

Türkiye Üzerinde ERA5 Saatlik Hava Sıcaklığı Verilerinin Doğrulaması

Meriç Yılmaz^{1,*} 

¹Atılım Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06830, Ankara.

Özet

Bu çalışmada, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) tarafından üretilen ERA5 yeniden analiz ürünü saatlik 2 m yüzey hava sıcaklığı verileri, Meteoroloji Genel tarafından işletilen 1773 meteorolojik gözlem istasyonunda elde edilen saatlik sıcaklık verileri kullanılarak 2011 - 2020 yılları arasında Türkiye üzerinde ve 7 coğrafi bölgede doğrulanmıştır. Analizlerde, saatlik, günlük ve aylık ortalama sıcaklık için hata istatistikleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, ERA5'in farklı zamansal çözünürlüklerde hava sıcaklıklarını istasyonlardan $-0,01 - 0,06$ °C sapmayla modellediğini, ortalama mutlak hata ve ortalama hata standart sapmasının ise sırasıyla $3,3 - 4,0$ °C ile $1,6 - 3,4$ °C olduğunu göstermektedir. Ortalama hata istatistiklerinin gün içinde saatlik ve yıl içinde aylık belirgin bir değişimi olmamakla birlikte, diğer mevsimlere kıyasla kış aylarında hata değişkenliği daha yüksek çıkmaktadır. ERA5 ve istasyon sıcaklık verilerinin korelasyonları çok yüksek çıkmaktadır ($0,93 - 0,99$). Yüksek zamansal korelasyona karşılık mekansal korelasyonun ($0,36$) düşüklüğü, ERA5 sıcaklık verisinin farklı bölgelerde güvenilir kullanımından önce mekansal olarak değişken düzeltme katsayılarına ihtiyaç duyacağını ortaya koymaktadır. Ortalama hata istatistikleri, farklı bölgelerde literatürde yapılan doğrulama çalışmalarıyla tutarlıdır. Buna göre, çalışmada elde edilen sonuçlar, ERA5 veri setlerinin Türkiye'de özellikle daha seyrek meteorolojik istasyon ağı içeren bölgelere odaklanan çeşitli uygulamalarda güvenilir bir şekilde kullanılabilceğini önermektedir.

Anahtar Sözcükler

Hava Sıcaklığı, ERA5, Doğrulama, Hata, Türkiye

Verification of ERA5 Hourly Air Temperature Data over Turkey

Abstract

In this study, produced by European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), ERA5 reanalysis hourly 2 m surface air temperature is validated over Turkey and 7 geographic regions using hourly temperature observations collected between 2011 and 2020 over 1773 ground-based meteorological observation stations operated by Turkish State Meteorological Service. In the analyses, error statistics were calculated for hourly, daily and monthly average temperatures. The results show ERA5 simulates air temperatures at different temporal resolutions with a bias of $-0.01 - 0.06$ °C, while the mean absolute error and mean error standard deviation are $3.3 - 4.0$ °C and $1.6 - 3.4$ °C, respectively. Although there is no significant hourly variation in mean error statistics during the day and monthly variation during the year, the error variability was found to be higher in winter compared to the other seasons. The correlations of ERA5 and station temperature data are very high ($0.93 - 0.99$). Compared to the high temporal correlation, low spatial correlation (0.36) suggests that spatially variable correction coefficients will be needed before reliable use of ERA5 temperature data in different regions. Mean error statistics are consistent with validation studies in the literature in different regions. Accordingly, the results obtained in this study suggest that ERA5 datasets can be reliably used in various applications in Turkey, especially focusing on regions with sparse meteorological station networks.

Keywords

Air Temperature, ERA5, Validation, Error, Turkey

1. Giriş

En önemli meteorolojik değişkenlerden biri olan hava sıcaklığı Küresel İklim Gözlem Sistemi (Global Climate Observing System) tarafından atmosferik alanda Temel İklim Değişkenlerinden biri olarak ilan edilmiştir (WMO 2010). Yüzey hava sıcaklığı birçok inşaat mühendisliği ve disiplinlerarası mühendislik uygulamalarında önemli bir veridir. Örneğin, su ve enerji döngülerini çözen fiziksel tabanlı hidrolojik modelleri kullanan çalışmalarda, iklim değişikliği çalışmalarında, iklimsel eğilim analizlerinde ve kuraklık analizlerinde hava sıcaklığı girdi verisi olarak yaygınlıkla kullanılmaktadır (Kadioğlu 1997; Tarek vd. 2020; NOAA 2021). Ayrıca, ülkemizde de büyük kayıplara sebep olan orman yangınlarının (son olarak 2021 yılı yazında ülkemizin Güney ve Batı sahil kesimini şiddetli biçimde etkilemiştir) risk haritalarının oluşturulması, ekstrem sıcaklıkların iklim değişikliği sebebiyle etkilerinin incelenmesi, yangın alanlarının zamana bağlı değişiminin modellenmesi, yangın sayısının değişkenliği gibi çalışmalarda da hava sıcaklığı kullanılmaktadır (Aziz vd. 2020; Vitolo vd. 2020; Coşkun 2021; KC vd. 2021).

Yüzey hava sıcaklığı meteorolojik yer gözlem istasyonları ve uzaktan algılama yöntemleri kullanarak yapılan gözlemler ile iklim ve sayısal hava tahmin modelleri gibi modeller vasıtasıyla elde edilebilir. İstasyon kaynaklı sıcaklık gözlemleri yer yüzeyinden 2 m yüksekliğe kurulan sensörler aracılığıyla doğrudan yapılır ve bu ölçümlerin, yukarıda bahsi geçen diğer yöntemlere kıyasla en doğru veri kaynağı olduğu kabul edilir (NASA 2021). Ancak, meteoroloji gözlem istasyonları noktasal ölçümler yapar ve çok yoğun istasyon ağı kurulmadığı sürece yapılan noktasal ölçümlerin mekansal temsil edebilirlik hataları artabilir. Bu durum özellikle sıcaklığın hızlı değişkenlik gösterdiği kompleks arazi koşullarında geçerlidir (Mutibwa vd. 2015). Yoğun istasyon ağı kurmak, istasyon kaynaklı hücresel veri oluşturmaya fayda sağlayabilir, ancak çok sık meteorolojik gözlem istasyon ağının yüksek kurulum ve bakım maliyetleri ile özellikle dağlık bölgelerde çok sayıda istasyon kurmanın pratik olmayışı göz ardı edilmemelidir. İlave olarak birçok uygulama, mekansal olarak sürekli hücresel hava sıcaklığı veri seti kullanımını gerektirir.

Yukarıdaki koşullar göz önüne alındığında istasyonların yanında uzaktan algılama veya sayısal hava tahmin modelleri gibi farklı bir kaynaktan hava sıcaklığı elde edilmesi birçok çalışma için gereklidir. Uzaktan algılama kaynaklı gözlemler, mekansal temsil edebilirlik hatalarının üstesinden gelmede faydalı bir çözüm yolu sağlayabilir. Ancak, genellikle uyduların kısa ömürlü olması, uzun vadeli (30 yıldan çok) çalışmalar için temelde farklı karakteristik özelliklere sahip çeşitli uydulardan alınan verilerin birleştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Örneğin, farklı teknolojik altyapı ile gönderilen uydular farklı hata karakteristiklerine sahip olabilir. Bu bağlamda, uzun klimatolojik veri seti elde etmek amacıyla farklı uydulardan elde edilen uzaktan algılama kaynaklı gözlemlerin birleştirilmesi, yüksek hata oranlarına yol açabilir.

