



Ege Coğrafya Dergisi, 24/1 (2015), 1-14, İzmir
Aegean Geographical Journal, 24/1 (2015), 1-14, İzmir—TURKEY

20. YÜZYILIN İKİNCİ YARISINDA TROPİKAL KUŞAKTA GERÇEKLEŞEN VOLKANİK PÜSKÜRMELERİN TÜRKİYE'DE YAZ HAVA SICAKLIKLARINA ETKİSİ

*Influence of Tropical Volcanic Eruptions on Turkey's Summer Air Temperatures
in the Second Half of the 20th Century*

Ecmel ERLAT

*Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü 35100 Bornova-İzmir
ecmel.erlat@ege.edu.tr*

Murat TÜRKEŞ

*İstatistik Bölümü Bağlantılı Orta Doğu Teknik Üniversitesi
murat.turkes@boun.edu.tr*

Abstract

This study investigated changes in Turkey's summer average maximum and minimum air temperatures led by the three volcanic eruptions (VEI > 5 and IVI > 0.2) occurred tropical zone during the second half of the 20th Century. Results of the analysis performed by using the air temperature observations of 65 climatological and meteorological stations revealed that the average maximum and minimum air temperatures decreased in the first two years following a strong volcanic eruption. The most evident change in summer air temperatures was seen in the maximum air temperatures, whilst the decreasing tendency was much severe in the second summer season (Summer +1) after a strong volcanic eruption. In the Summer_{Max} +1, air temperatures decreased at almost all stations except three stations, and observed departures were above 1°C at 33 stations. Although responds of the minimum air temperatures to the volcanic eruptions were not as great as those in maximum air temperatures, the greater decreasing tendency was detected in the following third summer season (Summer_{Min} +2) after a volcanic eruption. According to the composite average of the 65 stations, average minimum air temperatures during the Summer_{Min} +2 compared the reference period indicated a decrease of air temperature with -0.47°C, whereas air temperatures remained below the averages of the reference period at the 57 stations. The strongest cooling tendency in Turkey was observed after the 1982 El Chichón volcanic eruption.

Key Words: Solar radiation, Maximum and Minimum Air Temperatures, Sulphate Aerosol, Composite Anomaly.

Öz

Çalışmada 20. yüzyılın ikinci yarısında tropikal kuşakta gerçekleşen (VEI > 5 ve IVI > 0.2) üç volkanik püskürmenin, yaz mevsiminde Türkiye'deki maksimum ve minimum hava sıcaklıklarında oluşturduğu değişimler incelenmiştir. Türkiye'deki 65 klimatoloji ve meteoroloji istasyonunun

sıcaklık gözlemleri kullanılarak yapılan analiz sonuçları, kuvvetli bir volkanik püskürmeyi izleyen ilk iki yıl boyunca ortalama maksimum ve minimum hava sıcaklıklarının azaldığını göstermiştir. Yaz sıcaklıklarında en belirgin değişiklik, maksimum hava sıcaklıklarında görülmekte, azalma eğilimi volkanik püskürmeyi izleyen ikinci yaz mevsiminde (YAZ +1) daha da şiddetlenmektedir. $YAZ_{MAX} +1$ 'de üç istasyon dışında tüm istasyonlarda hava sıcaklıkları azalmış, 33 istasyonda gözlenen negatif sapma değeri $1^{\circ}C$ 'yi geçmiştir. Minimum hava sıcaklıklarının volkanik püskürmelere verdiği yanıt, maksimum hava sıcaklıklarındaki kadar belirgin olmamakla birlikte, en kuvvetli azalma eğilimi bir volkanik püskürmeyi izleyen üçüncü yaz mevsiminde ($YAZ_{MIN} +2$) bulunmuştur. 65 istasyonun birleşik ortalamasına göre $YAZ_{MIN} +2$ 'de ortalama minimum hava sıcaklıkları referans dönemine göre $-0.47^{\circ}C$ azalma göstermiş, 57 istasyonda sıcaklık değerleri referans dönemi ortalamalarının altında kalmıştır. Türkiye'de en kuvvetli soğuma eğilimi 1982 El Chichón volkan püskürmesi sonrasında gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Güneş radyasyonu, Maksimum ve Minimum Hava Sıcaklıkları, Sülfat Aerosolü, Birleşik Anomali.

Giriş

Volkanik püskürmeler, püskürme sırasında açığa çıkan volkanik gazlar ve volkanik küller ile ilişkili olarak küresel veya bölgesel ölçekte iklim koşulları üzerinde değişimlere yol açmaktadır. Bir volkanik püskürme sırasında açığa çıkan volkanik gazlar ağırlıklı olarak su buharı (H_2O), karbon dioksit (CO_2), sülfür dioksit (SO_2), hidrojen sülfür (H_2S) ve daha az miktarlarda hidrojen (H_2) ile karbon monoksitten (CO) oluşur. Volkanik püskürmelerle atmosfere salınan gazlardan iklimatik olarak önem taşıyanların başında, sülfür türleri (SO_2 ve H_2S) ve su buharı gelmektedir. Bunlardan sülfür dioksit atmosferde gerçekleşen fotokimyasal oksidasyon sonucu sülfürik aside (H_2SO_4) dönüşmektedir. Oluşan sülfürik asit damlacıklarının boyutları $0.1 \mu m$ ile $1.0 \mu m$ arasında değişmektedir. Boyutları çok küçük olan bu damlacıklar atmosferde asılı halde kalmakta ve bu nedenle "volkanik sülfat aerosollerini" olarak adlandırılmaktadır. Volkanik püskürmeler sırasında açığa çıkan sülfürün atmosferin troposfer tabakasında volkanik sülfat aerosollerine dönüşmesi kısa sürede gerçekleşmekte ve kalış süresi birkaç gün ile sınırlı olmaktadır. Buna karşılık aynı süreç, atmosferin stratosfer tabakasında volkanik püskürmeyi izleyen ilk bir ay içinde gerçekleşmekte ve oluşan volkanik sülfat aerosollerinin kalış süresi birkaç haftadan birkaç yıla kadar uzamaktadır. Stratosferde yerden 15–25 km yukarıda toplanan volkanik sülfat aerosollerinin oluşturduğu bu tabakaya "stratosferik aerosol bulutu" veya "Junge tabakası" denilmektedir (Deshler, 2008).

Volkanik püskürmeler sırasında gazların yanı sıra açığa çıkan bir başka madde, boyutları ise 2

mm'den küçük olan volkanik külleridir. Volkanik küllerin atmosferdeki kalış süreleri volkanik sülfat aerosollerine göre çok daha kısa olup, volkanik püskürmeden yaklaşık bir ay sonra sedimantasyon (çökeltme) ile stratosfer tabakasından uzaklaşmakta ve bu nedenle iklim koşulları üzerindeki etkisi sınırlı kalmaktadır (Forster vd., 2007).

Volkanik püskürmeleri izleyen dönemlerde iklim koşullarında alansal ve zamansal olarak gözlenen değişimler, açığa çıkan gazlar ve volkanik küllerin miktarı, volkanik püskürmenin gerçekleştiği enlem/yarımküre ile bulunulan mevsime bağlı olarak değişmektedir. Yapılan çalışmalar kükürtçe zengin gazlar püskürtebilen volkanların, oluşturdukları stratosferik aerosol bulutu ile iklim koşullarını daha fazla etkilediğini göstermektedir. Örneğin 1982 yılında Meksika'daki El Chichón volkanı yaklaşık 8 megaton (1 megaton=1 milyon ton) sülfat aerosolünün oluşumuna yol açmış, bunun sonucunda küresel ölçekte troposferde sıcaklıklar azalırken, stratosferde yükselmiştir. 1980 yılında St. Helen volkanındaki püskürmenin şiddeti El Chichón ile aynı olmasına karşın, stratosferde oluşan 1 megaton of sülfat aerosolü küresel ortalama sıcaklıklarda aynı etkiyi oluşturmamıştır.

