksekliklerinin, merkezi enleme göre değişimini hesaplar ve bunlardan elde edilen sonuçlara göre, bloklamayı saptar. Metotta yer alan güney enlemindeki (*GHGS*) ve kuzey enlemindeki (*GHGN*) hesaplama Denklem (1)'de verilmektedir:

$$GHGS = \frac{Z(\lambda, \phi_c) - Z(\lambda, \phi_s)}{\phi_c - \phi_s} \quad (1)$$

$$GHGN = \frac{Z(\lambda, \phi_n) - Z(\lambda, \phi_c)}{\phi_n - \phi_c} \quad (2)$$

Burada; ele alınan boylamda ( $\lambda$ ) ve enlemden bulunan 500hPa jeopotansiyel yüksekliğini ifade etmektedir. merkezi enlemi, en yukarıdaki kuzey enlemini, en aşağıdaki güney enlemini, ise ilgili enlem ve boylam değerlerinin değişebileceği sınırları gösterir. Buna göre, Denklemler (1-2)'de yer alan bazı parametreler aşağıdaki şekilde açıklım gösterir:

$$\begin{aligned} \phi_c &= 60^\circ N + \Delta \\ \phi_n &= 80^\circ + \Delta \\ \phi_s &= 40^\circ N + \Delta \\ \Delta &= -3.0^\circ, 0^\circ, 3.0^\circ \end{aligned} \quad (3)$$

Verilen bir boylamda, ilgili günde, atmosferik bloklamanın olması aşağıdaki koşulların sağlanmasına dayanır:

$$GHGS > 0 \text{ ve } GHGN < -5 \text{ m her bir enlemden} \quad (4)$$

Süre  $\geq 4$  gün

Bu metodun iki boyutlu versiyonunda [23], *GHGS* ve *GHGN* parametreleri, Denklem (3)'te verilen kıstaslar içinde değil, tüm enlem ve boylamlar için 30°K enleminden, 70°K enlemine kadar olan aralıkta hesaplanmıştır. Denklem (4)'te belirtilen koşullar, iki boyutlu metotta da uygulanmaktadır. Atmosferik bloklamanın zaman ölçek koşulu, [21] çalışmasında olduğu gibi dört gündür. Yapılan atmosferik bloklama hesaplamalarında ECMWF-EI 500 hPa jeopotansiyel yüksekliği kullanılmıştır.

## 2.2. Sıcak Hava Dalgası Teşhis Metodu (Heat Wave Detection Method)

Öncelikli olarak vurgulanması gereken, sıcak hava dalgası olması için ille de tarihi sıcaklık rekorlarının kırılmasına gerek olmadığıdır. Zira, sadece bir tek günde birçok sıcaklık rekoru kırılabilir, yüksek sıcaklık değerleri takip eden günlerde devam etmezse, sıcak hava dalgası teşkil etmeyebilir. Sıcak hava dalgasının teşhisinde kullanılacak ölçütler konusunda, uluslararası çalışmalarda üstünde uzlaşılan kesin bir metot yoktur [13, 42]. Yapılan çalışmaların bazıları, statik bir referans sıcaklık değeri kullanırken [43, 44], ortalama maksimum sıcaklıktan 5°C daha büyük ve en az beş gün süre ile devam etmesini ve bazıları da bölgeye göre değişebilen dinamik sıcaklık değerleri için yüzdellik yöntem kullanmaktadır [6, 34, 45, 46]. Belirtilen bu metotlardan ilki her bölgenin klimatolojik (uzun yıllar ortalaması, en az 30 yıl) özellikleri aynı olmadığından uygulamalarda sorun çıkarabilmektedir. Buna yurdumuz üzerinden basit bir şekilde değinmek istersek; Ege Bölgesi ve civarında sıcaklıklar 25-35°C iken, doğu Karadeniz ve alt kesimleri daha düşük sıcaklıklar vardır, daha güney kesimlere geçildiğinde ise sıcaklıklar artar, çünkü güneşten gelen ışınımın artması nedeniyle aşağı enlemler daha fazla ısınmaktadır. Ege üzerinde kullanılan bir sıcaklık eşik değeri, Karadeniz için çok yüksek, güneydoğu Anadolu içinse düşük olabilir. Bu nedenle, çalışmada, bulunan enlem, boylama ve güne göre değişen, yüzdellik metot kullanılmaktadır. Çalışmada yer verilen nesnel ölçütler ve hesaplanılan parametreler aşağıda sunulmaktadır:

- Yere ve güne göre değişen referans sıcaklık değerinin yüzdellik metot ile tayini:

HTA dönemine ait her bir gün için, 1979-2009 dönemindeki yıllara ait 2 m seviyesindeki hava sıcaklığı, her bir nokta için, yüzde 90 seviyesine

tekbül eden en yüksek sıcaklık değeri, ilgili takvim günü (*itg*) merkeze konularak, 7 günlük bir zaman çerçevesi içinde hesaplanır. Bunu yaparken, ilgili günden üç gün öncesi ( $g-3$ ) ve üç gün sonrası ( $g+3$ ) değerleri hesaba katılarak, ilgili değer bulunur.

$$S_{referans90} = \bigcup_{y=1979}^{2009} \bigcup_{itg=g-3}^{g+3} S_{y,itg} \quad (5)$$

Burada:  $S_{referans,90}$  yüzdeleri metotta 90. seviyedeki referans maksimum sıcaklığı,  $U$  kullanılan veri setindeki sıcaklığın yıl ( $y$ ) ve ilgili takvim günü ( $itg$ ) bileşimini,  $S_{y,itg}$  ilgili yıl ve takvim günündeki sıcaklığı ifade etmektedir.

- ii. Zaman ölçütü: İncelenen noktadaki sıcaklık değerlerinin, ilgili takvim günlerine ait referans sıcaklıklarını en az 3 gün aralıksız aşması.
- iii. Sıcak hava dalgalarının sayısı: HTA dönemi içinde, (i) ve (ii)'de belirtilen koşulları sağlayan sıcak hava dalgalarının sayısıdır.
- iv. Sıcak hava dalgası dönemlerinin süresi ( $SHDDS$ ): İncelenilen HTA dönemi içinde muhtelif sayıda sıcak hava dalgası (i) ve (ii)'de belirtilen koşulları sağlamak suretiyle oluşabilir. Bunların her birisi sıcak hava dalgası dönemi olarak göz önüne alınır ve hüküm sürdükleri günler her biri için hesaplanır.
- v. Sıcak hava dalgası toplam süresi ( $SHDTS$ ): (iv)'te hesaplanan her bir sıcak hava dalgası dönemine ait günlerin toplamıdır.

$$SHDTS = \sum SHDDS \quad (6)$$

- vi. Sıcak hava dalgasının yoğunluğu: Her bir noktadaki sıcaklık değeri ile (i)'de hesaplanan referans sıcaklık değeri arasındaki farkın, ilgili sıcak hava dalgası döneminde geçen her gün için hesaplanması ve bunların toplamıdır. =

- a. Sıcak hava dalgası döneminin yoğunluğu ( $SHDDY$ ):

$$SHDTS = \sum_{n=1}^{shdds} (S_{maksimum} - S_{referans}) \quad (7)$$

- b. Toplam yoğunluk: HTA döneminde görülen  $SHDDY$  değerlerinin toplamıdır.

$$SHDTY = \sum SHDDY \quad (8)$$

- vii. Sıcak hava dalgasının şiddeti: Sıcak hava dalgasının yoğunluğunun, o sıcak hava dalgasının süresine olan oranıdır.