Sayısal hava tahmin modelleri mekansal ve zamansal yönden tutarlı ve kesintisiz veri setleri sağlayabilirler. Bunlar yeniden analiz ve ileriye yönelik tahmin veri setleridir. Atmosferik yeniden analiz çalışmaları yer gözlemleri ile uydu kaynaklı gözlemlerden veri asimilasyonu metodolojileri ile faydalanmaktadır (Essou vd. 2016). Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi'nin (ECMWF) sağladığı ERA5 çeşitli atmosferik değişkenler sağlayan en yüksek kaliteli atmosferik yeniden analiz ürünlerinden biridir. ERA5 ileriye yönelik yapılmış olan eski tahminler ile yeni gözlemleri her 12 saatte bir birleştirerek mevcut atmosferik koşulları saatlik olarak daha doğru tahmin etmeyi hedeflemektedir (CDS 2021). Öte yandan saatlik ERA5 verilerinin de karakteristik hataları vardır ve bu verilerin hata oranlarının doğrulanması ve elde edilmesi özellikle bölgesel çalışmalar için gereklidir.

Farklı zamansal çözünürlüğü (saatlik, günlük, aylık) olan sıcaklık verilerinin değişik uygulamalarda kullanım alanı vardır. Örneğin saatlik sıcaklık verileri yaygınlıkla tam fiziksel hidrolojik modellerde kullanılırken günlük sıcaklık verileri kavramsal hidrolojik modellerde girdi olarak kullanılmaktadır. Aylık sıcaklık verileri ise özellikle kuraklık ve iklim değişikliği çalışmalarında yaygınlıkla kullanılmaktadır. Bu sebeple, sıralanan farklı zamansal çözünürlükteki sıcaklık verilerinin ilgili uygulamalarda kullanılmadan önce doğrulanmasına ihtiyaç vardır.

Küresel olarak veri sağlayan ERA5 simülasyonlarından 2 m yüzey hava sıcaklık değerlerinin doğrulama çalışmaları birçok çalışmada gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda, araştırmacıların ilgisi özellikle Arktik bölgelere yoğunlaşmıştır. ERA5 saatlik veri setinin başarısı yer gözlem istasyonları veya şamandıralarda yapılan gözlemlerle kıyaslanarak doğrulanmıştır. ERA5 sıcaklık verisinin soğuk mevsimde ortalama -4 °C sıcak yanlılığa (yukarı yanlılık), sıcak mevsimde ise ortalama $-1,8$ °C sıcak yanlılığa sahip olduğu ortaya konmuştur (Frederiksen 2018; Demchev vd. 2020). Ayrıca Demchev vd. (2020), ortalama hata standart sapmasının sıcak mevsimde $3,01$ °C, soğuk mevsimde ise $5,17$ °C olduğunu belirtmişlerdir. Tarek vd. (2020) ERA5'i Kuzey Amerika'da hidrolojik modellemede potansiyel referans veri seti olarak değerlendirmeye almıştır. Araştırmanın bulguları 1979-2018 arasında mevsim ortalama sıcaklıklarına göre ERA5'in orta kesimlerde kış mevsiminde -1 °C, yaz mevsiminde $0,5-1$ °C ortalama yanlılığa sahip olduğunu ortaya koymuştur. Batı yakasında ise yaz mevsiminde en yüksek sıcak yanlılığa çıktığını (3 °C) kış mevsiminde ise soğuk yanlılık göstererek 2 °C kadar daha az tahmin ettiğini göstermiştir. Ayrıca, yüksek yanlılık değerlerinin çoğunlukla dağlık bölgelerde görüldüğünü ifade etmişlerdir. Rakhmatova vd. (2021) 1980-2018 arasında Özbekistan üzerinde 74 meteorolojik istasyon gözlemleriyle kıyaslayarak, ERA5'in aylık ortalama sıcaklık tahmininde ortalama yanlılığının $-0,6$ °C, ortalama hata standart sapmasının ise $2,3$ °C olduğunu ortaya koymuşlardır. Bazı istasyonlarda, istasyondaki yanlılığın -10 °C'ye vardığı da gözlemlenmiştir. İlave olarak, yeniden analiz veri setlerinin gözlemlenmiş veri setleriyle, özellikle düzlük alanlarda yüksek uyumluluk gösterdiğini belirtmişlerdir. King vd. (2021) ERA5 sıcaklık verisinin doğruluğunu şamandıralarda ölçülen veriyle kıyaslayarak incelemiş ve ERA5'in düşük sıcaklıklarda -3 °C, ortalama ise -2 °C sıcak yanlılığa sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalar ERA5 sıcaklık verilerinin hata oranlarının mekansal olarak değişkenlik gösterdiğini ve gerçekleştirilecek bölgesel analizlerden önce ilgilenilen alan üzerinde doğrulama çalışmalarının yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

İklim değişikliğinin dünyanın birçok yerinde yüksek sıcaklık artışlarına neden olacağı beklenmektedir. Akdeniz bölgesi ise bu artışa en duyarlı olacak bölgelerden biridir. İklim değişikliğinden en yoğun etkilenecek ülkelerden biri olan Türkiye'de, en yüksek sıcaklıklar ve ekstrem atmosferik olayların sayısı artmaktadır (Özgür vd. 2017). Bu sebeple, küresel iklim modellerinin projeksiyonlarındaki sistematik yanlılığın ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalarda kullanılmadan önce ERA5 veri setinin kapsamlı bir şekilde doğrulanmasına ihtiyaç vardır. Ayrıca, saatlik zaman dilimlerinde çalışan, su ve enerji döngüsünü tam olarak çözebilen tam fiziksel hidrolojik modelleme çalışmalarında girdi olarak kullanılmadan önce benzer şekilde saatlik ERA5 verilerinin doğrulanması gerekmektedir. Bu sebeple, Türkiye üzerinde gerçekleştirilen bu gibi çalışmalarda sebep-sonuç ilişkisi bakımından yüksek doğrulukta yorumlar elde edebilmek açısından ERA5 verilerinin Türkiye üzerinde ayrıntılı bir şekilde doğrulanması gerekmektedir.

ERA5 yüzey hava sıcaklığı veri seti farklı zamansal çözünürlüklerde Türkiye üzerinde çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır (Demirok 2020; Kelebek vd. 2021; Kömüşçü ve Oğuz 2021; Bağçacı vd. 2021). Ancak, bu çalışmalarda ERA5 veri setleri günlük veya aylık zaman dilimlerinde ele alınmış olup ERA5 sıcaklık verilerinin kapsamlı doğrulama analizleri sunulmamıştır. Bu sebeple, ERA5 saatlik sıcaklık veri setinin şu ana kadar Türkiye’de kapsamlı bir şekilde doğrulanması eksik kalmıştır.

Bu çalışmada, 2011-2020 arasında 10 yıl boyunca 1773 meteorolojik gözlem istasyonu üzerinde toplanan saatlik sıcaklık gözlemleri kullanılarak saatlik zamansal çözünürlüğe sahip ERA5 sıcaklık verisi tüm Türkiye üzerinde kapsamlı bir şekilde doğrulanmıştır. Analizlerde, saatlik, günlük ve aylık ortalama sıcaklık verilerinin doğrulanması yapılmış ve ERA5 veri setinin hatalarının farklı zamansal çözünürlükteki değişkenliği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada ECMWF – ERA5 yeniden analiz yüzey hava sıcaklığı veri setleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından Türkiye üzerinde işletilen 1773 adet meteorolojik gözlem istasyonunda ölçülen istasyon kaynaklı hava sıcaklık gözlemleri kullanılarak doğrulanmıştır. Veri setleri ile ilgili bilgiler aşağıda ilgili kısımlarda detaylandırılmıştır.