Çıkan gazlar yanında, volkanik püskürmenin gerçekleştiği enlem de büyük önem taşır. Ekvatorial ve tropikal kuşakta gerçekleşen volkanik püskürmelerde oluşan sülfat aerosollerini küresel ölçekte, orta ve yüksek enlemlerdeki volkanik püskürmelerde oluşanlar ise yarım küresel ölçekte dağılmaktadır. Kara yüzeyleri okyanuslara göre dünyanın enerji bütçesindeki değişikliklere daha hızlı tepki vermektedir. Bu nedenle karaların daha

geniş alan kapladığı kuzey yarımküre, volkanik aerosollerinin oluşturduğu enerji bütçesindeki değişikliklerden daha fazla etkilenmekte, maksimum soğuma kış mevsiminde yaklaşık 10°K, yaz mevsiminde ise 40°K enleminde gerçekleşmektedir (Robock, 2000; Ammann ve Naveau 2003).

Volkanik püskürmenin oluşturduğu iklimik etki mevsimin kış veya yaz olmasına göre de değişmektedir. Volkanik püskürmenin yaz mevsiminde gerçekleşmesi durumunda Tropiklerarası Yakınlaşma Kuşağı'nın (ITCZ) tropiklere doğru olan kayması azalmakta, buna bağlı olarak yaz mevsiminin yaşandığı yarımküre kış mevsiminin yaşandığı yarımküreye göre daha fazla soğumaktadır. Ayrıca dikey hava akımlarının daha güçlü olduğu yaz aylarında volkanik püskürmeler sırasında açığa çıkan gazlar kış mevsiminde oranla atmosferde daha yüksek seviyelere taşınabilmektedir. Kış mevsiminde ise atmosferde oluşan dinamik değişiklikler Arktik Salınım (AS) ve Kuzey Atlantik Salınımı'nın (KAS) kuvvetli pozitif evreye geçmesinde etkili olmaktadır. Bu durum orta enlemlerde önemli bölgesel sıcaklık anomalilerinin oluşumuna neden olmaktadır (Shindell vd., 2004; Fischer vd., 2007).

Volkanik püskürmelerin iklimik etkilerinden en belirgin olanı, sıcaklık koşulları üzerinde gözlenmektedir. Bu etki doğrudan ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılabilir. Doğrudan etki, sülfat aerosol tabakasının stratosferde varlığını koruduğu süre içinde, gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu ve giden uzun dalga boylu yer radyasyonu üzerinde oluşturduğu değişiklikler (ışınimsal zorlama etmenleri) yoluyla gerçekleşmektedir. Volkanik püskürmelerden sonra stratosferde yer alan volkanik sülfat aerosolleri, Güneş'ten gelen görünür dalga boyundaki ışınları önemli bir bölümünü uzaya geri yansıtarak troposferde sıcaklıkların azalmasına (soğuma eğilimi) yol açmaktadır. Troposferin soğumasına yol açan bir başka süreç, volkanik sülfat aerosollerinin Güneş'in kısa dalga boylu ışınlarını difüzyona uğratarak, direkt Güneş ışını oranını azaltmasıdır. Buna karşılık stratosfer tabakasında sülfat aerosolleri Güneş'ten gelen kısa dalga boylu ve yeryüzünden salınan kızılötesi ışınları emerek (absorbe ederek) bu tabakanın ısınmasına neden olmaktadır (Stenchikov vd., 1998).

Subtropikal kuşakta ve orta kuşağın güneyinde atmosferdeki aktivitenin (ör. orta enlem siklon ve cephe oluşumu) azaldığı ve daha stabil ve uzun süreli hava koşullarının (ör. geniş alanlarda benzer özelliklere sahip sıcak ve kuru hava kütlelerinin varlığı, sıcaklık ve dolayısıyla basınç gradyanının zayıflaması vb. nedenlerle) egemen olduğu yaz mevsiminde, kuvvetli volkanik püskürmelerin oluşturduğu iklimik etkilerinin anlaşılması daha kolaydır. Kuvvetli volkanik püskürmelerin gerçekleştiği yıllarda, yaz mevsiminde kış mevsiminde olduğu gibi bölgesel sıcaklık anomalileri yerine, hava sıcaklıklarında genel bir azalma (soğuma) eğilimi gözlenmektedir. Bu durum, kuvvetli volkanik püskürmelerden sonra stratosferde yer alan volkanik sülfat aerosollerinin, Güneş'ten gelen görünür dalga boyundaki ışınların önemli bir bölümünü uzaya geri yansıtması ile ilişkilidir. Örneğin Pinatubo volkanının 1991 yılındaki püskürmesini izleyen ilk ve bir sonraki yaz mevsiminde Kuzey Amerika ve Avrupa'da yaz mevsiminde sıcaklık değerlerinde azalma belirlenmiştir. En şiddetli soğuma 1992 yılında Kuzey Amerika'nın iç kısımlarında gözlenmiş, Hudson Körfezi'ndeki buzlar uzun dönem ortalamalarına göre yaklaşık 1 ay geç erimmiştir (Robock ve Mao, 1995).

Kuvvetli volkanik patlamalar sonrası kuzey yarımküre ve Avrupa'daki sıcaklık kayıtları incelendiğinde, tropikal kuşakta gerçekleşen volkanik püskürmeler sonrası, Kuzey Yarımküre'de yaz mevsiminde sıcaklıkların püskürmeyi izleyen ilk üç yıl boyunca azaldığını ortaya koymuştur (Jones vd., 2004). Son 500 yılda gerçekleşen 15 şiddetli volkanik püskürme sonrası Avrupa'da sıcaklıkları inceleyen bir çalışma, volkanik aerosollerin oluşturduğu ışınimsal zorlama etkilerine bağlı olarak, Avrupa'nın büyük bir bölümünde yaz mevsiminde sıcaklıkların azaldığını göstermiştir. Özellikle Kuzey Avrupa'da negatif sıcaklık anomalileri 2°C'ye kadar ulaşmıştır. Çalışmanın en önemli sonuçlarından biri volkanik aerosollerin oluşturduğu etkilerin yaz mevsiminde püskürmeyi izleyen 3 yıl boyunca etkili olduğunu ve püskürme sonrasında maksimum etkinin püskürmeyi izleyen ikinci yaz mevsiminde gözlendiğini ortaya koymasındır (Luterbacher vd., 2004).

Son 500 yılda 15 büyük volkanik püskürmeyi izleyen yaz mevsiminde Avrupa'da iklim

koşullarını inceleyen çalışmanın sonuçları, püskürmeleri izleyen ilk ve ikinci yılların yaz mevsiminde Avrupa kıtasında daha soğuk ve kurak iklim koşullarının ortaya çıktığını göstermiştir. En kuvvetli ve istatistiksel olarak anlamlı (Avrupa ortalaması 0.5 °C) soğuma, patlamayı izleyen ilk yaz mevsiminde gözlenmiştir (Fischer vd., 2007). İberya yarımadasına yer alan Lizbon, Madrid, Barselona, San Fernando-Cadiz gibi rasat süresi 1816 yılından başlayan istasyonların meteorolojik gözlemleri, 1815 yılında Tambora volkanının püskürmesini izleyen kış ve yaz mevsimlerinde yarımadada sıcaklık değerlerinde önemli anomalilerin ortaya çıktığını göstermiştir.