- a. Sıcak hava dalgası döneminin şiddeti ( $SHDDY$ ):

$$SHDDŞ = \frac{SHDDY}{SHDDS} \quad (9)$$

- b. Toplam şiddet: HTA döneminde görülen  $SHDDŞ$  değerlerinin toplamıdır.

$$SHDŞH = \sum SHDDŞ \quad (10)$$

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (CONCLUSIONS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada; Avrupa'da, Akdeniz'de ve ülkemizde etkisi görülen 2003, 2012 ve 2015 HTA dönemlerine ait sıcak hava dalgaları seçilmiş, bunların oluşumuna ve idamesine etki eden dinamik ve fiziksel faktörler, atmosferik bloklama ve gerçekleşen sıcak hava dalgalarının özellikleri analiz edilmiştir. Aşağıda her bir sıcak hava dalgası dönemine ait sonuçlar sunulmaktadır.

#### 3.1 Yaz 2003 Sıcak Hava Dalgaları (The 2003 Summer Heat Waves)

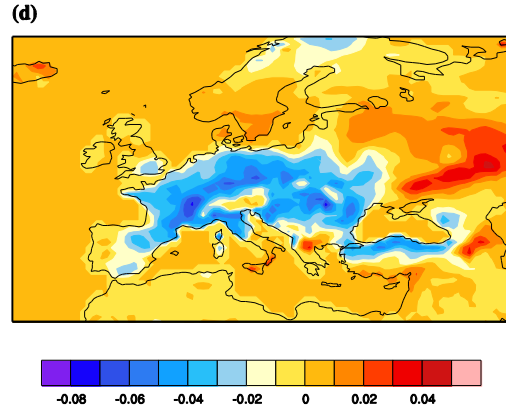
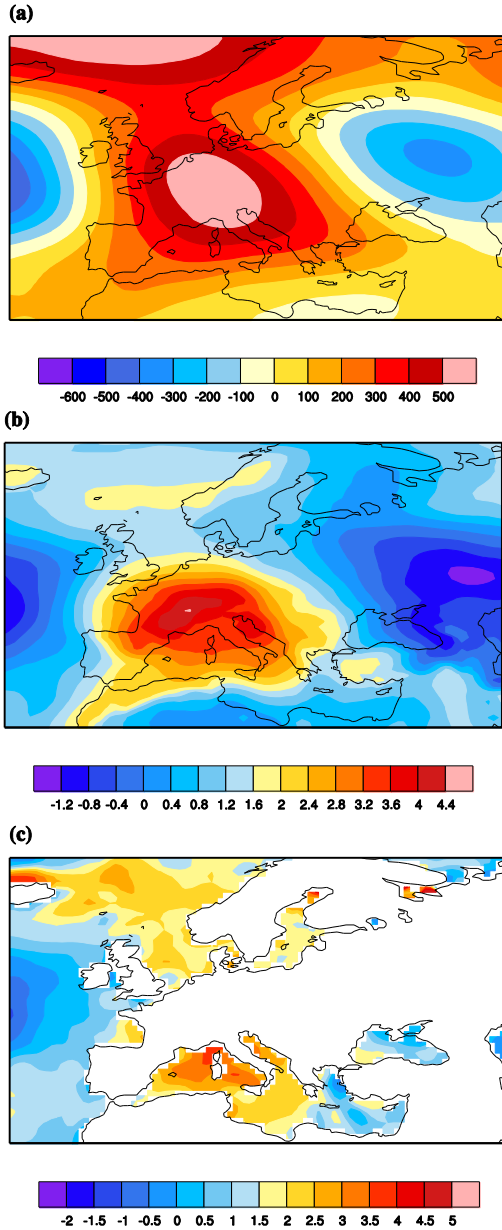
2003 YESHD, atmosfer bilimleri arasından oldukça önemli bir yere sahiptir, çünkü hem göstermiş olduğu iklim ortalamalarından olan beklenmedik muazzam sapmalar ve hem de sebebiyet vermiş olduğu toplumsal ve çevresel etkiler nedeniyle. Yapılan ayrıntılı bir değerlendirme çalışmasına [48] göre: İspanya ve Portekiz'de günlük en yüksek sıcaklıklar 40°C dereceyi, Fransa'nın güneyinde 36-38°C dereceleri, kuzeyinde ise 32-36°C dereceleri aşmıştır. Genel olarak sıcaklıklar ortalamaların 7.5-12.5°C üzerinde olmuştur. Portekiz, İspanya, İtalya ve Yunanistan'da toplamda 739,000 ha orman alanı yanmıştır. Bu denli etkili olan sıcak hava dalgasının dinamik, fiziksel ve istatistiksel çalışmaları çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmıştır [7-9, 24]. Özellikle batı ve merkez Avrupa'da çok etkili olan 2003 YESHD, ülkemizde o kadar etkili olmamış, ancak Ege kıyı kesimlerinde kendisini hissettirmiştir.

2003 HTA dönemine ait 500hPa jeopotansiyel yükseklik anomalisinin alansal dağılımına bakıldığında (Şekil 1a), Britanya da dahil olmak üzere bütün Avrupa'yı kapsadığını ve güney doğuda Marmara'ya kadar uzandığını görülmektedir ve bu sonuçlar önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir [48]. En yüksek değerlerin olduğu merkez ise Avrupa'nın ortasında yer almaktadır. Aynı bölgenin 850hPa sıcaklık anomalisine göz atıldığında (Şekil 1b), ortalamadan 4.4°C derece üzerinde olduğu, yurdumuzda ise Ege'nin güneyinde 2°C civarında olduğu dikkat çekmektedir.

Sıcak hava dalgalarının idamesinde önemli rol oynayan bir başka parametre olan DYS anomalisi göz önüne alındığında ise, kuzey batı Akdeniz'de ortalamalardan

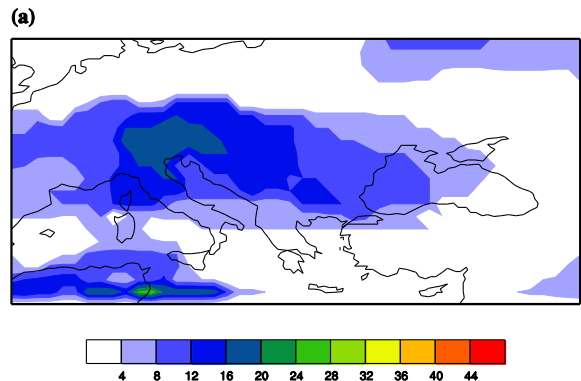
4°C derece üzerindedir (Şekil 1c), ve bu sonuçlar daha önce yapılan çalışmalara oldukça yakındır [9, 29, 30]. Yüksek DYS anomali değerleri, sıcak hava dalgasının idamesinde ve şiddetinde DYS rol oynadığına işaret etmektedir.