2.1. ERA5 Hava Sıcaklığı Verileri

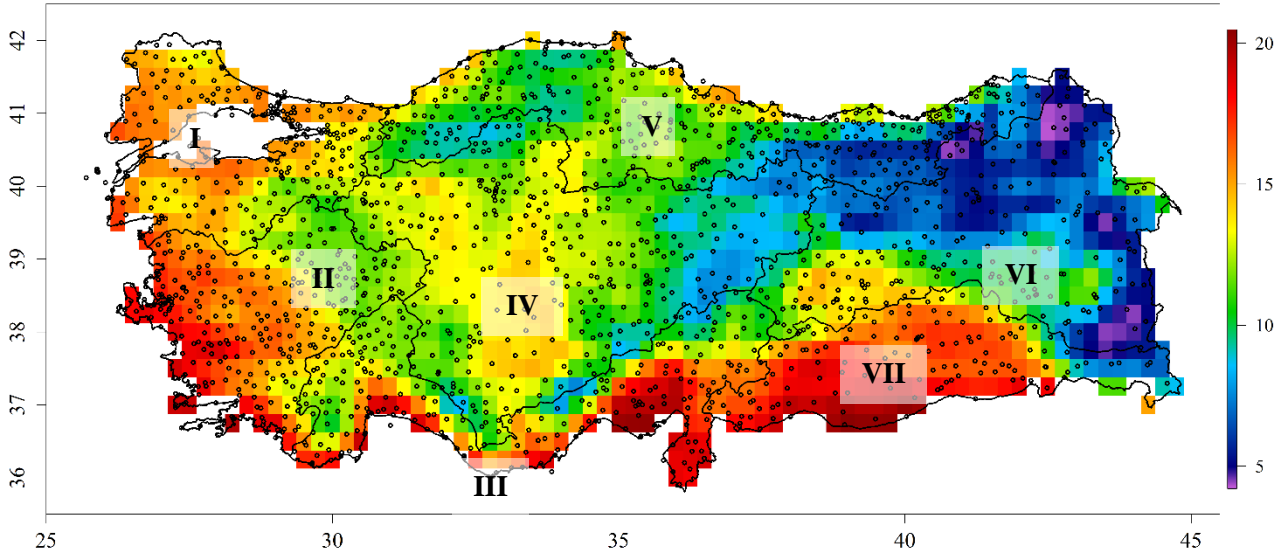
ERA5, ECMWF tarafından üretilen beşinci nesil yeniden analiz ürünüdür (Hersbach ve Dee 2016). ERA5, 6 saatlik zaman çözünürlüğü olan eski nesil ERA-Interim'e kıyasla daha gelişmiş veri asimilasyon planı ve daha fazla veri kaynağı kullanarak saatlik sıcaklık verileri sağlamaktadır. Ayrıca 139 basınç seviyesinde çeşitli atmosferik değişkenleri hesaplamaktadır. ERA5 verileri 1979 ile günümüz arasında mevcuttur, 1950 ile 1978 arasındaki veri setleri ise ön analiz olarak sağlanmaktadır (Tarek vd. 2020). Bu çalışmada kullanılan tek seviyede ölçülen saatlik ERA5 verisi (ERA5 hourly data on single levels) ECMWF İklimVeri Deposundan (Climate Data Store) elde edilmiştir (CDS 2021). Çalışmada kullanılan yüzey seviyesindeki ERA5 veri seti ECMWF tarafından küresel olarak $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ düzenli enlem/boylam hücreleri (mekansal çözünürlüğü ~ 31 km) üzerinde sunulmaktadır ve Türkiye üzerindeki veriler ise bu küresel verilerden elde edilmiştir. Bu çalışmada, yüzey hava sıcaklığının doğrulanması amacıyla 2011-2020 arasında “2m temperature” isimli değişken kullanılmıştır. CDS’den sağlanan veri NetCDF formatında sunulmaktadır.

2.2. İstasyon Kaynaklı Hava Sıcaklığı Gözlemleri

Sıcaklık gözlemleri yaygın bir meteoroloji gözlem istasyon ağı üzerinde tüm Türkiye’de MGM tarafından işletilen istasyonlardan elde edilmektedir (MGM 2021a). Yeni kurulan istasyonlar ve artık veri sağlamayan istasyonlar nedeniyle faaliyette bulunan istasyon sayıları yıldan yıla değişkenlik göstermektedir. MGM tarafından 2011-2020 yılları arasında il-ilçe-koordinat-rakım bilgileri sağlanan 2500’den fazla istasyon olmasına rağmen, bu yıllar arasında herhangi bir uzunlukta saatlik sıcaklık verisi barındıran 1819 istasyon bulunmaktadır. Bu verilerin bir kısmı ilgili dönemde halen aktif olan manuel istasyonlardan elde edilmiş olmakla birlikte büyük bir kısmı Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından (OMGİ) elde edilen verilerdir (MGM 2021b; Yılmaz ve Darendel 2021). Analizlerden anlamlı sonuçlar elde edebilmek amacıyla, veri barındıran 1819 istasyon arasından iki yıldan daha uzun süreli veri barındıran 1773 istasyonun verisi kullanılarak bu çalışmadaki doğrulama analizleri gerçekleştirilmiştir. En az iki yıl veriye sahip olan 1773 manuel istasyon/OMGİ arasında 72 adet havalimanı istasyonu (H-OMGİ) ve 14 adet şamandıralarda kurulan istasyon (D-OMGİ) bulunmaktadır. Tablo 1’de, en az iki yıllık veri sağlayan 1773 istasyondan elde edilen saatlik zaman serilerinin ortalama doluluk oranı verilmektedir. Örneğin, 2011 yılı için toplam 15.531.480 saatlik zaman serisinin (1773 istasyon*365 gün*24 saat) sadece %22,5’lik kısmında veri bulunmakta ve geriye kalan %77,5’lik kısmında ise veri bulunmamaktadır. Bu oran artarak 2020 yılında yaklaşık %95’e yükselmektedir. Kullanılan 1773 istasyonun coğrafi bölgeler içindeki konumları aşağıda ERA5 2011-2020 yılları arası 10 yıllık ortalama sıcaklık haritası üzerinde sunulmaktadır (Şekil 1).

Tablo 1: Çalışmada kullanılan 1773 istasyonun ortalama veri doluluk oranlarının yıllara göre değişimi

Yıl	Ortalama İstasyon Veri Doluluğu (%)
2011	22,5
2012	25,9
2013	40,0
2014	57,9
2015	68,6
2016	73,8
2017	84,3
2018	94,1
2019	95,3
2020	94,4



Şekil 1: Saatlik ERA5 sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) değerlerinin 2011-2020 arasındaki ortalama değerleri. Kullanılan 1773 MGM istasyonunun coğrafi bölgeler içinde konumları siyah daireler ile gösterilmektedir. Denizlerde görülen siyah daireler, şamandıralara yerleştirilen D-OMGİ konumlarıdır. Numaralı coğrafi bölgeler: I-Marmara Bölgesi, II-Ege Bölgesi, III-Akdeniz Bölgesi, IV-İç Anadolu Bölgesi, V-Karadeniz Bölgesi, VI-Doğu Anadolu Bölgesi, VII-Güneydoğu Anadolu Bölgesi

ERA5 hücrel bir veri setiyken, MGM'den temin edilen veri setleri noktasal gözlemlerden oluşmaktadır. İki veri setinin bu yapısal farklılığını ortadan kaldırmanın iki yöntemi bulunmaktadır: modelin hücrel sisteminde çalışmak (model ve istasyon verilerini aynı alansal hücreler üzerinde elde edip analizleri karşılaştırmak) veya istasyonların noktasal sisteminde çalışmak (analizleri gerçekleştirilen 1773 istasyonun her birisi için bir model verisi elde edip istatistikleri hesaplamak). Genel olarak, istasyon kaynaklı gözlemler kullanılarak doğrulukları açısından birden fazla ürün birbiriyle karşılaştırıldığında, bu iki model-istasyon verisi karşılaştırma yöntemi ürünlerin hatasız olarak sıralaması bakımından bir farklılığa sebebiyet vermez (Amjad vd. 2020). Modelin hücrel sisteminde çalışmak, her ERA5 hücresine denk gelen istasyon verilerinin ortalamasını alarak her ERA5 hücresini temsil eden bir istasyon gözlem verisini elde etmeyi gerektirir. Ancak, her hücreye denk düşen istasyon sayısının adil bir kıyaslamaya müsaade etmeyecek şekilde heterojen olduğu ve birçok hücreye sadece bir veya iki istasyon denk geldiği durumlarda (Şekil 1) bu yöntem yüksek örnekleme hatasına yol açabilir. Alternatif olarak, bu çalışma kapsamında analizler istasyonların noktasal sisteminde çalışılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde, her bir istasyonun içinde yer aldığı ERA5 hücreleri için ayrı bir ERA5 verisi elde edilmiştir. Bu sayede, toplamda 1773 istasyonda elde edilen gözlemler için 1773 ERA5 zaman serisi analiz edilmiştir.