Yapılan analizler İberya yarımadasında 1816 yılının özellikle Temmuz ve Ağustos'ta aylık ortalama sıcaklık değerlerinin 1871-1900 referans dönemine göre 2-3°C'lik bir negatif anomali gösterdiğini ortaya koymuştur. Yaz mevsiminde gözlenen sıcaklık anomalisi püskürmeyi izleyen 1817 ve 1818 yıllarında giderek azalmıştır (Trigo vd., 2009). Kazakistan'ın doğusunda Zajsan gölü bölgesinde yer alan Sibiry melez çamlarında yaz odunu yoğunluğuna göre oluşturulan yaz mevsimine ait sıcaklık rekonstrüksiyonları, 1600 yılından bu yana gerçekleşen 20 volkanik püskürme sonrası bölgede sıcaklıkların azaldığını göstermiştir. 1600-2002 referans dönemine göre 20 volkanik püskürme sonrası yaz sıcaklıklarında gözlenen ortalama anomali - 0.51 °C'dir. Bu dönemde en kuvvetli yaz sıcaklık anomalisi 1783 yılında -1.73 °C ile Laki püskürmesinin gerçekleştiği yılda ortaya çıkmıştır. 1982 yılında El Chichón püskürmesini izleyen 1983-1984 yıllarında gözlenen sıcaklık anomalisi - 0.35°C, 1991 yılında Pinatubo püskürmesinden sonra 1991-1993 yılları arasında gözlenen anomali ise - 0.47°C olarak belirlenmiştir (Chen vd., 2012).

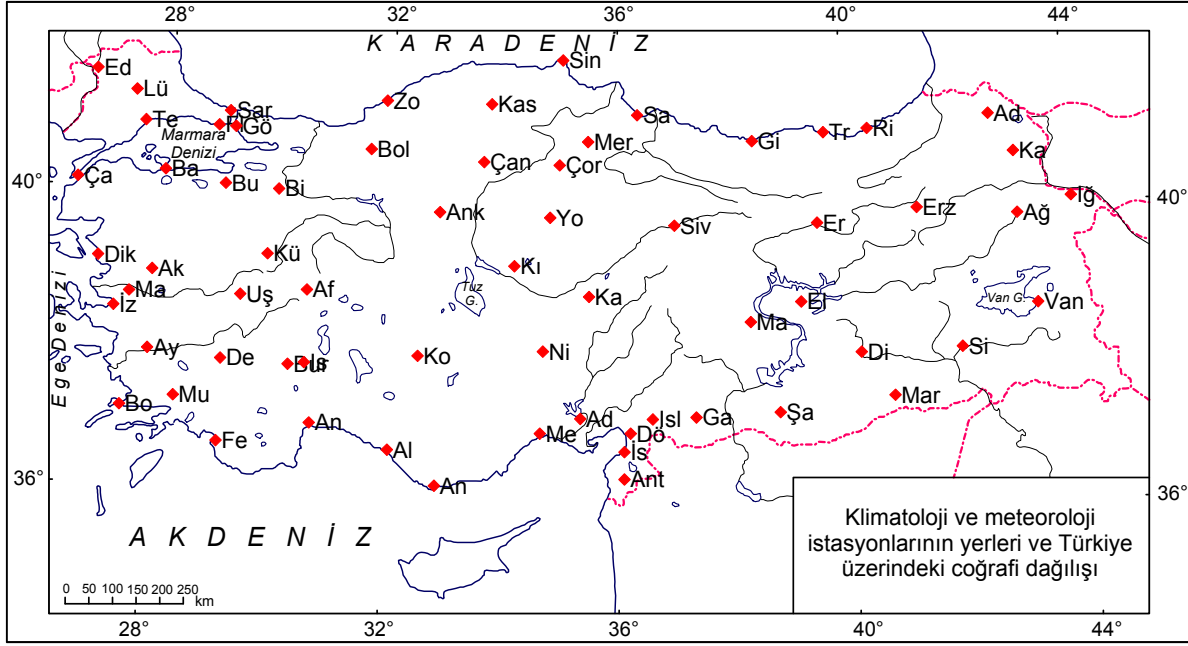
Avrupa'da ağaç halkalarında maksimum yaz odunu yoğunluğuna göre oluşturulan ve geçmiş 9 yüzyıl öncesine uzanan kronolojiler ile bu kronolojilerde gözlenen soğuma eğilimleri analiz edildiğinde, Haziran-Ağustos aylarında sıcaklıklarda en kuvvetli azalmanın (-0.52 ± 0.05

°C) Kuzey Avrupa'da ortaya çıktığı görülmüştür. Yaz mevsiminde gözlenen sıcaklık azalması volkanik püskürmelerden iki yıl sonra kuvvetlenmektedir.

Buna karşılık volkanik püskürmelerden sonra gözlenen sıcaklık azalması Orta Avrupa'da daha azdır (-0.18 ± 0.07 °C) ve püskürmeden bir yıl sonra gözlenmektedir. Elde edilen değerler daha kısa olan aletli meteorolojik gözlemler ile karşılaştırıldığında volkanik püskürmelerin yaz sıcaklıklarında yol açtığı azalmanın en fazla iki yıl ile sınırlı kaldığı, daha uzun süreli değişmelerin iklim sistemindeki geri besleme mekanizmaları yoluyla gerçekleşebileceği sonucuna ulaşmışlardır (Esper vd., 2013).

18. ve 19. yüzyılda gerçekleşen 11 şiddetli volkanik püskürme ile Türkiye'de ağaç halkalarının gelişiminin karşılaştırıldığı çalışmada, şiddetli volkanik püskürme ve onu izleyen yılın ilkbahar-yaz mevsiminde Türkiye'nin batısında yağış değerlerinin arttığı, daha nemli koşulların oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır (Köse vd., 2013). 1950 sonrası gerçekleşen 4 volkanik püskürme (Agung, Fuego, El Chichón, Pinatubo) sonrası Türkiye'de 62 meteoroloji istasyonunun yaz mevsiminde maksimum sıcaklıklarının 1950-2010 referans dönemine göre karşılaştırılarak incelendiği bir başka çalışmada, püskürmenin gerçekleştiği ve püskürmeyi izleyen ilk yaz mevsiminde hava sıcaklıklarının istasyonların % 74'ünde istatistiksel olarak anlamlı ölçüde azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Negatif sıcaklık anomalileri, genel olarak İç Anadolu'da yer alan istasyonlarda kuvvetliyen, Karadeniz kıyı kuşağında ve Ege Bölgesi'nin kuzeyinde yer alan istasyonlarda zayıflamaktadır (Erlat ve Türkeş, 2013).

Bu çalışmada 20. yüzyılın son yarısında tropikal kuşakta gerçekleşen (VEI değeri > 5 ve IVI değeri > 0.2 olan) üç volkanik püskürmenin, maksimum ve minimum hava sıcaklığı gözlem kayıtları uzun ve sürekli olan, Türkiye'deki 65 klimatoloji ve meteoroloji istasyonunun (Şekil 1) yaz mevsiminde sıcaklık koşullarında oluşturduğu alansal değişimleri saptamak amaçlanmıştır.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan klimatoloji ve meteoroloji istasyonlarının yerleri ve coğrafi dağılışı.

Figure 1: Locations and geographical distribution of the climatological and meteorological stations used in the study.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, Türkiye'de kesintisiz sıcaklık gözlemlerinin ilişkin özellikler dikkate alınarak 1950 yılı ve sonrasında gerçekleşen volkanik püskürmeler dikkate alınmıştır. Sıcaklık koşullarını etkileyebilecek volkanik püskürmeler seçilirken püskürmenin gerçekleştiği enlem ve püskürme sırasında açığa çıkan materyalin özelliği esas alınmıştır. Alçak enlemlerde gerçekleşen püskürmelerin küresel ölçekte iklim koşullarını etkilediği göz önüne alınarak, 1950 sonrası tropikal kuşakta ($> 40^{\circ}\text{K}$) gerçekleşen püskürmeler seçilmiştir. Seçilen püskürmelerin ortak özelliği, çıkan malzemenin stratosfere kadar ulaşması ve kükürt dioksit gazı açısından zengin olmasıdır. Bu nedenle 1950 sonrası alçak enlemlerdeki volkanik püskürmeler ele alınırken, püskürme sonucu oluşan bulutun yüksekliği ile çıkan tefra miktarını yansıtan Volkanik Patlama İndisi (Volcanic Explosivity Index -VEI) ile her iki kutup ve dağ buzullarındaki sülfür izotop anomalilerini yansıtan Buzul Volkanik İndisi (Ice core Volcanic Index -IVI) kullanılmıştır. Bunlardan Volkanik Eksplozyon İndisi püskürme şiddetinin 0-8 arasındaki rakamlarla değerlendirildiği ve en sakin püskürmenin 0, en şiddetlisinin ise 8 olduğu bir ölçektir. Volkanik Patlama İndisi en az 4 olması

durumuna püskürmenin stratosferik aerosol oluşturma potansiyeli taşımaktadır. Buzul Volkanik İndisi ise volkanik püskürme sonrasında oluşan sülfat aerosollerinin kutuplara kadar ulaşarak buzullarda biriktiğine ilişkin kanıtlar sunmaktadır (Robock ve Free, 1995). Buna göre 1950 yılından bu yana alçak enlemlerde gerçekleşen ve yukardaki ölçütlere uyan volkanik püskürmeler Agung, El Chichón ve Pinatubo volkanlarında gerçekleşmiştir.