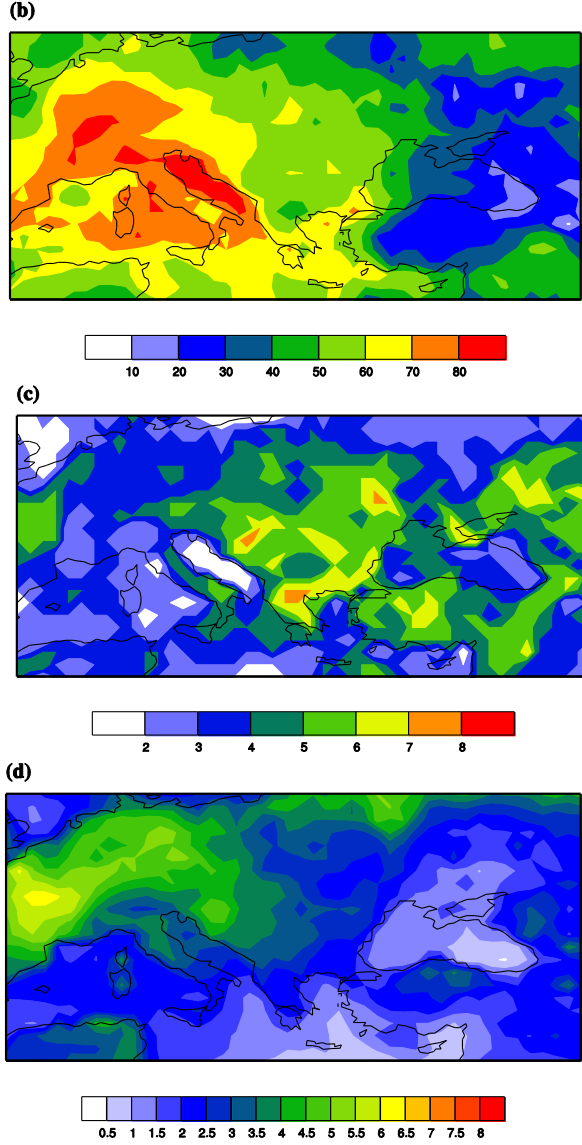
YESHD olaylarında, bir diğer önemli fiziksel etken olan toprak nemliliği durumu incelendiğinde, İspanya'nın kuzey doğusundan, yurdumuzun kuzey kesimlerine kadar uzanan oldukça geniş bir alanda kuraklık değerleri dikkat çekmektedir (Şekil 1d). Bu durum toprağın ne denli kuruduğunu ve yere yakın seviyedeki atmosferik sınır tabakayı etkileyebileceğini göstermektedir.



Şekil 1. 2003 HTA dönemi değerlerinin, uzun yıllar (1979-2009) klimatolojik ortalamalarından olan farkı (anomali): a) 500 hPa jeopotansiyel yükseklik anomali (gpm); b) 850 hPa sıcaklık anomali (°C); c) Deniz suyu sıcaklığı anomali (°C); d) Toprak ıslaklığı (m) (Figure 1. 2003 JJA anomalies (with respect to 1979-2009) for: a) 500 hPa geopotential height (in gpm); b) 850 hPa temperature (in °C); c) Sea surface temperature (in °C); d) Soil wetness (in m) (water equivalent).)

2003 HTA döneminin dinamik olarak idamesinde yüksek basınç sisteminin ne kadar süre kaldığına bakmak için atmosferik blokama analizi yapıldığında, Avrupa'nın iç kesimlerinde en yüksek blokama gün sayıları tespit edilmiştir (Şekil 2a). Bu ilgili alan Şekil 1c ve Şekil 1d ile de örtüşerek, uzun süreli yüksek basınç sistemleri ile toprak ıslaklık durumunun birbirini etkilediklerine işaret etmektedir. 2003 HTA döneminde meydana gelen sıcak hava dalgası toplam süresi hesaplandığında, özellikle Avrupa'nın iç kesimlerinde 70-80 güne varan uzunlukta olduğunu, yurdumuzda ise Ege ve çevresinde 40-50 güne vardığı görülmektedir (Şekil 4b). İlgili dönemde meydana gelen toplam sıcak hava dalgası sayısı dağılımına bakıldığında, batı Avrupa'da 5-6, Balkanlar'da 7-8 kadar olduğu, ülkemizde Marmara civarında 6-7 sayılarına vardığı not edilmiştir (Şekil 2c). Sıcak hava dalgası şiddetine göz atıldığında, en yüksek değerlerin Avrupa merkezde olduğunu ve günlük sıcaklık artış oranının 6°C derecenin üstünde ve yurdumuzda ise 0.5-1.5°C. olduğunu işaret etmektedir (Şekil 2d).





Şekil 2. 2003 HTA dönemine ait a) Atmosferik bloklaşma toplam gün sayısı; b) Sıcak hava dalgası toplam gün sayısı; c) Sıcak hava dalgası toplam sayısı; d) Sıcak hava dalgasının toplam şiddeti (°C). (Figure 2. For the 2003 JJA period: a) Total atmospheric blocking days; b) Total heat wave days; c) Total number of heat waves; d) Total heat wave intensity (°C).)

### 3.2 Yaz 2012 Sıcak Hava Dalgaları (The 2012 Summer Heat Waves)

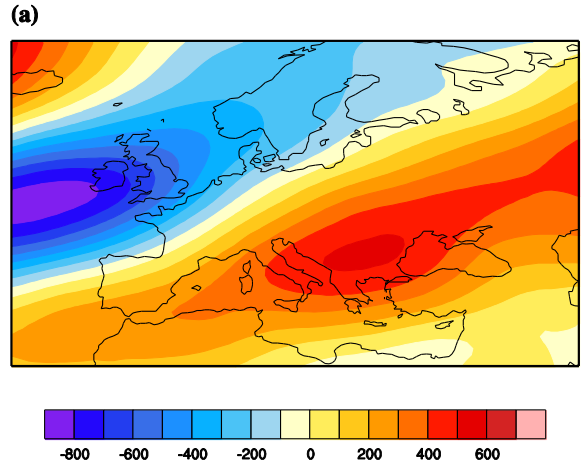
2012 HTA döneminde özellikle etkisini gösteren sıcak hava dalgaları, güney-doğu Avrupa’da, bazı Akdeniz ülkelerinde ve yurdumuzda etkili olmuştur [49]: İspanya’da üç ayrı sıcak hava dalgası, Haziran ve Ağustos aylarında etkisini göstermiş ve birçok yerde sıcaklıklar 40°C derecenin üzerinde olmuştur. Sırbistan ve Bosna’da son 120 yılın en sıcak yaz dönemi yaşanmış ve ilgili sıcak hava dalgalarının en az 6 gün hüküm sürdüğü kayıt edilmiştir. Slovenya ve İtalya,