2.3. Hesaplanan İstatistikler

MGM istasyonlarından elde edilen saatlik sıcaklık verileri kullanılarak aşağıdaki denklemlerle ERA5 sıcaklık verilerinin doğrulanmıştır:

$$\mathcal{E}_{s,t} = E_{s,t} - M_{s,t} \quad (1)$$

Burada, $\mathcal{E}_{s,t}$ ERA5 verisinin hatasını, $E_{s,t}$ ERA5 sıcaklık verisini, $M_{s,t}$ MGM istasyonlarından temin edilen sıcaklık gözlemlerini, s istasyon sayısını (toplamda 1773), t ise zaman serisini (10 yıllık veri seti) temsil etmektedir. Bu çalışmada \mathcal{E} , saatlik, günlük ve aylık ortalama sıcaklık için hesaplanmıştır. Burada t 'nin toplam uzunluğu, ε hesaplaması yapılan sıcaklık değişkenine göre çeşitlilik göstermektedir; saatlik sıcaklık için 87600, günlük sıcaklık için 3650 ve aylık sıcaklık için 120'dir. Analizlerde 3653 günlük veri içinden sadece 3 günün çıkarılması istatistikleri anlamlı bir şekilde değiştirmeyeceği varsayılarak hesap kolaylığı açısından 2012, 2016 ve 2020 yıllarındaki 29 Şubat verileri analizlerden çıkarılmıştır. Hata zaman serilerinin standart sapması, σ_s , aşağıda sunulan denklemler ile hesaplanmıştır:

$$\mu\mathcal{E}_s = \overline{\mathcal{E}_{s,t}} \quad (2)$$

$$\sigma_s = \sqrt{(\mathcal{E}_{s,t} - \mu\mathcal{E}_s)^2 / (n-1)} \quad (3)$$

Burada, $\mu\mathcal{E}_s$ (bu çalışmada istasyonlardaki yanlışlık olarak tanımlanmaktadır) Denklem 1’de her bir istasyon üzerinde hesaplanan ERA5 hatasının ($\mathcal{E}_{s,t}$) ortalamasını, n ise zaman serisindeki veri sayısını temsil etmektedir. Denklem 4 kullanılarak $E_{s,t}$ ile $M_{s,t}$ değişkenlerinin korelasyon katsayısı, ρ_s hesaplanmıştır:

$$\rho_s = \frac{(E_{s,t} - \mu E_{s,t})(M_{s,t} - \mu M_{s,t})}{\sigma E_s \sigma M_s} \quad (4)$$

Burada, $\mu E_{s,t}$ ve $\mu M_{s,t}$, sırasıyla $E_{s,t}$ ve $M_{s,t}$ değerlerinin ortalamasını, $\sigma E_{s,t}$ ve $\sigma M_{s,t}$ sırasıyla $E_{s,t}$ ve $M_{s,t}$ değerlerinin standart sapmasını, üst çizgi ise zamana bağlı ortalama almayı temsil etmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

ERA5 sıcaklık verilerinin doğrulanması, 1773 MGM istasyonu üzerinde elde edilen yer gözlemleri kullanılarak saatlik, günlük ve aylık ortalama sıcaklıkların araştırılmasıyla 2011-2020 yılları arasında 10 yıllık bir dönem için gerçekleştirilmiştir. İlgili 10 yıllık dönemin ortalama ERA5 sıcaklık verilerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı ve çalışma kapsamında gözlem verileri kullanılan 1773 istasyonun konumları Şekil 1’de verilmiştir. Genel olarak, çalışma alanının kuzeydoğu ve doğu kısmı ülkemizin en soğuk bölgelerini, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile Ege ve Akdeniz sahil bandı ise ülkemizin en sıcak bölgelerini içermektedir. En sıcak ve en soğuk bölgeler arasında ortalama olarak ~ 15 °C’lik sıcaklık farkı bulunmaktadır. Şekil 1 incelendiğinde istasyonların büyük metropol şehirlerde daha sık olduğu ve yüksek rakımlı bölgelerde daha seyrek olduğu görülmektedir.

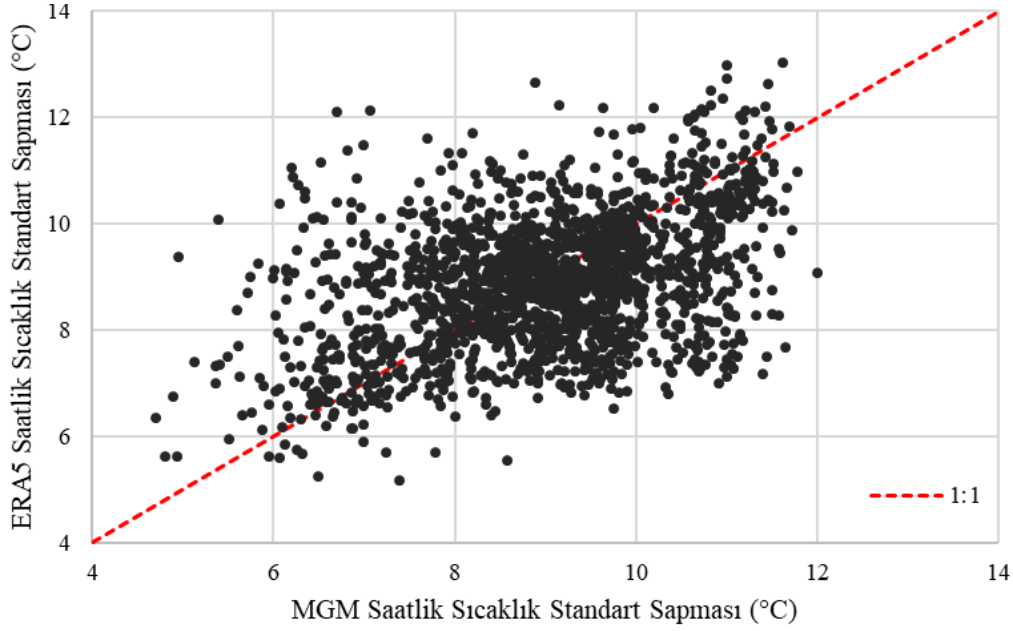
Saatlik ERA5 ve MGM gözlem sıcaklık veri setlerinin hesaplanan istatistikleri ve MGM gözlemleri kullanılarak elde edilen ERA5 sıcaklık verisi hata istatistikleri Tablo 2’de sunulmuştur. Türkiye ortalaması göz önünde bulundurulduğunda, ERA5 veri setlerinin saatlik, günlük ve aylık zamansal çözünürlüklerde ortalama yanlışlığı $-0,1-0,6$ °C arasındadır (ortalama $0,02$ °C). Öte yandan, ERA5 sıcaklık değerleri istasyonlardan mutlak değer bakımından $3,3-4,0$ °C sapmaktadır (ortalama mutlak hata). Bu durum bazı istasyonlarda 10 °C mutlak hataya kadar ulaşabilmektedir. Bu derece farklılık genel itibariyle daha yüksek rakımlı bölgelerde görülmekte olup, model verilerinin $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ hücre alanı (Türkiye üzerinde ~ 600 km² bir alana tekabül etmekte) üzerinde ortalama değer vermesi ve istasyonların noktasal ölçüm sağlaması sebebiyle aralarındaki temsiliyet farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

Sıcaklık verisi standart sapma bakımından ERA5 ve MGM gözlemleri ortalama olarak benzer değerleri göstermektedir ve aralarındaki fark $\%0,6 - \%2,1$ arasındadır (Tablo 2). Standart sapmalar tüm istasyonlarda tek tek incelendiğinde (Şekil 2), bazı bölgelerde iki veri seti arasında yüksek farklılıklar görülmektedir. Veri setlerinin zamansal değişkenliklerindeki sistematik farklılıklar doğrusal istatistiksel yöntemlerle veya doğrusal olmayan makine öğrenmesine dayalı yapay zeka algoritmaları gibi sonradan işleme (post-processing) metodolojileri ile ortadan kaldırılabilir veya ciddi oranda azaltılabilir (Rasp ve Lerch 2018). Ancak böyle bir analiz bu çalışmanın odağında bulunmamaktadır.