Bu püskürmelere bağlı olarak oluşan volkanik aerosol bulutunun Türkiye'deki hava sıcaklıkları üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla, Türkiye'den seçilen 65 meteoroloji istasyonunun sıcaklık gözlemlerinden yararlanılmıştır. İstasyonların seçiminde eksik gözlemlerin olmaması ve Türkiye üzerinde olabildiğince iyi bir coğrafi dağılışı sergilemeleri etkili olmuştur.

Volkanik aerosollerin troposferde gelen kısa dalga boylu Güneş ışınlarını geri yansıtma ve difüzyona uğrayan güneş ışını tutarını artırarak oluşturdukları negatif ışınımsal zorlama ve sülfat aerosol-bulut-albedo geri besleme düzeneğinin olası ortak etkileri göz önüne alınarak, analizlerde aylık ortalama maksimum ve minimum hava sıcaklıkları temel alınmıştır. Akdeniz havzasında kış ve bahar aylarında hava sistemlerinin

etkinliklerinin (hız, şiddet ve sıklık) artması ve orta enlem siklonlarının (cephesel alçak basınçlar) geçişi, sıcaklık koşullarının sık sık değişmesine yol açmaktadır. Ayrıca bu mevsimde, Arktik Salınım ve Kuzey Atlantik Salınımı sıcaklık koşullarının yıllar arası değişkenliğini büyük ölçüde denetler. Buna karşılık, atmosfer dolaşımının şiddetini kışa göre kaybettiği ve orta enlem siklon etkinliklerinin Türkiye'nin kuzeyine kaydığı, soğuk adveksiyonların ve soğuk hava baskınlarının etkisini kaybettiği yaz mevsimi, hava ve iklim koşulları bakımından daha karardır. Bu nedenle çalışmada volkanik püskürmelerin sıcaklık koşulları üzerindeki doğrudan etkilerinin daha belirgin olduğu yaz mevsimine ait (Haziran-Temmuz-Ağustos) aylık ortalama maksimum ve minimum sıcaklık değerleri kullanılmıştır.

Volkanik püskürmelerden sonra açığa çıkan SO₂'nin sülfat aerosolüne dönüşme sürecinin genellikle 4-6 ay arasında değiştiği göz önüne alınarak analizlerde püskürme yılından bir sonraki

yaz aylarının (11 ile 14 ay sonrası) sıcaklık değerleri esas alınmıştır. Yaz mevsimini izleyen ve tropikal kuşakta gerçekleşen volkanik püskürmeler sonrası oluşan sülfat aerosollerinin Brewer-Dobson dolaşımı ile atmosferde kalış süresinin püskürmeyi izleyen 2 yıl sonrasına kadar uzadığı bilinmektedir. Bu nedenle, çalışmada volkanik püskürmenin gerçekleştiği yılın yaz mevsimi (YAZ 0) ile püskürmeyi izleyen ilk yılın yaz mevsimi (YAZ +1) ile bir sonraki yılın yaz mevsimi (YAZ +2) ortalama maksimum ve minimum hava sıcaklıkları kullanılmıştır (Tablo 2).

Volkanik püskürmelerin YAZ 0, YAZ +1 ve YAZ +2'nin sıcaklık koşullarında oluşturduğu anomalileri belirlemek amacıyla referans dönemi olarak püskürmenin gerçekleştiği yıldan geriye doğru olan 5 yılın sıcaklıkları esas alınmıştır. Örneğin Pinatubo püskürmesi 1991 yılında gerçekleşmiş, YAZ 0, YAZ +1 ve YAZ +2 için 1986-1990 dönemine ait sıcaklık ortalamaları referans dönemini oluşturmuştur (Tablo 2).

Tablo 1: 20. yüzyılın ikinci yarısında tropikal kuşakta gerçekleşen ve VEI > 5 ve IVI > 0.2 olan volkanik püskürmeler (Tablo Robock ve Free, 1995 ve Robock, 2000'dan yararlanılarak tekrar düzenlenmiştir).

Table 1: Major Tropical Volcanic Eruptions since second half of the 20th century, those of which were VEI > 5 or IVI > 0.2 (The list was modified from Robock ve Free, 1995; Robock, 2000)

Volkan	Ülke	Enlem	Boylam	Püskürme Tarihleri			VEI	IVI
				Başlama	En şiddetli	Sona erme		
Agung	Endonezya	8.34 °G	115.50 °D	02 1963	17 03 1963	01 1964	5	0.2
El Chichón	Meksika	17.36 °K	93.22°B	03 1982	4 04 1982	09 1982	5	0.2
Pinatubo	Filipinler	15.13 °K	120.35 °D	04 1991	15 06 1991	09 1991	6	0.3

Tablo 2: 1950 – 2013 döneminde gerçekleşen üç volkanik püskürme ve analizlerde (HTA) Türkiye'deki yaz ortalama maksimum ve ortalama minimum hava sıcaklığı değerleri kullanılan referans dönemleri.

Table 2: Three volcanic eruptions occurred during the period 1950-2013 and the reference periods used in analysing summer average maximum and average minimum air temperatures in Turkey.

Volkan Adı	Püskürme Tarihi	YAZ 0	YAZ +1	YAZ +2	Referans dönemi
Agung	17 Mart 1963	1963	1964	1965	1958-1962
El Chichon	4 Nisan 1982	1982	1983	1984	1977-1981
Pinatubo	15 Haziran 1991	1991	1992	1993	1986-1990

Aynı yöntem Bradley (1988) tarafından 3 yıl ve Kelly vd. (1996) tarafından 5 yıl olarak ele alınmıştır. Bu yolla rasat süresinde gözlenen artış veya azalış yönündeki eğilimlerden de kaçınılmıştır.

Türkiye'de yaz mevsiminde ortalama maksimum (minimum) hava sıcaklıklarının volkanik püskürmelere verdiği yanıtları belirlemek amacıyla, her istasyonun volkanik püskürme yılı (YAZ 0) püskürmeyi izleyen ikinci (YAZ +1) ve üçüncü (YAZ +2) karşılık gelen yaz mevsimi ortalama maksimum (minimum) hava sıcaklıklarının birleşik anomalileri hesaplandı.

Bir istasyonda volkanik püskürmelere karşılık gelen birleşik maksimum ve birleşik minimum hava sıcaklıklarının ortalamalarının uzun süreli ortalama ile karşılaştırılması, "volkanik püskürme ve onu izleyen ilk yıla ait ortalama ile uzun süreli ortalama maksimum hava sıcaklıkları arasında önemli bir fark yoktur" boş hipotezine dayanarak, Cramer t_k sınaması ile yapıldı.