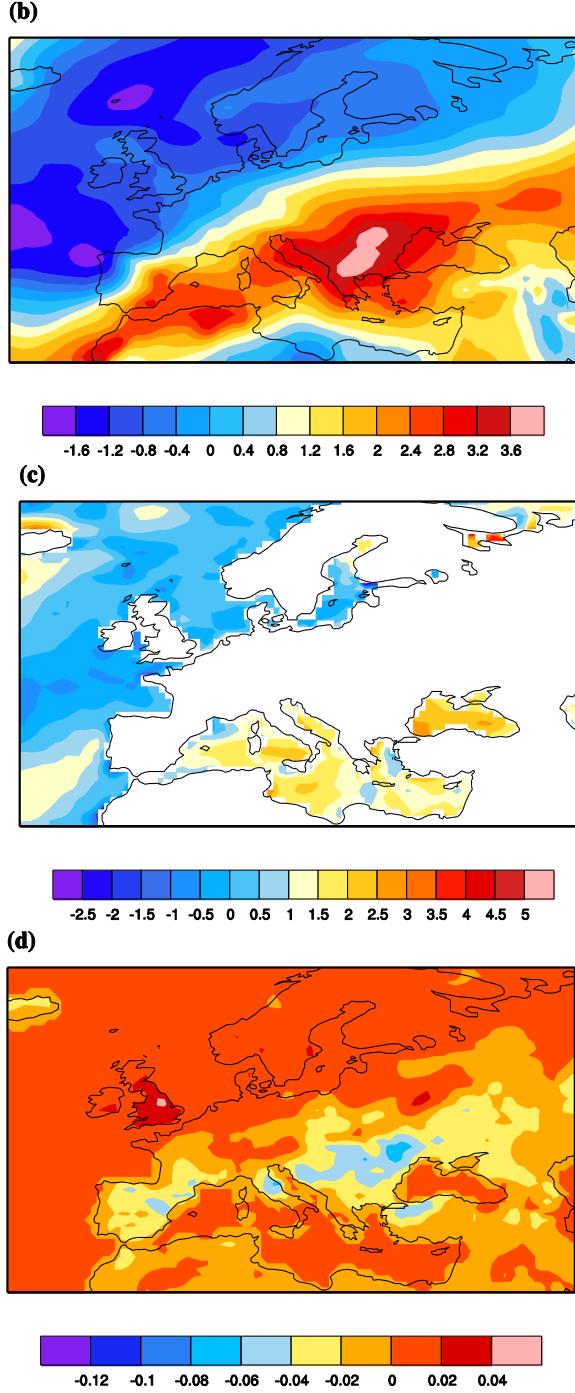
tarihlerindeki en sıcak ikinci yazı geçirmişlerdir. Türkiye’de ise en yüksek sıcaklıklar Haziran ve Temmuz döneminde kayıt edilmiş ve en yüksek sıcaklık 46.7°C ile Nusaybin’de gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklık değerleri incelendiğinde, yedi ilimizde tüm zamanların en yüksek sıcaklıklarının kırıldığını ve bunlardan beş tanesinin sıcaklığının 40°C derecenin üzerinde olduğu, beş tanesinde ise uzun yıllar en yüksek sıcaklık ortalamasından olan farkın 10°C derecenin üzerinde gerçekleştiği saptanmıştır. (Ayrıntılar için EK’te verilen ayrıntılı sıcaklık değerlerine bakınız.)

İlgili meteorolojik parametrelerin anomali değerleri analiz edildiğinde: 500hPa jeopotansiyel yüksekliği anomali alanının güney-batıdan kuzey-doğuya uzanan bir bant şeklinde olduğu ve en yüksek değerlerin merkezinin güney Avrupa’da konumlandığı (Şekil 3a) not edilmektedir. 850hPa seviyesindeki sıcaklık anomalisinin de aynı bölgede etkin olduğu ve en yüksek değerlerin 3.8°C civarında olduğu görülmektedir (Şekil 3b). Bu seviyede böylesine yüksek anomali değerlerinin olması, yer seviyesinde yüksek sıcaklıkların beklenebileceğini işaret etmektedir.

DYS anomali sonuçlarının analizi, Karadeniz’de 2-3°C dereceye varan, Ege ve Akdeniz’de ise 1-2°C derecelik uzun yıllar ortalamalarından sapmalar olduğunu göstermektedir (Şekil 3c). Etkilenen bölgeye daha yakın olması münasebetiyle Karadeniz üzerindeki DHS anomalisinin etkin olabileceği düşünülmektedir.

Toprak nemliliğinin anomali dağılımına bakıldığında, etkin bölgedeki değerlerin sıfırın altında olduğu, ona yakın alanların da oldukça kuru olduğunu görülmektedir (Şekil 3d). Yurdumuzda ise, özellikle kuzey batı kesimlerinin en çok etkilendiği ve diğer kesimlerin de oldukça kuru değerlere yaklaştığı not edilmektedir (Şekil 3d). Bu değerler 2012 sıcak hava dalgasının ilgili bölgelerdeki tarımsal sulamaya olan ihtiyacın fazla olabileceğini işaret etmektedir.



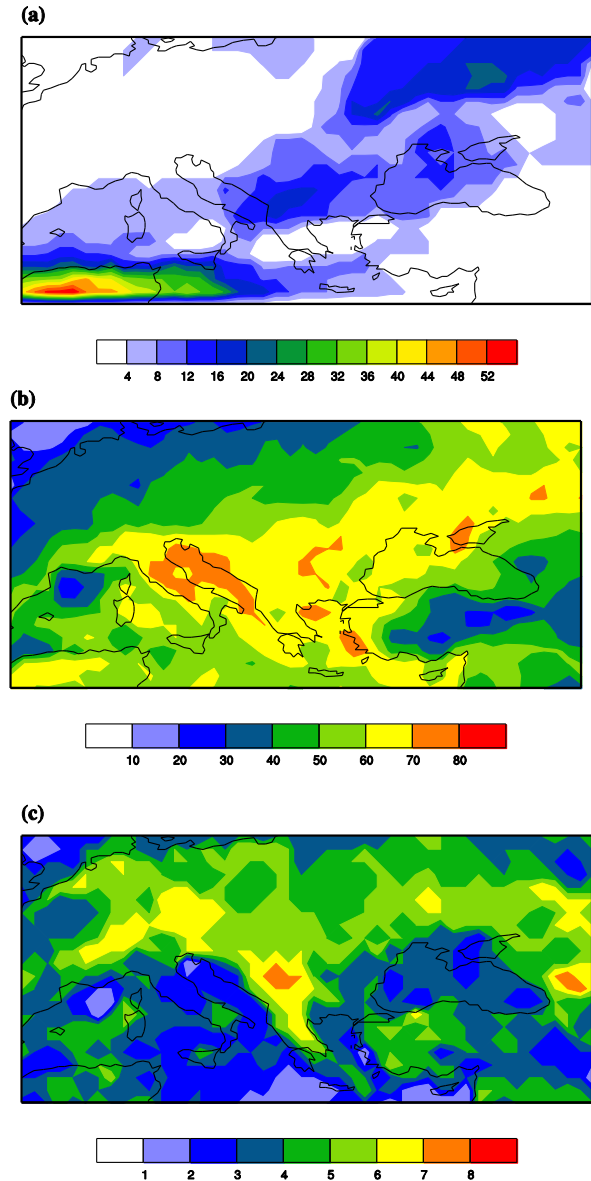


Şekil 3. 2012 HTA dönemi değerlerinin, uzun yıllar (1979-2009) klimatolojik ortalamalarından olan farkı (anomali): a) 500hPa jeopotansiyel yükseklik anomalisi (gpm); b) 850hPa sıcaklık anomalisi (°C); c) Deniz suyu sıcaklığı anomalisi (°C); d) Toprak ıslaklığı (m) (Figure 3. 2012 JJA anomalies (with respect to 1979-2009) for: a) 500hPa geopotential height (in gpm); b) 850hPa temperature (in °C); c) Sea surface temperature (in °C); d) Soil wetness (in m) (water equivalent).)