ERA5 hata standart sapmasının MGM gözlemlerinin standart sapmasına oranı ($\sigma\mathcal{E}/\sigma M$) elde edilen verinin kalitesine dair bilgi vermektedir. Bu değer farklı zamansal çözünürlükler için $0,21-0,38$ olarak bulunmuştur (Tablo 2). Hata değişkenliğinin gerçek değişkenliğe oranının düşük olması, ERA5’in yüksek doğruluğa sahip bir ürün olduğunu gösterir.

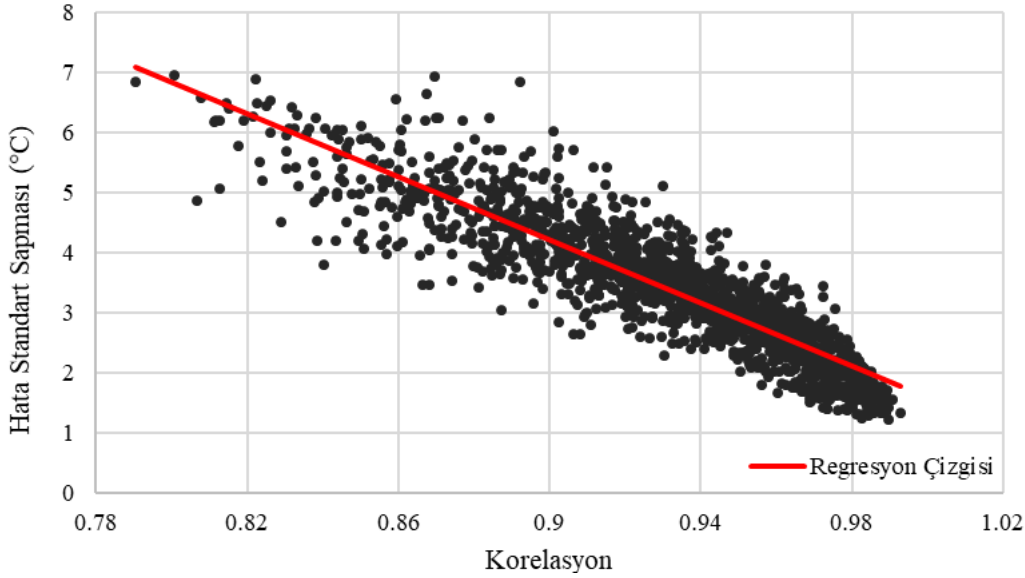
Tablo 2: ERA5 ve MGM istasyonlarından elde edilen sıcaklık verilerinin ortalama (1773 istasyon üzerinde) istatistikleri. Burada μE ve μM , sırasıyla ERA5 ve MGM sıcaklık verilerinin ortalamalarını; σE ve σM , sırasıyla ERA5 ve MGM sıcaklık verilerinin standart sapmalarını; $\mu\mathcal{E}$ ERA5 sıcaklık verilerinin ortalama hatasını (bu çalışmada ortalama yanlışlık olarak tanımlanmıştır); $\mu|\mathcal{E}|$ ERA5 sıcaklık verilerinin ortalama mutlak hatasını; $\sigma\mathcal{E}$, ERA5 sıcaklık verilerinin hata standart sapmasını ve ρ , ERA5 ile MGM sıcaklık verilerinin korelasyonunu temsil etmektedir

Zamansal Çözünürlük	Ortalama İstatistikler								
	μE (°C)	μM (°C)	σE (°C)	σM (°C)	$\mu\mathcal{E}$ (°C)	$\mu \mathcal{E} $ (°C)	$\sigma\mathcal{E}$ (°C)	ρ	$\sigma\mathcal{E}/\sigma M$
Saatlik	13,33	13,26	8,98	8,91	0,06	4,02	3,36	0,93	0,38
Günlük	13,26	13,24	8,21	8,16	0,02	3,62	2,52	0,96	0,31
Aylık	13,18	13,18	7,80	7,64	-0,01	3,31	1,62	0,99	0,21



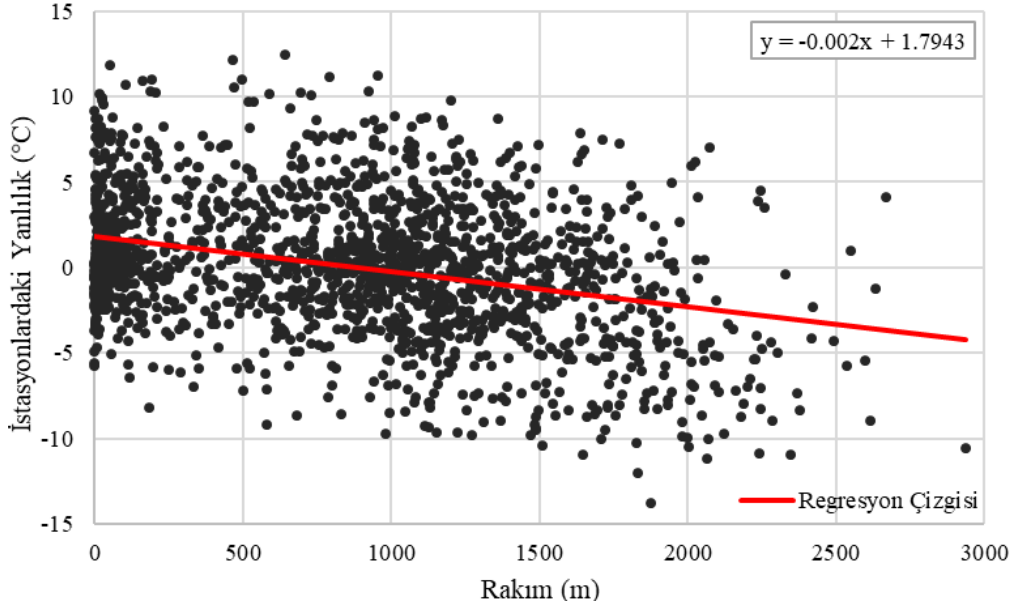
Şekil 2: ERA5 ve MGM saatlik sıcaklık verilerinin hata standart sapması değerlerinin birbiriyle ilişkisi

ERA5 değerlerinin hatalarının ölçüldüğü istatistiğin (hata standart sapması veya korelasyon) seçiminin istasyonlar üzerindeki etkisi Şekil 3 üzerinde incelenmiştir. Genel itibariyle hata standart sapma değerlerinin yüksek olduğu istasyonlarda korelasyonlar düşük çıkmakta ve benzer şekilde düşük hataların bulunduğu bölgelerde korelasyonların yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, iki istatistiğin de ERA5 hatalarının istasyonlar arası karşılaştırılmada güvenilir ve tutarlı bir şekilde kullanılabilceğini göstermektedir. Bu duruma paralel olarak, Şekil 3 sonrasında hata standart sapmalarının gösterimi tercih edilmiştir ve korelasyon değerlerinin analizi benzer sonuçlar doğuracağı sebebiyle gerçekleştirilmemiştir.