N yıldan oluşan ortalama maksimum (minimum) hava sıcaklığı dizilerinin uzun süreli ortalaması (\bar{X}), standart sapması (σ) ve \bar{X} ile karşılaştırılan volkanik püskürme yıllarına karşılık gelen yaz maksimum (minimum) hava sıcaklığı değerlerinin birleşik ortalaması (\bar{X}_k), sırasıyla,

$$\bar{X} = (1/N) \sum_{i=1}^N X_i, \quad (1)$$

$$\sigma = \left[\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 / N \right]^{1/2} \text{ ve} \quad (2)$$

$$\bar{X}_k = (1/n) \sum_{i=1}^n X_i \quad (3)$$

şeklinde tanımlandığında, Denk. 1, 2 ve 3'ten önce normalleştirilmiş anomali, τ_k , hesaplanır:

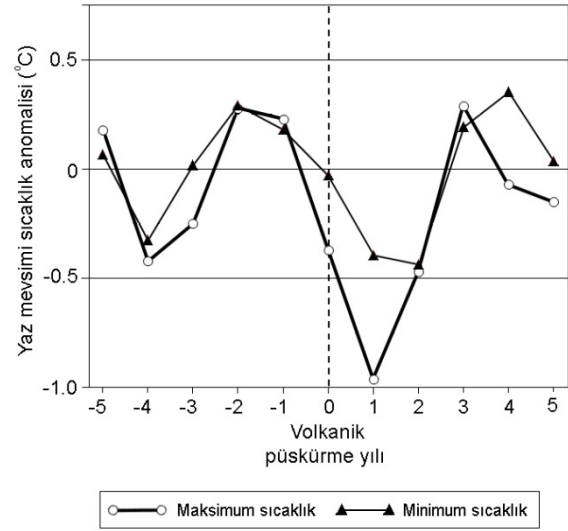
$$\tau_k = (\bar{X}_k - \bar{X}) / \sigma \quad (4)$$

Sonra τ_k 'nin anlamlılık sınaması, t_k , Denk. 5'yen yararlanılarak elde edilir

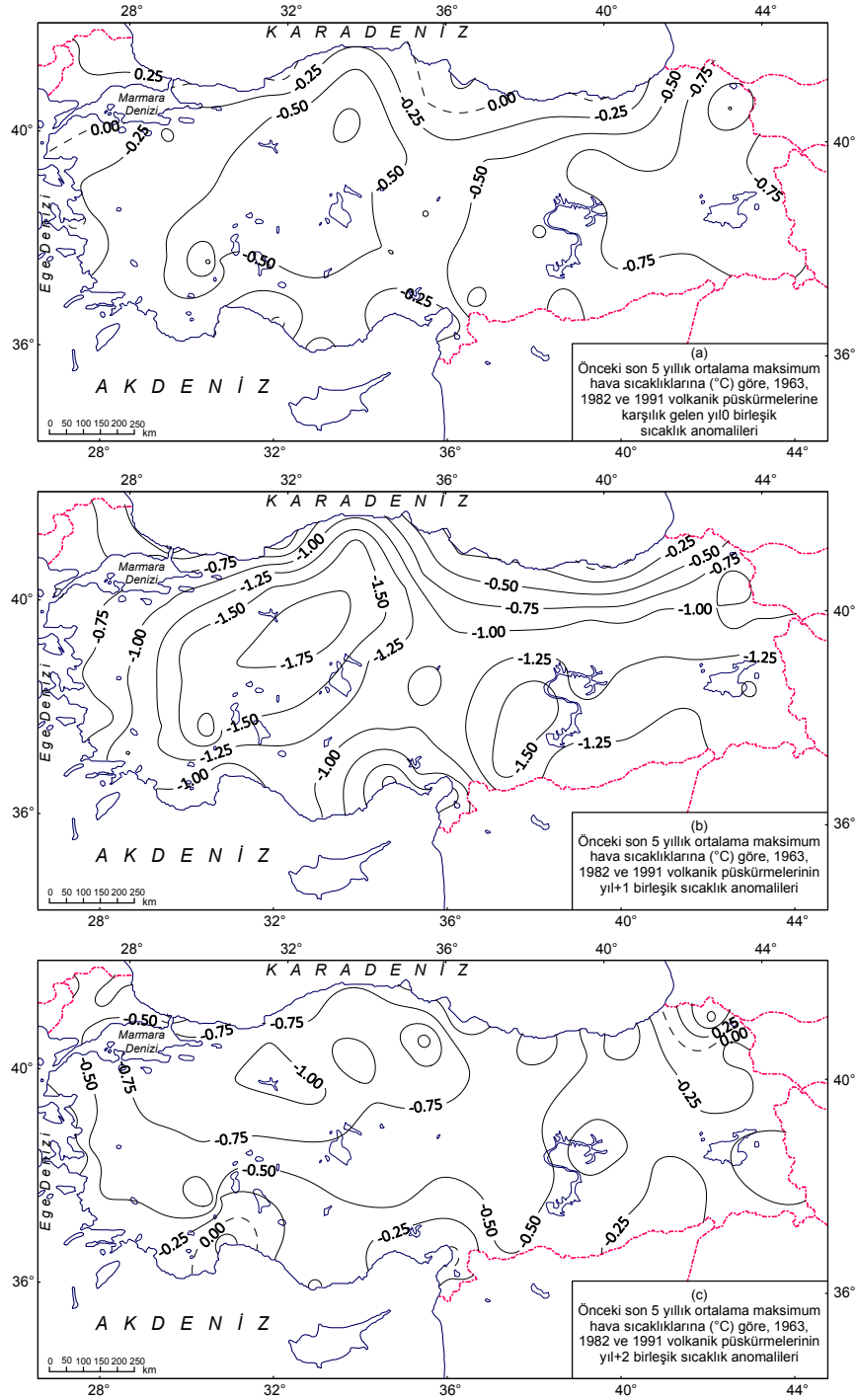
$$t_k = \tau_k \left[n(N-2) / (N-n-n\tau_k^2) \right]^{1/2} \quad (5)$$

3. Bulgular

Yapılan analizler, tropikal kuşakta gerçekleşen şiddetli (VEI= 5 ve üzeri) volkanik püskürmelerin yaz mevsiminde Türkiye'de hava sıcaklıklarını etkilediğini, püskürmeyi izleyen ilk iki yıl boyunca ortalama maksimum ve minimum hava sıcaklıkların azaldığını göstermektedir. Yaz mevsiminde maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinde gözlenen negatif anomaliler, püskürmenin gerçekleştiği yıl ile püskürmeyi izleyen ikinci ve üçüncü yaz mevsimlerinde farklılıklar göstermektedir (Şekil 2).



Şekil 2: 20. yüzyılın ikinci yarısında tropikal kuşakta gerçekleşen üç volkanik püskürmeyi izleyen ilk üç yılda yaz mevsiminde, Türkiye ortalaması birleşik ortalama maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinin püskürme öncesi geçmiş 5 yıllık ortalamaya göre farkları (°C).
Figure 2: Country based composite summer maximum and minimum air temperature departures (°C) from the past 5-year summer averages of Turkey, belonging to the first three summer seasons following three volcanic eruptions, which were occurred in the tropical zone in the second half of the 20th Century.



Şekil 3: Türkiye’deki 65 klimatoloji/meteoroloji istasyonunun volkanik püskürmelerden önceki son 5 yıllık ortalama maksimum hava sıcaklıklarına ($^{\circ}\text{C}$) göre, 1963 Agung, 1982 El Chichón ve 1991 Pinatubo kuvvetli volkanik püskürmelerine karşılık gelen (a) YAZ 0, (b) YAZ +1 ve (c) YAZ +2 birleşik sıcaklık anomalilerinin coğrafi dağılış desenleri.

Figure 3: Geographical distribution patterns of (a) Summer 0, (b) Summer +1 and (c) Summer +2 composite maximum air temperature averages calculated for 65 climatological and meteorological stations of Turkey corresponding to the 1963 Agung, 1982 El Chichón and 1991 Pinatubo eruptions, based on the past 5-year average maximum air temperatures before the occurrence of those strong volcanic eruptions.