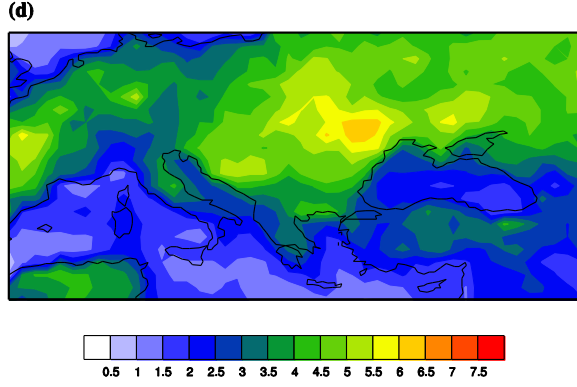
Atmosferik bloklama analiz sonuçlarına göz atıldığında, ülkemizin kuzeyinde ve kuzey batısındaki atmosferik

bloklama merkezleri ile güney batısındaki bloklama merkezleri dikkati çekmekte ve bunların batıdan gelebilecek sistemlerin önünü kapattığına dair ipucu vermektedir (Şekil 4a).

Bu döneme ait sıcak hava dalgası analizleri, İtalya'dan yurdumuzun özellikle batı kesimlerine kadar uzanan bir alanın sıcak hava dalgalarından en fazla etkilendiğini göstermektedir (Şekil 4b). Sıcak hava dalgası toplam sayısı hesaplamaları, en yüksek değerlerin (7-8 tane) güney Avrupa'da olduğunu ve yurdumuz üzerinde ise Marmara ve batı Karadeniz'de 5-6 tane olduğunu göstermektedir (Şekil 4c). Bu döneme ait sıcak hava dalgası sıcaklık yoğunluğuna bakıldığında, kuzey doğu Avrupa'da 6-6.5°C derecelere ve yurdumuzun doğu kesimlerinde 4°C'ye vardığı not edilmektedir (Şekil 4d).







Şekil 4. 2012 HTA dönemine ait a) Atmosferik bloklaşma toplam gün sayısı; b) Sıcak hava dalgası toplam gün sayısı; c) Sıcak hava dalgası toplam sayısı; d) Sıcak hava dalgasının toplam şiddeti (°C). (Figure 4. For the 2012 JJA period: a) Total atmospheric blocking days; b) Total heat wave days; c) Total number of heat waves; d) Total heat wave intensity (°C).)

### 3.3 Yaz 2015 Sıcak Hava Dalgaları (The 2015 Summer Heat Waves)

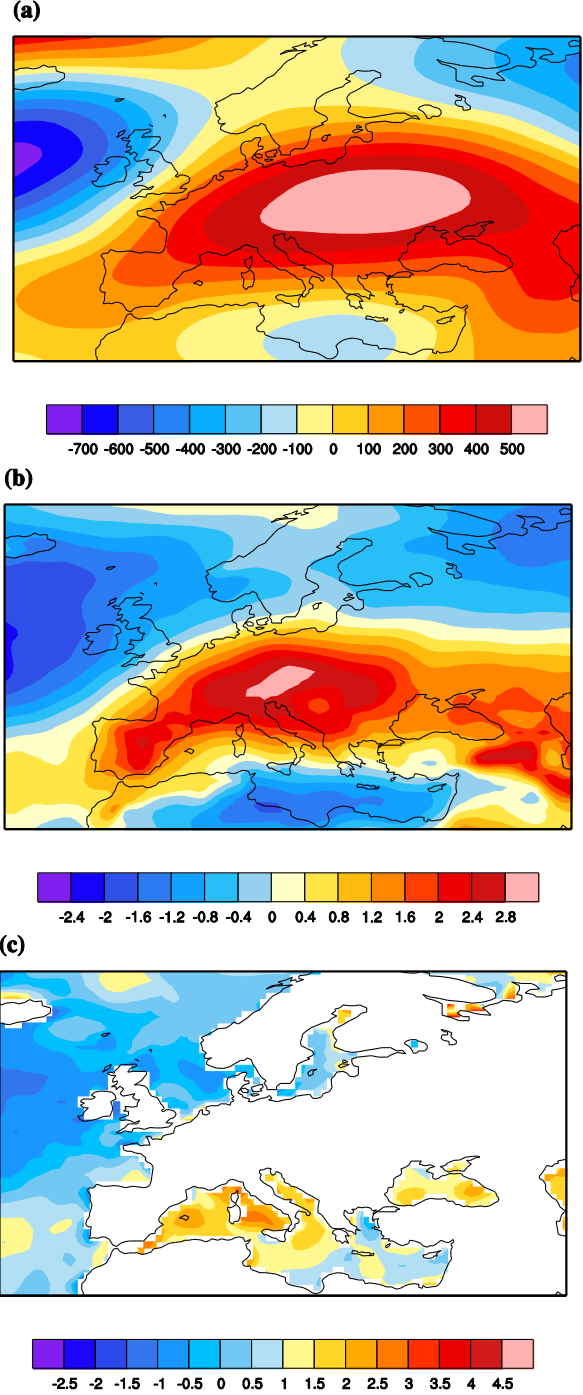
2015 sıcak hava dalgası etkinlikleri Mayıs'ta başlayıp, Eylül ortalarına kadar sürdü. İngiltere, İspanya, Finlandiya, Avusturya, Almanya, Fransa ve Hollanda'da oldukça yüksek sıcaklıklara neden oldu [50]. 20-30 Mayıs döneminde Hindistan'da sıcaklıklar 47°C dereceyi aştı ve 2,500 kişi hayatını kaybetti. 17-24 Haziran döneminde Pakistan'da etkili oldu ve 1,600 can kaybı meydana geldi.

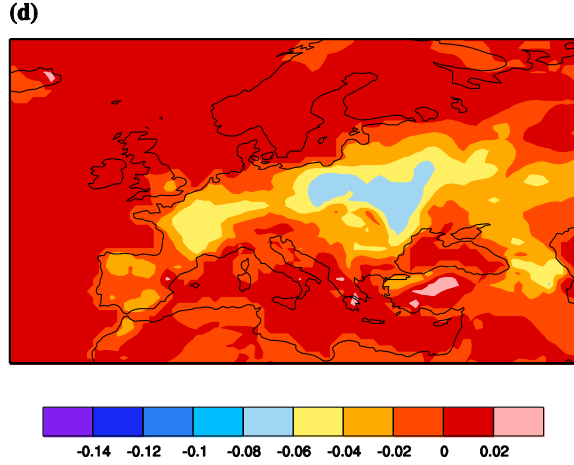
Temmuz ayından itibaren Avrupa'da ve yurdumuz üzerinde etkili olmaya başladı ve Eylül ayına kadar uzadı. Ancak, ülkemizde rekor sıcaklıkların kırılmasına sebep olmadı. Bu da sıcak hava dalgalarının oluşumu için ille de rekorların kırılması gerekmediğini göstermektedir.

Dinamik ve fiziksel etmenler üzerine yapılan incelemeler, 500hPa jeopotansiyel yüksekliğine ait anomali merkezinin ülkemizin kuzey batısında oldukça yüksek değerlerde yer aldığını göstermektedir (Şekil 5a). Bu değerler 2003 ve 2012 YESHD ile mukayese edildiğinde, onlara yaklaştığını işaret etmektedir. 850hPa seviyesindeki sıcaklık anomalisinin alansal dağılımına bakıldığında, yine aynı bölge üzerinde bir merkezin oluştuğunu ve en yüksek değerlerin 3°C dereceye yaklaştığı ve ülkemizin kuzey kesimlerinde ise 1-1.5°C olduğu, güney kesimlerinde ise tersine, ortalamaların altında olduğu not edilmektedir (Şekil 5b).

Bir diğer önemli etmen olan DYS anomalisinin dağılımına bakıldığında, özellikle batı Akdeniz ve Karadeniz'de 2.5°C dereceye varan en yüksek değerlerin yer aldığı dikkat çekmektedir (Şekil 5c).