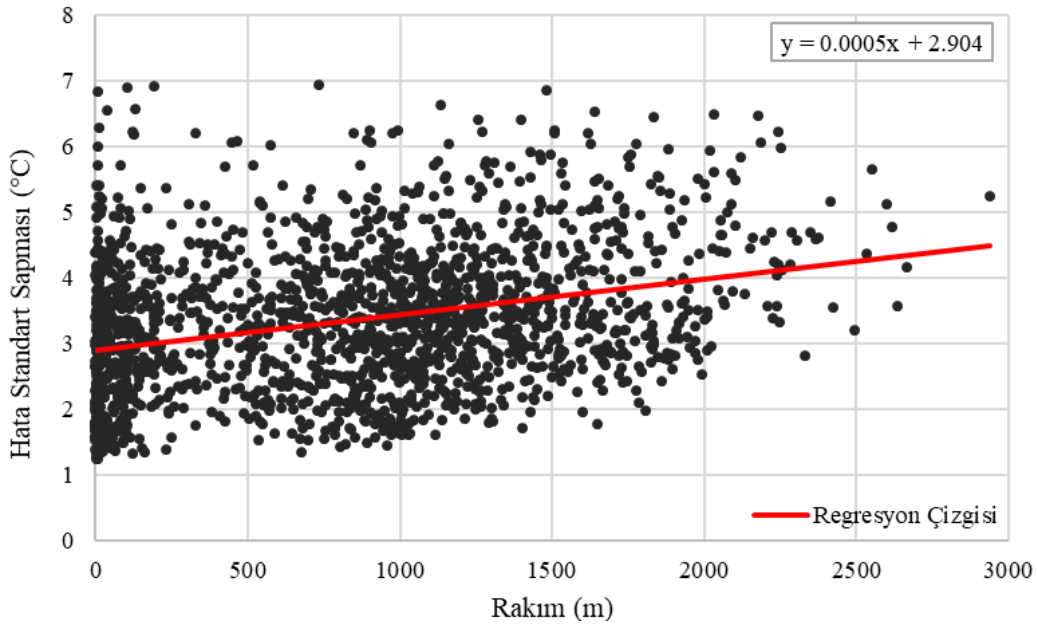


Şekil 3: ERA5 saatlik sıcaklık verilerinin hata standart sapması değerlerinin, ERA5-MGM saatlik sıcaklık korelasyonu ile ilişkisi

Ülkemizde elde edilen ERA5 sıcaklık verilerindeki hataların coğrafi koşullardan ve özellikle kısa mesafelerde değişen topografyadan önemli ölçüde etkilenebileceği sebebiyle hataların rakım ile değişimi analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4 ve 5). Genel itibariyle, Denklem 2 kullanılarak hesaplanan istasyonlardaki yanlışlık, artan rakım ile birlikte eksi yönde artmaktadır (Şekil 4), bir diğer deyişle soğuk yanlışlık artmaktadır. Bu duruma paralel olarak, artan rakım ile birlikte hata standart sapmaları da artmaktadır (Şekil 5). Bu durum, artan rakım ile birlikte ERA5 hatalarının artmakta olduğu sonucunu getirmektedir. Bu durumun bir sebebi olarak yüksek rakım bölgelerinde istasyon-model arasındaki temsiliyet farklılıkları gösterilebilir.

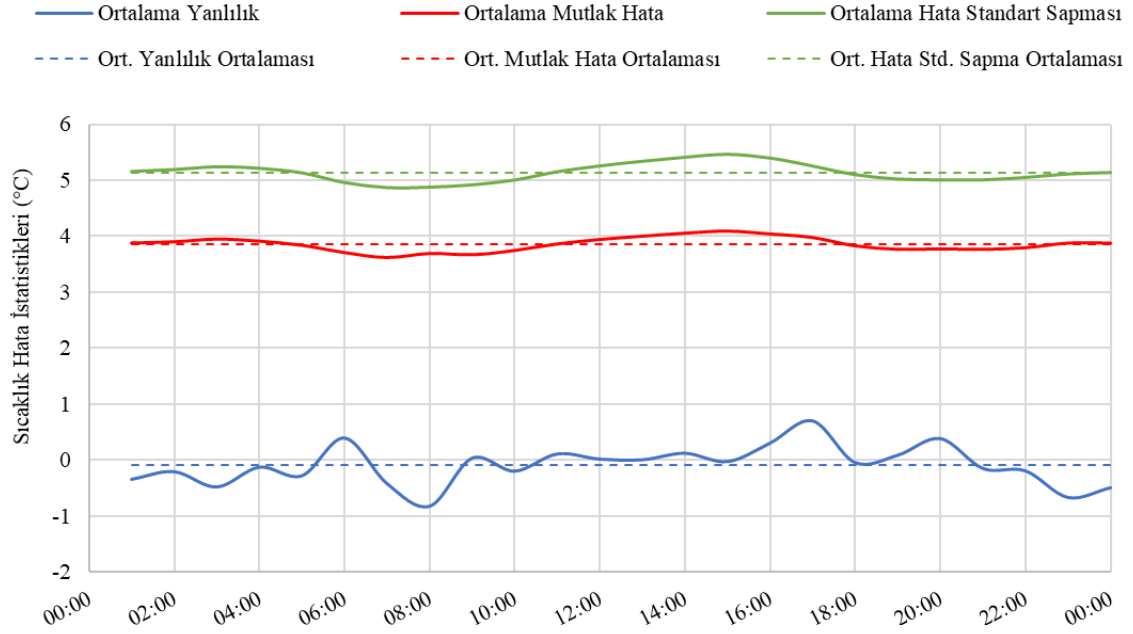


Şekil 4: İstasyonlardaki yanlılık değerlerinin rakıma göre değişimi



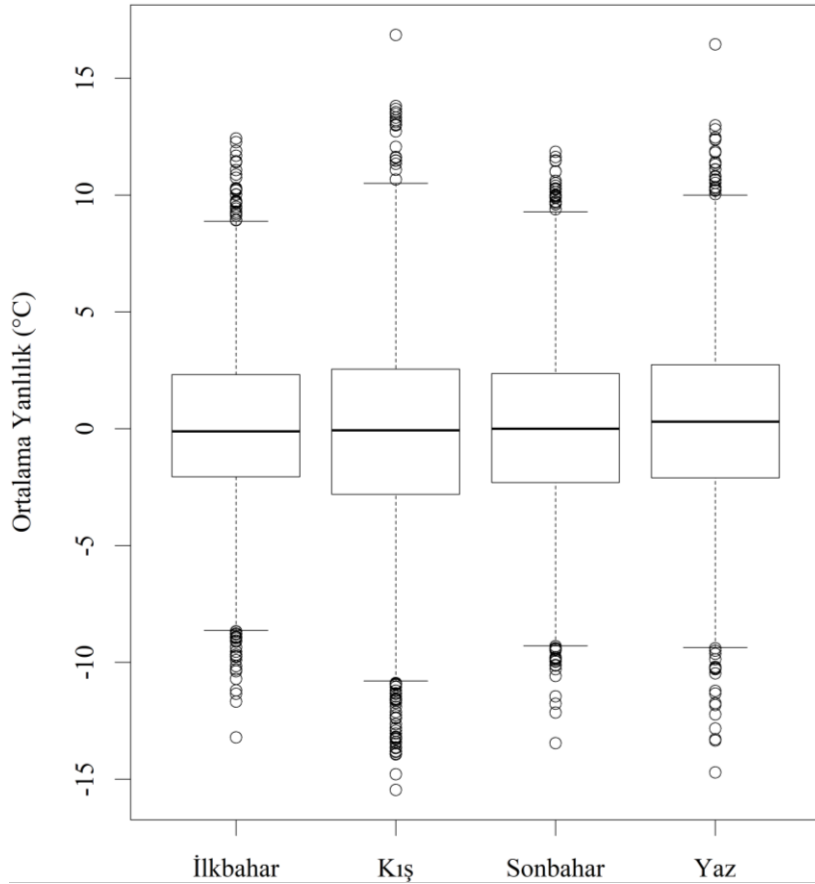
Şekil 5: ERA5 saatlik sıcaklık verilerinin hata standart sapması değerlerinin rakıma göre değişimi

ERA5 saatlik sıcaklık verilerinin rakım ile olan ilişkisinin yanı sıra, hataların gün içi saatlik değişimi de incelenmiştir (Şekil 6). Bu analizlerde, gün içindeki ortalama yanlılık değerleri değişmekle birlikte göze çarpan net bir saatlik eğilim yoktur; örneğin gündüz ve gece sıcaklık hataları arasında net bir fark gözlemlenmemektedir. Genel olarak ortalama yanlılık gün içi değişimleri ortalama mutlak hata ve ortalama hata standart sapması değerleri gün içi değişimlerinden daha fazladır. Gün içindeki mutlak hatalar ortalama olarak 3,9 °C, hata standart sapması ise ortalama olarak 5,1 °C civarında bulunmaktadır. Bu ortalama değerler, eğriler ile aynı renkteki kesik çizgilerle gösterilmektedir.