20. yüzyılın ikinci yarısında tropikal kuşakta gerçekleşen üç şiddetli volkanik püskürmenin gerçekleştiği yılın yaz mevsiminde (YAZ_{MAK} 0), Türkiye'de incelenen 65 istasyonun 12'si dışında tüm istasyonlarda ortalama maksimum sıcaklıklar azalma eğilimi göstermiştir (Şekil 3a). İncelenen 65 istasyonun birleşik ortalamasına göre YAZ_{MAK} 0'da referans dönemine göre sıcaklık ortalamaları -0.38 °C azalmıştır. Mart, Nisan ve Haziran aylarında gerçekleşen bu üç volkanik püskürmeleri izleyen ilk yaz mevsiminde ortalama maksimum sıcaklıklarda en kuvvetli negatif anomaliler Türkiye'nin doğusunda yer alan Kars, Ağrı, Ardahan ve Erzincan istasyonlarında gözlenmiştir. Ayrıca Güneydoğu Anadolu'da Diyarbakır, İslahiye ve Malatya çevresinde de sıcaklıklardaki azalma eğilimi referans dönemine göre -1°C'ye yaklaşmıştır (Şekil 3a). Üç volkanik püskürme ayrı ayrı ele alındığında maksimum sıcaklıklarda ne kuvvetli negatif sapma El Chichón volkanın püskürdüğü 1982 yaz mevsiminde gözlenmiştir. İncelenen 65 istasyonun tümünde maksimum sıcaklıkların referans dönemine göre negatif anomali göstermiş, birleşik negatif anomalinin değeri -1.17°C'yi bulmuştur. Bunu -0.12°C ile Pinatubo püskürmesinin gerçekleştiği 1991 yaz mevsimi izlemektedir.

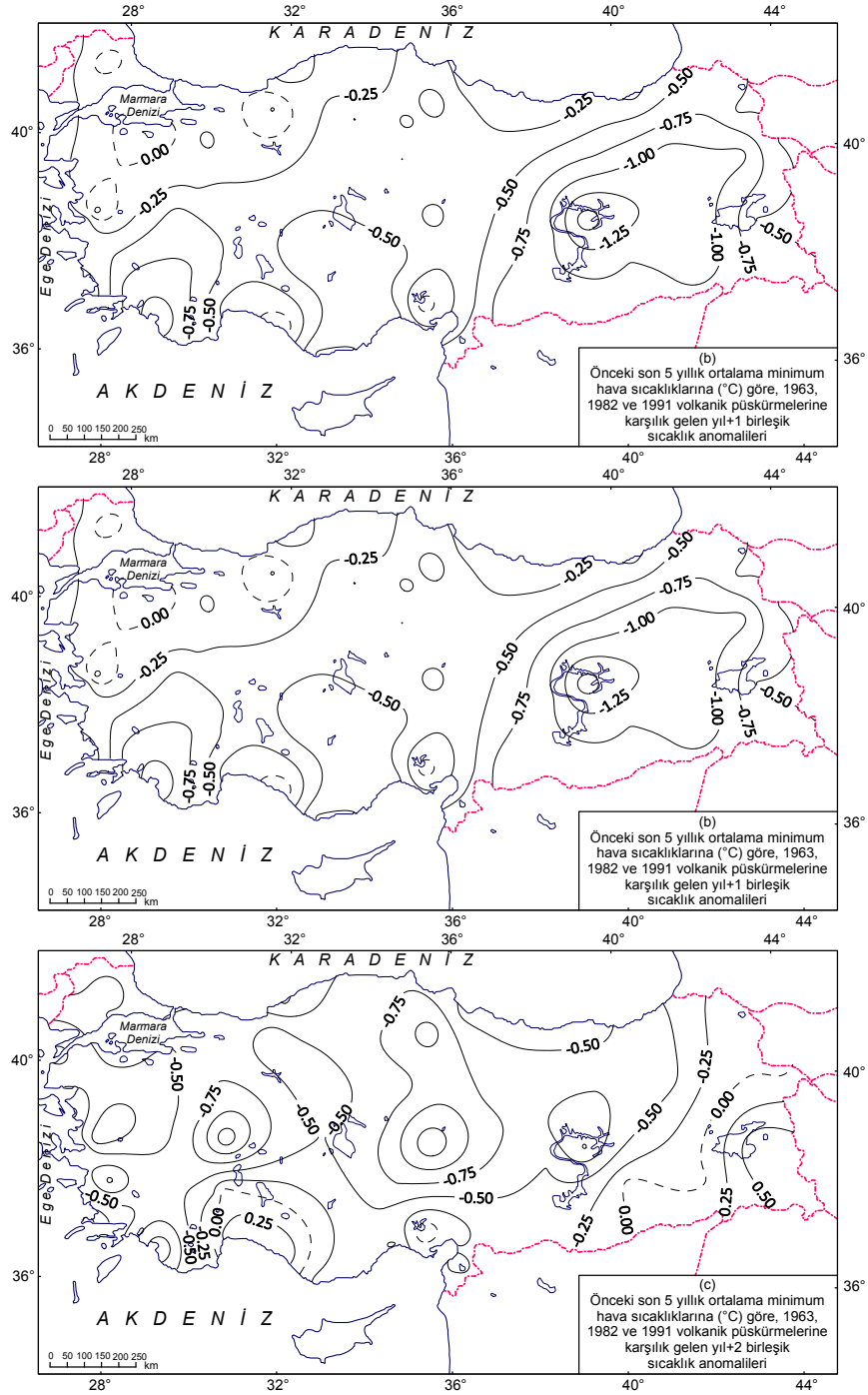
Türkiye'de yaz mevsiminde ortalama maksimum sıcaklıklarda en belirgin azalma volkanik püskürmeyi izleyen ikinci yaz mevsiminde (YAZ_{MAK} +1) gözlenmiştir (Şekil 3b) ve birleşik sıcaklık ortalamasına göre anomali değeri -0.97 °C'ye ulaşmıştır. Rize, Trabzon ve Sarıyer istasyonları dışında tüm istasyonlarda volkanik püskürmeyi izleyen bir sonraki yaz mevsimine ait ortalama maksimum sıcaklıklar azalmış, 33 istasyonda gözlenen negatif anomali değeri 1°C'yi geçmiştir. Burdur, Çankırı, Kütahya gibi İç Anadolu'da yer alan istasyonlarda soğuma daha belirgindir ve en kuvvetli negatif anomali -1.97 °C ile Ankara istasyonuna aittir. Volkanik püskürmeler tek tek ele alındığında yaz mevsiminde ortalama maksimum sıcaklıklarda en kuvvetli negatif anomali El Chichón volkanik püskürmesini izleyen 1983 yılında gözlenmiştir. Ağrı ve Rize dışındaki tüm istasyonlarda 1983 yaz mevsiminde maksimum sıcaklıklarda referans dönemine göre gözlenen birleşik negatif anomalinin değeri -1.21°C'ye ulaşmıştır. Pinatubo

volkanik püskürmesini izleyen ikinci yaz mevsiminde tümü Karadeniz kıyısında yer alan 6 istasyon dışında Türkiye'de maksimum sıcaklıklar belirgin ölçüde azalmış, birleşik anomali değeri -1.04 °C olmuştur.

Türkiye'de birleşik ortalama maksimum sıcaklıkların volkanik püskürmelere verdiği yanıt, püskürmeyi izleyen üçüncü yaz mevsiminde de (YAZ_{MAK} +2) 4 istasyon hariç negatif yöndedir (Şekil 3c). Üç püskürmeye ait birleşik anomali değeri -0.48°C'dir. Yaz sıcaklıklarında en belirgin azalma El Chichón püskürmesini izleyen yaz mevsiminde gözlenmiştir. Genel olarak azalma eğilimi, İç Anadolu'da yer alan istasyonlarda kuvvetlenirken, Karadeniz kıyı kuşağının orta ve batısında zayıflamaktadır.