Kara üzerinde ise, toprak ıslaklığının ilgili dönemdeki değerlerinin uzun yıllar ortalamalarından olan sapmaları incelendiğinde (Şekil 5d), en düşük değerlerin olduğu bölgenin aslında Şekil 5a'daki alan içinde olduğu, diğer bölgelerin ise kuraklık göstermediği dikkat çekmektedir. Uzun ömürlü yüksek basınç sisteminin sebebiyet verdiği etkiler burada kendisini göstermektedir.



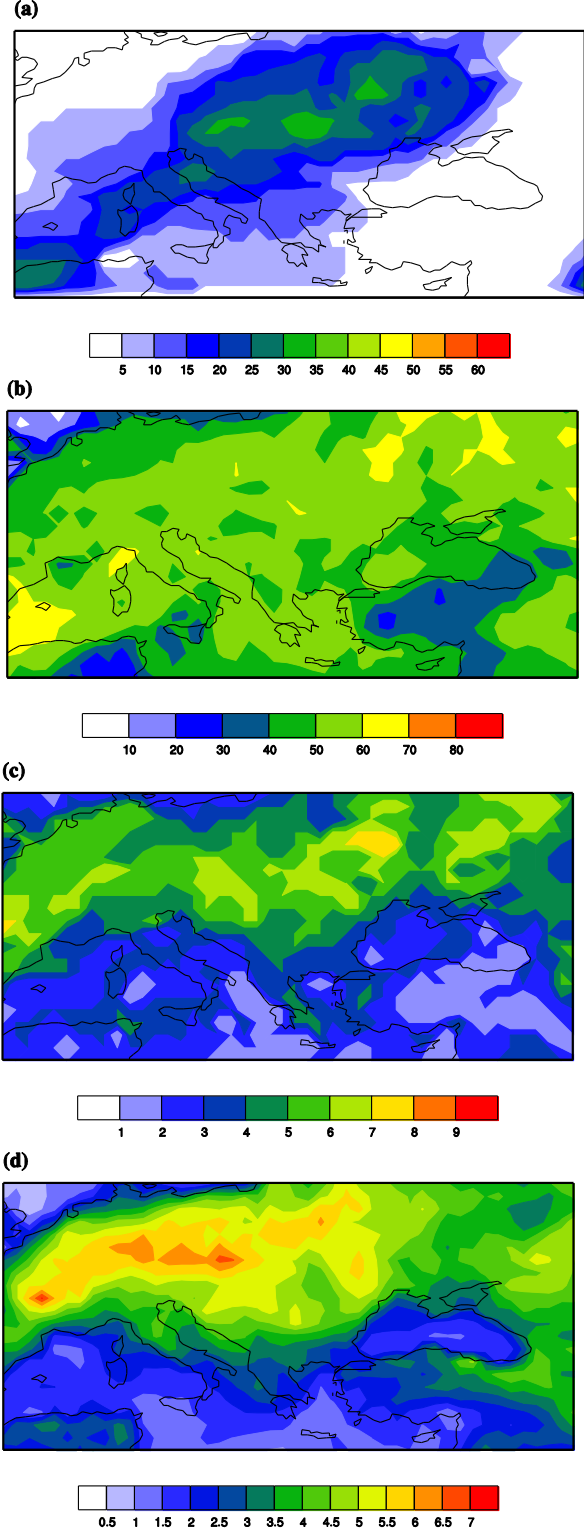


Şekil 5. HTA 2015 dönemi değerlerinin, uzun yıllar (1979-2009) klimatolojik ortalamalarından olan farkı (anomali): a) 500hPa jeopotansiyel yükseklik anomalisi (gpm); b) 850hPa sıcaklık anomalisi (°C); c) Deniz suyu sıcaklığı anomalisi (°C); d) Toprak ıslaklığı (m). (Figure 5. 2000 JJA anomalies (with respect to 1979-2009) for: a) 500hPa geopotential height (in gpm); b) 850hPa temperature (in °C); c) Sea surface temperature (in °C); d) Soil wetness (in m) (water equivalent).)

Atmosferik bloklaşma sonuçları, Şekil 5a'daki alanı da kapsayan bir alanda bloklaşmanın gerçekleştiğini ve en uzun sürenin Avrupa üzerinde 35-40 gün kadar olduğunu işaret etmektedir (Şekil 6a). Atmosferik bloklaşmanın konumu, kuzey Afrika'dan, kuzey Avrupa'ya kadar uzanan bir alanda, sıcak karakterli havanın güney batılı rüzgarlarla taşındığına ve ayrıca bloklaşmanın batıdan gelebilecek daha serin karakterli sistemlerin önünü kapattığına işaret etmektedir.

2015 HTA döneminde gerçekleşen sıcak hava dalgalarının toplam süresine bakıldığında, Türkiye'de en çok etkilenen bölgelerin 40-60 gün, diğer bölgelerin ise 20-30 gün sıcak hava dalgasının etkisi altında kaldığı not edilmektedir (Şekil 6b). Bu dönemde, yurdumuz üzerinde görülen en yüksek sıcak hava dalga sayısı 5 iken, Avrupa'da oldukça geniş bir alanda 6-8 arasındadır (Şekil 6c).

Sıcak hava dalgasının sebep olduğu sıcaklık şiddet değerleri incelendiğinde, sıcak hava dalgası toplam süresinin daha az olduğu yurdumuzun kuzey doğu kesimlerinde, en yüksek değerlere (5-7°C) ulaştığı dikkat çekmektedir (Şekil 6d). Sıcaklık şiddetinin, sıcak hava dalgası toplam gün sayısı ise ters orantılı olduğu göz önüne alındığında, bu doğal bir sonuçtur. Diğer taraftan, çok daha uzun süre sıcak hava dalgasının etkisinde kalan Avrupa'da, sıcaklık şiddetinin 5-7°C dereceye vardığı görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında, 2015 HTA sıcak hava dalgasının yarattığı etkili sıcaklıklardan Avrupa'nın daha çok etkilendiği anlaşılmaktadır.



Şekil 6. 2015 HTA dönemine ait a) Atmosferik bloklaşma toplam gün sayısı; b) Sıcak hava dalgası toplam gün sayısı; c) Sıcak hava dalgası toplam sayısı; d) Sıcak hava dalgasının toplam şiddeti (°C). (Figure 6. For the 2015 JJA period: a) Total atmospheric blocking days; b) Total heat wave days; c) Total number of heat waves; d) Total heat wave intensity (°C).)

#### 4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ VE BAZI VURGULAR (CONCLUDING REMARKS)

2003, 2012 ve 2015 yılları HTA dönemine ait sıcak hava dalgalarının analizi, dinamik ve fiziksel yönlerinin yanı sıra, atmosferik bloklama ve sıcak hava dalgası özellikleri bakımından da incelenmiştir. Dinamik ve fiziksel etmenlerin iklim ortalamalarından olan farkları birbirleriyle mukayese edildiğinde, özellikle 2003 ve 2012 yılına ait değerlerin en yüksek olduğu not edilmektedir. DYS açısından bakıldığında, Karadeniz'e ait DYS anomali değerlerinin 2-3°C uzun yıllar ortalamalarının üzerinde olduğu görülmektedir. Toprak neminin ilgili yıllardaki anomalilerine bakıldığında, özellikle 2003 ve 2012'de kuraklık seviyelerini işaret etmektedir. Güney batı ve kuzey batıda meydana gelen atmosferik bloklama, yurdumuzu en çok etkileyen atmosferik dolaşımın sıcak havayı kuzey Afrika ve Akdeniz üzerinden yurdumuza taşınmasına zemin hazırlamaktadır.