Şekil 6: ERA5 saatlik sıcaklık verileri hata istatistiklerinin saatlik değişimi

ERA5 saatlik sıcaklık verilerinin ortalama yanlılıklarının gün içi değişiminin yanı sıra mevsimselliği de incelenmiştir (Şekil 7). Genel itibariyle ERA5 yanlılıkları toplam istasyon sayısının %50'sinde (çeyrek aralığı) $[-2, 2]$ °C arasında elde edilmektedir. Öte yandan istasyonların bir bölümünde ise ERA5 saatlik sıcaklık yanlılığı çok yüksek çıkmaktadır (Şekil 7 üzerinde daireler ile gösterilen değerler). Farklı mevsimler üzerinde elde edilen dağılımlara bakıldığında, ERA5 saatlik sıcaklık hata yanlılığının mevsimlere göre yanlılık değerleri dağılımı bakımından benzerlik göstermekte olsa da, kış mevsiminde diğer mevsimlere göre daha fazla hata içermektedir.

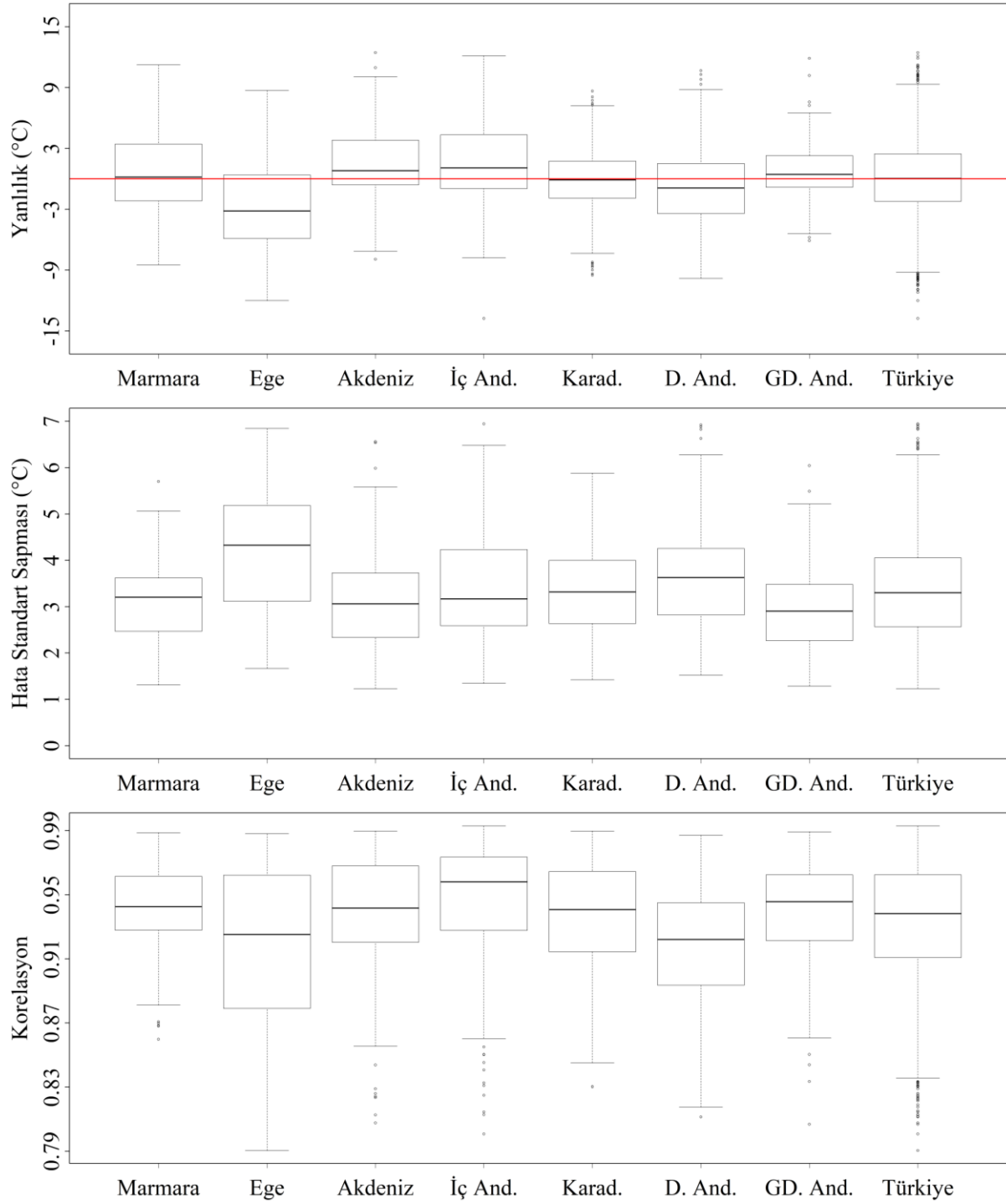


Şekil 7: ERA5 saatlik sıcaklık verilerinin ortalama yanlılığının farklı mevsimlerde dağılımı.

Aziz vd. (2020) çalışmasında Küresel Dolaşım Modellerinin (Global Circulation Models) hatalarının Türkiye’deki farklı bölgeler üzerinde doğruluk analizlerinin gerçekleştirildiği gibi bu çalışmada da ERA5 saatlik sıcaklık verilerinin hata istatistiklerinin, coğrafi bölgelere göre değişimi incelenmiştir. Tablo 3’te, bu çalışmada kullanılmış olan 1773 MGM istasyonunun coğrafi bölgelere göre sayısı, bu istasyonların ortalama rakımı ve bölgenin ortalama rakım bilgileri (Elibüyük ve Yılmaz 2010) sunulmaktadır. Tablo 3’te sayısı belirtilen istasyonlar kullanılarak ERA5 saatlik sıcaklık verilerinin hata istatistiklerinin 7 coğrafi bölgede ve Türkiye’de dağılımı elde edilmiş ve Şekil 8’de sunulmuştur. ERA5 yanlılık değerlerinin coğrafi bölgelere göre değişkenliği incelendiğinde, Ege Bölgesi hariç tüm bölgelerde ve Türkiye genelinde toplam istasyon sayısının %50’sinde (çeyrek aralığı) yanlılık değerleri [-3, 3] °C değerleri arasında kaldığı görülmektedir. Bu bölgeler arasında Akdeniz ve İç Anadolu Bölgelerinde sıcak yanlılık değerleri daha belirgindir. Ege Bölgesinde ise çeyrek aralığı değerlerinin [-6, 0] °C arasında soğuk yanlılığa sahip olduğu göze çarpmaktadır. Kutu grafiklerinde aykırı değerler haricinde çeyrek aralığı ve uç noktalar bakımından Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ERA5 yanlılığı en az değişkenliğe sahip bölgedir. Bu durum, hata standart sapması dağılımlarında da göze çarpmaktadır. Medyan değerleri ve çeyrek aralığı bakımından en düşük hata standart sapması Güneydoğu Anadolu Bölgesinde görülürken Ege Bölgesinde belirgin biçimde artış göstermektedir. Marmara, Akdeniz, İç Anadolu ve Karadeniz Bölgeleri Türkiye ortalamasında seyredirken (3-3,5 °C) Doğu Anadolu Bölgesinde 3,7 °C, Ege Bölgesinde ise 4,3 °C civarında görülmektedir. Hata standart sapması değerleri Aziz vd. (2020) çalışmasında belirtilen Türkiye ortalaması kök ortalama kare hatası (RMSE) değerleri ile tutarlılık göstermektedir. Bahsi geçen çalışmada farklı modellerden 12 adet demet şeklinde elde edilen günlük ekstrem sıcaklık değerlerinin Türkiye üzerinde ortalama hatalarının demet ortalaması alındığında, yaklaşık 3,2 °C RMSE değeri bulunurken (ilgili çalışmada [Tablo 3]) bu çalışmada saatlik ve günlük hata standart sapmaları 3,36 °C ve 2,52 °C olarak bulunmaktadır. Aziz vd. (2020) çalışmasında en yüksek hatalar Doğu Anadolu Bölgesinde çıkmaktayken bu çalışmada Ege Bölgesinde çıkmaktadır. Bu durumun, iki farklı çalışmada kullanılan model verileri arasındaki farklılıklardan kaynaklanmakta olduğu düşünülmektedir. ERA5-MGM korelasyon değerleri ve dağılımları incelendiğinde, İç Anadolu Bölgesinin diğer bölgelere kıyasla daha yüksek korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Ege ve Doğu Anadolu Bölgeleri medyan değer bakımından en düşük korelasyon değerlerine sahip bölgelerdir. Ancak korelasyon değeri dağılımlarına bakıldığında Ege Bölgesi daha dağınık bir korelasyon dağılımına sahiptir. Bağcı vd. (2021) çalışmalarında 1979-2019 yılları arasında tüm Türkiye üzerinde ERA5 aylık sıcaklık verilerinin MGM gözlem verileriyle korelasyonlarını 0,95 olarak hesaplamıştır (ilgili çalışmada [Şekil 2]). Bu çalışmada ise, 2011-2020 yılları arasında ERA5 saatlik ve aylık verilerin ortalama korelasyonları, sırasıyla 0,93 ve 0,99 olarak hesaplanmıştır. İki çalışma arasındaki dönem farklılıkları aylık korelasyonlar arasındaki farklılığı açıklayabilir. Bir başka deyişle, daha sık yerleştirilmiş ve ağırlıklı olarak OMGİ’lerden elde edilen güncel yer gözlem verilerinin sıcaklığı daha doğru bir şekilde yansıttığı ve ERA5 verilerinin geçmiş simülasyonlarının güncel simülasyonlara göre doğruluğunun daha az olduğu yönünde değerlendirilmektedir.