Tropikal kuşakta gerçekleşen volkanik püskürmeleri izleyen yılların yaz mevsiminde Türkiye'de maksimum sıcaklıklarda olduğu gibi minimum sıcaklık değerleri azalma eğilimi göstermekle birlikte, sıcaklık değerlerinde gözlenen negatif anomaliler maksimum sıcaklıklardaki kadar belirgin değildir (Şekil 4a, 4b ve 4c). Nitekim 65 istasyonun birleşik ortalamasına göre volkanik püskürmenin gerçekleştiği yaz mevsiminde (YAZ_{MIN} 0), ortalama minimum sıcaklıklar referans dönemine göre 35 istasyonda azalma göstermiş, birleşik negatif anomali değeri -0.05°C ile sınırlı kalmıştır. Püskürmeyi izleyen ikinci yaz mevsiminde (YAZ_{MIN} +1) yaz mevsiminde ortalama minimum sıcaklıklar referans dönemine göre 57 istasyonda azalırken negatif anomali değeri -0.44°C'ye yükselmiştir. En kuvvetli soğuma eğilimi Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da yer alan istasyonlarda ortaya çıkmıştır. Örneğin Ağrı, Elazığ, Diyarbakır ve Siirt istasyonlarında negatif anomali 1°C'yi geçmiş Elazığ istasyonunda -1.65 °C'ye ulaşmıştır. -0.47°C ile en kuvvetli sıcaklık anomalisinin gözlendiği püskürmeden sonraki üçüncü yaz mevsiminde (YAZ_{MIN} +2), 8 istasyon hariç tüm istasyonlarda ortalama minimum sıcaklıklar referans dönemi ortalamalarının altında kalmıştır (Şekil 4c). Özellikle yaz mevsiminde görülen soğuma, Ege ve İç Anadolu'da yer alan birçok istasyonda -1°C'yi geçmektedir.

Cramer t_k sınamasına göre (çizelge ve şekil verilmedi), volkanik püskürmenin gerçekleştiği



Şekil 4: Türkiye’deki 65 klimatoloji ve meteoroloji istasyonu için hesaplanmış olan, volkanik püskürmelerden önceki son 5 yıllık ortalama minimum hava sıcaklıklarına (°C) göre, 1963 Agung, 1982 El Chichón ve 1991 Pinatubo kuvvetli volkanik püskürmelerine karşılık gelen (a) YAZ 0, (b) YAZ +1 ve (c) YAZ +2 birleşik sıcaklık anomalilerinin coğrafi dağılış desenleri.

Figure 4: Geographical distribution patterns of (a) Summer 0, (b) Summer +1 and (c) Summer +2 composite minimum air temperature averages calculated for 65 climatological and meteorological stations of Turkey corresponding to the 1963 Agung, 1982 El Chichón and 1991 Pinatubo eruptions, based on the past 5-year average minimum air temperatures before the occurrence of those strong volcanic eruptions.

yılın yaz mevsiminde ($YAZ_{MAK} 0$), 11 istasyon hariç ortalama maksimum hava sıcaklıkları referans dönemine göre negatif anomali göstermiştir. Gözlenen azalma eğilimi 2 istasyonda istatistiksel olarak anlamlıdır. $YAZ_{MAK} +1$ 'de uzun süreli ortalamaya göre Sarıyer, Trabzon ve Rize dışındaki tüm istasyonlarda ortalama maksimum hava sıcaklıkları azalmış, bu eğilim 41 istasyonda istatistiki olarak anlamlıdır. $YAZ_{MAK} +2$ 'de ortalama maksimum hava sıcaklıkları 5 istasyon dışında negatif anomali göstermiştir ve sıcaklıklarda gözlenen azalma eğilimi 17 istasyonda istatistiki olarak anlamlıdır. Sonuçlar Türkiye'de maksimum sıcaklıklarda en önemli sıcaklık değişikliğinin püskürmeyi izleyen ikinci yaz mevsiminde ($YAZ_{MAK} +1$) gerçekleştiğini, volkanik püskürmeden kaynaklanan termik değişikliklerin etkisinin $YAZ_{MAK} +2$ 'ye kadar uzadığını ortaya koymaktadır. Türkiye'de, yaz mevsiminde, ortalama maksimum hava sıcaklıklarının şiddetli tropikal volkanik püskürmelere gösterdiği tepkiler, bölgesel olarak bazı farklılıklar göstermektedir. Maksimum sıcaklıkların volkanik püskürmelere verdiği yanıtlar, İç Anadolu bölgesi ve Güneydoğu Anadolu'nun daha karasal iç bölgelerindeki istasyonların çoğunda daha kuvvetlidir. Buna karşılık, yanıtlar, Karadeniz kıyılarındaki ve Ege Bölgesi'nin kuzeyinde yer alan istasyonlarda ötekilerden çok daha zayıftır. Bu durum yaz mevsiminde Türkiye ve bölgesindeki sinoptik ölçekli dolaşım desenleri ve topografik koşullardaki bölgesel farklılıklar ile açıklanabilir. Yazın, ITCZ ile birlikte subtropikal yüksek basınçlar ve polar cephe de kuzeye doğru çekilmektedir. ITCZ, genel olarak, kuzeye kayarak, güney ve güneybatı Asya ve Kuzey Afrika üzerine yerleşmekte, böylece Türkiye ve çevresi, yazın Muson alçak basıncının hem yüzey hem de dolaşım temelli etkisi altına girmekte, daha stabil hava koşulları yaşanmaktadır. Buna karşılık Karadeniz kıyı kuşağında polar cepheye bağlı cephesel yağışlar ve kuzeyli dolaşım ile bağlantılı orografik yağışlar sürmekte, hava sıcaklıklarındaki değişimler yükselti ve genel olarak orografya, kara-deniz etkileşimi ve daha küçük ölçekli süreçler tarafından denetlenmektedir (Türkeş, 2010).

Cramer t_k sınavına göre (çizelge ve şekil verilmedi), volkanik püskürme yılında ortalama minimum sıcaklıklar referans dönemine göre 29

istasyonda pozitif, 36 istasyonda ise negatif anomali göstermiştir. $YAZ_{MIN} +1$ 'de ortalama minimum sıcaklıkların referans dönemine göre azaldığı 57 istasyondan 17'sinde bu azalma istatistiki olarak anlamlıdır. Ortalama minimum sıcaklıkların volkanik püskürmelere verdiği yanıt $YAZ_{MIN} +2$ 'de daha belirgindir. $YAZ_{MIN} +2$ 'de 9 istasyon dışında incelenen tüm istasyonlarda ortalama minimum sıcaklıklar azalma eğilimi göstermiş ve bunlardan 20 istasyonda bu eğilim istatistiki olarak anlamlıdır.

4. Sonuç

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, tropikal kuşakta gerçekleşen volkanik püskürmeler ve buna bağlı olarak alınan Güneş radyasyonundaki azalma ile Türkiye'de yaz mevsimi ortalama maksimum ve minimum hava sıcaklıklarında gözlenen değişiklikler arasında çok yakın bir ilişki olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1- Veriler, 1950 yılı sonrası tropikal kuşakta gerçekleşen 3 volkanik püskürme sonucu Türkiye'de püskürmeyi izleyen iki yaz mevsimi boyunca sıcaklıklarda belirgin ve önemli değişimlerin yaşandığını göstermiştir. Sıcaklıklarda gözlenen değişimin alansal dağılımı dikkate alındığında, sıcaklıkların volkanik püskürmelere gösterdiği tepkiler, Karadeniz kıyı kuşağında yer alan istasyonlarda zayıflarken, İç ve Batı Anadolu'daki istasyonların çoğunda arttığı görülür.

2- Alçak enlemlerde gerçekleşen şiddetli volkanik püskürmeler sonrası yaz sıcaklıklarında en belirgin değişim maksimum sıcaklıklarda gözlenmektedir. Bu durum volkanik püskürmelerden sonra stratosferde yer alan volkanik sülfat aerosollerinin Güneş'ten gelen görünür dalga boyundaki radyasyonun bir kısmını uzaya geri yansıtması ve buna bağlı olarak yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonu şiddetindeki azalma ile açıklanabilir. Ayrıca elde edilen sonuçlar alçak enlemlerde gerçekleşen volkanik püskürmelerin ortalama maksimum sıcaklıklarda gözlenen değişkenlik açısından en önemli ısınimsal zorlama etmenlerinden biri olduğunu göstermiştir. Maksimum sıcaklıklarda en kuvvetli negatif anomaliler 1982 yılındaki El Chichon ve 1991 yılındaki Pinatubo püskürmesi sonrası gözlenmiştir.