Atmosferik bloklama toplam gün sayısı açısından en yüksek değerler 2015 HTA dönemine aittir. Bloklamının konumlanması olarak baktığımızda ise, yurdumuzu en çok güney batıda yer alan ilgili uzun süreli yüksek basınç sistemlerinin etkilediği görülmektedir. En uzun süreli sıcak hava dalgası bölgeleri olarak baktığımızda, kuzey Afrika ve batı Avrupa'nın etkilendiği not edilmektedir. Ülkemizde ise, ilgili bölgeler kuzey batı ve güney batı kesimlerde ve daha çok kıyılarda yer almaktadır. Öte yandan, kuzey ve kuzey doğumuzda yer alan atmosferik bloklamaların hem Karadeniz üzerindeki sıcaklıklarda ve hem de yakın bölgelerde etkili olduğunu göstermektedir. Doğu ve güneydoğu bölgeleri zaten sıcak olmakla birlikte, güney-güneydoğuda yer alan yüksek basınç sistemlerinin etkisiyle sıcak hava dalgalarına maruz kaldıkları not edilmiştir.

Sıcak hava dalgası toplam gün sayısı bakımından ilgili yılların değerlerini birbirleri ile mukayese ettiğimizde, en uzun sürenin 2003 ve 2012'de olduğu görülmektedir. Sıcak hava dalgasının uzun süre devam etmesi durumu çok önemlidir, çünkü sürekli olarak zorlayıcı sıcak hava koşullarına maruz kalmak insan sağlığına ve ekosisteme çok daha fazla zarar vermektedir.

Sıcak hava dalgasına en fazla maruz kalan bölgeler olarak baktığımızda, merkez ve güney Avrupa önde gelmektedir. Yurdumuzda ise, özellikle Ege kıyılarının tüm çalışmalarında öne çıktığı dikkat çekmektedir ki bu yönüyle daha önce yapılan çalışmaların bulgularını da desteklemektedir [6, 34]. HTA dönemlerinde gerçekleşen toplam sıcak hava dalga sayısı analizleri, 2003 ve 2012'de oldukça fazla sayıda olduğunu göstermiştir. Sıcak hava dalgalarının yarattığı sıcaklık

şiddetine baktığımızda, 2003 ve 2012 yıllarının en üst değerlerde olduğu dikkat çekmektedir.

Çalışmanın sonuçları, yıldan yıla yaz aylarındaki sıcaklık değişkenliğini göstermektedir. Bu çalışmada, önümüzdeki onar yıllık dönemlerde sıcak hava dalgalarının yurdumuz üzerinde nasıl bir seyir izleyebileceğine ilişkin iklim projeksiyonu incelemesine yer verilmemiştir, gelecekte yapılacak çalışmalarda buna değinilecektir.

#### TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışmada kullanılan ilgili veriyi temin eden Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve *European Centre for Medium Range Forecasts* uluslararası kuruluşuna minnettarım. Bu makalenin değerlendirmesinde yer alan hakemlere yapıcı önerilerinden dolayı teşekkür ederim.

**EK (APPENDIX):** Meteoroloji Genel Müdürlüğü kayıtlarına göre, 2012 yazında oluşan sıcaklık rekorları. (The 2012 summer record breaking temperatures – based on the Turkish Meteorological Service's records.)

| Tarih     | İlin Adı  | Maksimum Sıcaklık (°C) | 1950-2015 ortalama maksimum sıcaklık (°C) | Fark |
|-----------|-----------|------------------------|---|------|
| 15.6.2012 | Hatay     | 43.2                   | 29.2                                      | 14.0 |
| 15.6.2012 | Osmaniye  | 42.6                   | 31.3                                      | 11.3 |
| 25.7.2012 | Karabük   | 44.0                   | 32.3                                      | 11.7 |
| 26.7.2012 | Kırıkkale | 41.8                   | 31.0                                      | 10.8 |
| 27.7.2012 | Ankara    | 41.0                   | 30.2                                      | 10.8 |
| 27.7.2012 | Niğde     | 38.5                   | 29.3                                      | 9.2  |
| 01.8.2012 | Aksaray   | 38.8                   | 29.3                                      | 9.5  |

#### KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] R. Basu, "High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008, *Environmental Health*", vol. 8, no. 4, DOI: 10.1186/1476-069X-8-40, 2009.
- [2] A. Fink, T. Brücher, A. Krüger, G. Leckebusch, J. Pinto, and U. Ulbrich, "The 2003 European summer heatwaves and drought – synoptic diagnosis and impacts", *Weather*, vol. 59, pp. 209–216, 2004.
- [3] R. Vautard, C. Honore', M. Beekmann, and L. Rouil, "Simulation of ozone during the August 2003 heat wave and emission control scenarios", *Atmos. Environ.*, vol. 39, pp. 2957-2967, 2005.
- [4] P. Ciais et al., "Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003", *Nature*, vol. 437, pp. 529–533, doi:10.1038/nature03972, 2005.