3- Ortalama maksimum sıcaklıklarda gözlenen azalma eğilimi, volkanik püskürmeyi izleyen ikinci yaz mevsiminde (YAZ +1) daha şiddetlidir. Hava sıcaklıklarının volkanik püskürmeye verdiği tepkide gözlenen bu gecikme, volkanik püskürmeler sırasında açığa çıkan sülfürün atmosferin stratosfer tabakasında püskürmeyi izleyen ilk bir ay içinde belirmesi ve oluşan volkanik sülfat aerosollerinin kalış süresinin birkaç yıla kadar uzaması ile açıklanabilir.

4- Minimum sıcaklıkların volkanik püskürmelere verdiği yanıt maksimum sıcaklıklardaki kadar belirgin değildir. Ayrıca en kuvvetli azalma eğilimi volkanik püskürmeyi izleyen Yıl +2'de gözlenmektedir. Birleşik sıcaklık anomalilerinin maksimum sıcaklıklara göre göreceli daha zayıf olması ve daha az sayıda anlamlı oluşu, minimum sıcaklıkların maksimum sıcaklıklarda olduğu gibi doğrudan alınan Güneş radyasyonu miktarı ile ilişkili olmaması ile açıklanabilir.

5- Üç volkanik püskürme sonrasında en kuvvetli soğuma eğiliminin 1982 yılında faaliyete geçen El Chichón volkanı sonrası gözlenmesi, bu yılda sıcaklık koşullarını denetleyen diğer faktörlere bağlanabilir. Nitekim yapılan çalışmalar kuvvetli

El Niño yıllarında, Doğu Asya'da Çin'in doğusu ve Japonya ile Akdeniz havzasının güneyi ve Türkiye'de yaz mevsiminin daha serin geçtiğini göstermektedir (Ashok vd., 2007). 20. yüzyıldaki en kuvvetli El Niño yıllarından biri olan 1982 yılında aynı zamanda şiddetli bir volkanik püskürmenin gerçekleşmiş olması yaz sıcaklıklarının diğer püskürme yıllarına göre çok daha kuvvetli azalmasında etkili olduğu söylenebilir.

6- Bu çalışmada elde edilen ilk sonuçlar, daha önce kuzey yarımkürede volkanik püskürmeler sonrasında yaz mevsiminde gözlenen sıcaklık değişimlerine ilişkin çalışmaların sonuçları ile büyük ölçüde uyumludur. Gerçekten, iklim rekonstrüksiyonları ile elde edilen veya aletli gözlemlerin yapıldığı döneme ait yaz sıcaklıklarının tropikal volkanik püskürmeler sonrasında azaldığı, bu etkinin özellikle kuzey Avrupa'da, güney Avrupa ve Akdeniz Havzasına göre çok daha belirgin olduğunu, etkinin volkanik püskürmeyi izleyen ikinci yaz mevsiminde daha da kuvvetlendiğini göstermektedir (ör. Luterbacher vd, 2004; Fischer vd, 2007).

REFERANSLAR

- Ammann, C. M., Naveau P. 2003. 'Statistical analysis of tropical explosive volcanism occurrences over the last 6 centuries'. *Geophysical Research Letters* **30**, 1210, doi:10.1029/2002GL016388, 5.
- Ashok, K., Behera, S. K., Rao, S. A., Weng, H., Yamagata, T. 2007. 'El Niño Modoki and its possible teleconnection'. *Journal of Geophysical Research* **112**, C11007, doi:10.1029/2006JC003798.
- Bradley, R. S. 1988. 'The explosive volcanic eruption signal in Northern Hemisphere continental temperature records'. *Climate Change* **12**, 221–243.
- Chen, F., Yuan, Y., Wei W., Wang L., Yu S., Zhang R., Fan Z., Shang H., Zhang T., Li Y. 2012. 'Tree ring density-based summer temperature reconstruction for Zajsan Lake area, East Kazakhstan'. *International Journal of Climatology* **32**: 1089–1097.
- Deshler, T. 2008. 'A review of global stratospheric aerosol: Measurements, importance, life cycle, and local stratospheric aerosol'. *Atmospheric Research* **90**, 223–232.
- Erlat, E., Türkeş, M. 2013. 'Tropikal Kuşakta Gerçekleşen Volkanik Püskürmelerin Hava Sıcaklıklarına Etkisi: Türkiye Örneği' Profesör Doktor İlhan Kayan'a Armağan Kitabı Sayfa 423-431. Yayıncı: Ege Üniversitesi Yayınları Edebiyat Fakültesi Yayın No: 181, Bornova.
- Esper, J., Schneider, L., Krusic, P. J., Luterbacher, J., Büntgen, U., Timonen, M., Sirocko, F., Zorita, E. 2013. 'European summer temperature response to annually dated volcanic eruptions over the past nine centuries'. *Bulletin of Volcanology* **75**, 736.
- Fischer, E. M., Luterbacher, J., Zorita, E., Tett, S. F. B., Casty, C., Wanner, H. 2007. 'European climate response to tropical volcanic eruptions over the last half millennium'. *Geophysical Research Letters* **34** (5), doi:10.1029/2006GL027992.
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D. W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D. C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M., and Van Dorland, R. 2007. Radiative Forcing of Climate Change, in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (edited by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller), pp. 129–234, Cambridge Univ. Press, Cambridge and New York.
- Jones, P. D., Moberg, A., Osborn, T. J., Briffa, K. R. 2004. 'Surface climate responses to explosive volcanic eruptions seen in long European temperature records and mid-to-high latitude tree-ring density around the Northern Hemisphere'. *Volcanism and the Earth's Atmosphere, Geophysical Monograph Series* **139**, edited by A. Robock and C. Oppenheimer, pp. 239–254, AGU, Washington, D. C.
- Kelly, P. M., Pengqun, J., Jones, P. D. 1996. 'The spatial response of the climate system to explosive volcanic eruptions'. *International Journal of Climatology* **16**, 537–550.
- Köse, N., Akkemik, U., Güner, H.T., Dalfes, H.N., Grissino-Mayer, H.D., Özeren, M.S., Kindap, T. 2013. 'An improved reconstruction of May-June precipitation using tree-ring data from western Turkey and its links to volcanic eruptions'. *International Journal of Biometeorology* **57(5)**, 691–701.
- Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M., Wanner, H. 2004. 'European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500'. *Science* **303**, 1499-1503.
- Robock, A., Mao J. 1995. 'The volcanic signal in surface temperature observations'. *Journal of Climate* **8**, 1086-1103.

- Robock, A. Free, M. P. 1995. 'Ice cores as an index of global volcanism from 1850 to the present'. *Journal of Geophysical Research* **100**, 11549-11567.
- Robock, A. 2000. 'Volcanic eruptions and climate'. *Reviews of Geophysics* **38**, 191-219.
- Shindell, D. T., Schmidt G. A., Mann M. E., Faluvegi G. 2004. 'Dynamic winter climate response to large tropical volcanic eruptions since 1600'. *Journal of Geophysical Research* **109**, D05104, doi:10.1029/2003JD004151.
- Stenchikov, G. L., Kirchner, I., Robock, A., Graf, H.F., Antuña, J. C., Grainger, R. G., Lambert, A., Thomason, L. 1998. 'Radiative forcing from the 1991 Mount Pinatubo volcanic eruption'. *Journal of Geophysical Reserach* **103**, 13837-13857.
- Trigo, R. M., Vaquero, J. M., Alcoforado, M. J., Barriendos, M., Tabora, J., Garcia-Herrera, R., Luterbacher, J. 2009. 'Iberia in 1816, the year without summer'. *International Journal of Climatology* **29**, 99-115.
- Türkeş, M. 2010. *Klimatoloji ve Meteoroloji. Birinci Baskı, Kriter Yayınevi - Yayın No. 63, Fiziki Coğrafya Serisi No. 1, ISBN: 978-605-4613-26-7, 650 + XXII sayfa, İstanbul.*