- [5] D. Coumou and S. Rahmstorf, “A decade of weather extremes”, *Nat. Clim. Change*, vol. 2, no. 7, 491–496, 2012.
- [6] Y. S. Unal, E. Tan, and S. S. Menten, “Summer heat waves over western Turkey between 1965 and 2006”, *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 112, pp. 339–350, doi:10.1007/s00704-012-0704-0, 2013.
- [7] C. Schär, P. L. Vidale, D. Luthi, C. Frei, C. Haberli, M. A. Liniger, and C. Appenzeller, “The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves”, *Nature*, vol. 427, pp. 332–336, 2004.
- [8] P. A. Stott, D. A. Stone, and M. R., “M.R., Human contribution to the European heatwave of 2003”, *Nature*, vol. 432, pp. 610–614, doi:10.1038/nature03089, 2004.
- [9] E. Black, M. Blackburn, G. Harrison, B. J. Hoskins, and J. Methven, “Factors contributing to the summer 2003 European heatwave”, *Weather*, vol. 59, pp. 217–223, 2004.
- [10] R. Dole, M. Hoerling, J. Perlwitz, J. Eischeid, P. Pegion, T. Zhang, X-Y. Quan, T. Xu, and D. Murray, “Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave?”, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 38, doi:10.1029/2010GL046582, 2011.
- [11] M. Rebetz, O. Dupont, and M. Giroud, “An analysis of the July 2006 heatwave extent in Europe compared to the record year of 2003”, *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 95, pp. 1-7, 2009.
- [12] D. Founda and C. Giannakopoulos, “The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece. A typical summer in the future climate?”, *Glob. Planet Change*, vol. 67, no. 3, pp. 227-236, 2009.
- [13] G. A. Meehl and C. Tebaldi, “More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century”, *Science*, vol. 305, pp. 994–997, doi:10.1126/science.1098704, 2004.
- [14] N. S. Diffenbaugh, J. S. Pal, F. Giorgi, and G. Xuejie, “Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspots”, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 34, no. L11706, doi:10.1029/2007GL030000, 2007.
- [15] J. Sillmann, V. V. Kharin, F. W. Zwiers, X. Zhang, and D. Bronaugh, “Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections”, *J. Geophys. Res.*, 118(6), 2473–2493, 2013.
- [16] IPCC., Summary for policymakers. In *Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds). Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, NY, pp. 1–32, 2014.
- [17] F. Giorgi, “Climate change hot-spots”, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 33, no. L08707, doi:10.1029/2006GL025734, 2006.
- [18] S. Pfahl and H. Wernli, “Quantifying the relevance of atmospheric blocking for co-located temperature extremes in the Northern Hemisphere on (sub-)daily time scales”, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 39, no. L12807, doi:10.1029/2012GL052261, 2012.
- [19] D. G. Miralles, A. J. Teuling, C. C. van Heerwaarden, and V. G. de Arellano, “Mega-heatwave temperatures due to combined soil desiccation and atmospheric heat accumulation”, *Nat. Geosci.*, vol. 7, pp. 345–349, 2014
- [20] D. F. Rex, “Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate. I. An aerological study of blocking action”, *Tellus*, vol. 2, pp. 196-211, 1950.
- [21] T. Tibaldi and F. Molteni, “On the operational predictability of blocking”, *Tellus*, vol. 42A, pp. 34-365, 1990.
- [22] J. Pelly and B. J. Hoskins, “A new perspective on Blocking”, *J. Atmos. Sci.*, vol. 60, pp. 74 -755, 2003.
- [23] M. Demirtaş, “Bidimensional diagnostics of atmospheric blocking and impact of blocking on regional weather, the 7th Atmospheric Sciences Symposium”, Istanbul-Turkey, 28-30 April 2015, pp. 50-59, (ISBN: 978-975-561-461-8).
- [24] E. M. Fische, S. I. Seneviratne, P. L. Vidale, D. Lüthi, and C. Schär, “Soil moisture–atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave”, *J. Clim.* Vol. 20, pp. 5081–5099, 2007.
- [25] E. M. Fischer, “Autopsy of two mega-heatwaves”, *Nature Geoscience*, vol. 7, pp. 332–333, doi:10.1038/ngeo2148, 2014.
- [26] R. Vautard, P. Yiou, F. D’Andrea, N. de Noblet, N. Viovy, C. Cassou, J. Polcher, P. Ciais, M. Kageyama, and Y. Fan, “Summertime European heat and drought waves induced by wintertime Mediterranean rainfall deficit”, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 34, doi:10.1029/2006GL028001, 2007.
- [27] R. Lorenz, E. B. Jaeger, and S. I. Seneviratne, “Persistence of heat waves and its link to soil moisture memory”, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 37, no. L09703, doi:10.1029/2010GL042764, 2010.
- [28] L. Ferranti and P. Viterbo, “The European summer of 2003: Sensitivity to soil water initial conditions”, *J. Clim.*, vol. 19, pp. 3659-3680, 2006.

- [29] L. Feudale and J. Shukla, “Role of Mediterranean SST in enhancing the European heat wave of summer 2003”, *Geophys Res Lett.*, vol. 34, no. L03811, 2007.
- [30] F. Grazzini and P. Viterbo, “Record-breaking warm sea surface temperature of the Mediterranean Sea”, *ECMWF Newsletter 98*, ECMWF, Reading, United Kingdom, pp. 30-31, 2003. [ <http://www.ecmwf.int/publications/>.]
- [31] M. Türkeş, U. M. Sümer and I. Demir, “Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929–1999”, *Int. J. Climatol.*, vol. 22, pp. 947–977, doi:10.1002/joc.777, 2002.
- [32] M. Türkeş and U. M. Sümer, “Spatial and temporal patterns of trends and variability in diurnal temperature ranges of Turkey”, *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 77, pp. 195-227, 2004.
- [33] E. Erlat and M. Türkeş, “Observed changes and trends in numbers of summer and tropical days, and the 2010 hot summer in Turkey”, *International Journal of Climatology*, vol. 33, no. 8, pp. 1898-1908, DOI: 10.1002/joc.3556, 2013.
- [34] F. G. Kuglitsch, A. Toreti, E. Xoplaki, P. M. Della-Marta, C. S. Zerefos, M. Türkeş, and J. Luterbacher, “Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960”, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 37, doi:10.1029/2009GL041841, 2010.
- [35] M. Stefanon, F. D’Andrea, and P. Drobinski, “Heatwave classification over Europe and the Mediterranean region”, *Environ. Res. Lett.*, vol. 7, doi:10.1088/1748-9326/7/1/014023, 2012.
- [36] D. P. Dee et al., “The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system”, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 137, pp. 553–597, doi:10.1002/qj.828, 2011.
- [37] H. Lejenäs and H. Økland, “Characteristics of Northern Hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data”, *Tellus*, vol. 35A, pp. 350-362, 1983.
- [38] B. J. Hoskins, M. E. McIntyre, and A. W. Robertson, “On the use and significance of isentropic potential vorticity maps”, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 111, pp. 877-946, 1985.
- [39] M. Demirtaş and A. J. Thorpe, “Sensitivity of short-range weather forecasts to local potential vorticity modifications”, *Mon. Wea. Rev.*, vol. 127, no.5, pp. 922-939, 1999.
- [40] S. Scherrer, M. Croci-Maspoli, C. Schwierz, and C. Appenzeller, “Two-dimensional indices of atmospheric blocking and their statistical relationship with winter climate patterns in the Euro-Atlantic region. *Int. J. Climatol.*, vol. 26, pp. 233–249, 2006.
- [41] M. Demirtaş, “Diagnostics and frequency of NH atmospheric blocking”, *Climate Change and Climate Dynamics International Conference, İstanbul-Turkey*, 8-10 October 2014, pp. 54-58, (ISBN: 978-975-561-445).
- [42] P. J. Robinson, “On the definition of a heat wave”, *J Appl Meteorol*, vol. 40, pp. 762-775, 2001.
- [43] P. Frich, L. V. Alexander, P.m Della-Marta, B. Gleason, M. Hayloc, A. M. G. Klein Tank, and T. Peterson, “Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century”, *Clim. Res. Vol. 19*, no. 3, 193-212, 2002.
- [44] O. Shevchenko, H. Lee, S. Snizhkoa, and H. Mayerb, “Long-term analysis of heat waves in Ukraine”, *Int. J. Climatol.*, vol. 34, pp. 1642-1650, DOI: 10.1002/joc.3792, 2014.
- [45] M. Beniston, “The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations”, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 31, no. L02202, doi:10.1029/2003GL018857, 2004.
- [46] J. Spinoni, M. Lakatos, T. Szentimrey, Z. Bihari, S. Szalai, J. Vogta, and T. Antofiea, “Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010”, *Int. J. Climatol.*, vol. 35, pp. 4197–4209, DOI: 10.1002/joc.4279, 2015.
- [47] S. Russo, A. Dosio, R. G. Graversen, J. Sillmann, H. Carrao, M. B. Dunbar, A. Singleton, P. Montagna, P. Barbola, and V. J. Vogt, “Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world”, *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 119, no. 12, pp.500–512, doi:10.1002/2014JD022098, 2014.
- [48] R. García-Herrera, J. Díaz, R. M. Trigo, J. Luterbacher, and E. M. Fischer, “A Review of the European Summer Heat Wave of 2003”, *Critical Reviews in Environmental, Science and Technology*, vol. 40, no. 4, pp. 267-306, DOI: 10.1080/10643380802238137, 2010.
- [49] J. Blunden and D. S. Arndt, “State of the Climate in 2012”, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 94, no. 8, S1–S238, 2003.
- [50] World Meteorological Organization, Statement on the Status of the Global Climate in 2015, WMO-No. 1167, 28pp, 2015.