Tablo 3: Çalışmada kullanılan 1773 MGM istasyonunun coğrafi bölgelere göre dağılımı, bölgelerde ve Türkiye’de yer alan istasyonların ortalama rakımı ile bölgeler ve Türkiye’nin ortalama rakımı

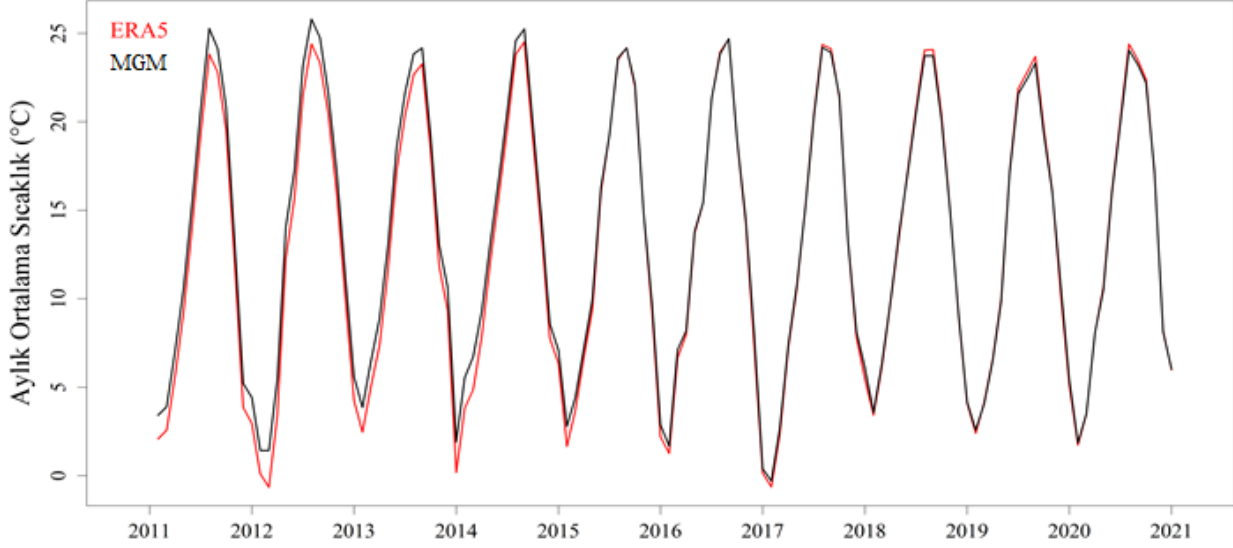
Bölge	İstasyon Sayısı	Ortalama İstasyon Rakımı (m)	Ortalama Bölge Rakımı (m)
Marmara	252	250	280
Ege	274	583	715
Akdeniz	226	736	1027
İç Anadolu	323	906	1205
Karadeniz	371	549	1163
Doğu Anadolu	199	1520	1829
Güneydoğu Anadolu	128	873	748
Türkiye	1773	733	1141



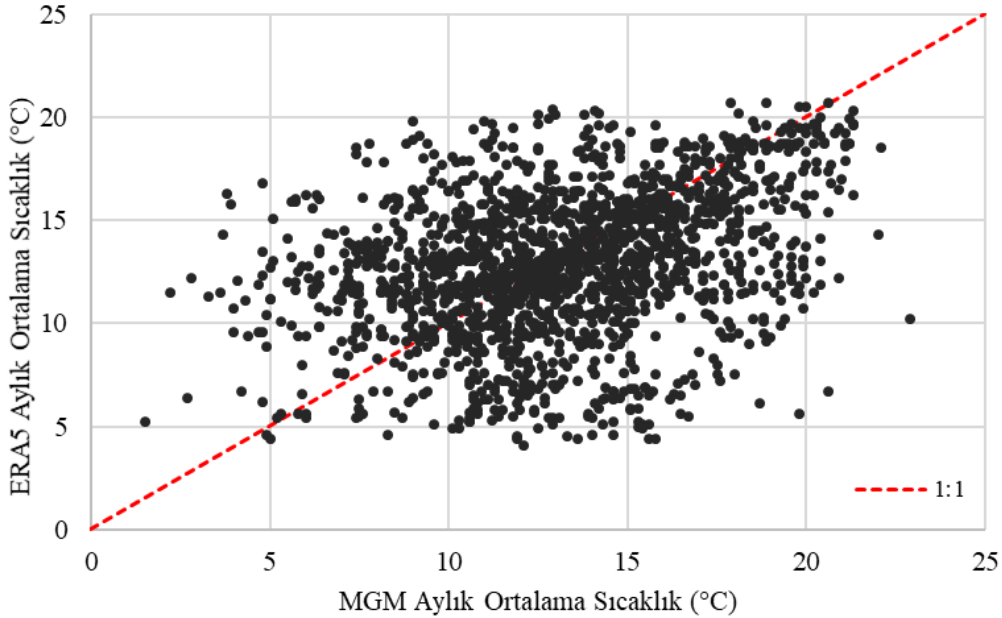
Şekil 8: ERA5 saatlik sıcaklık verileri hata istatistiklerinin coğrafi bölgelerde ve Türkiye'de dağılımı

Bu çalışmada kullanılan 1773 istasyon üzerinde elde edilen gözlem ve ERA5 sıcaklık değerlerinin aylık ortalamaları incelendiğinde (Şekil 9), bu iki aylık zaman serilerinin çok yüksek doğrusal ilişkiye sahip olduğu görülmektedir (Tablo 2; 0,99 korelasyon). Özellikle 2015 yılından sonra, ERA5 ve MGM aylık zaman serilerinin neredeyse kusursuz örtüşmesi dikkati çekmektedir. Bu durum, MGM tarafından işletilen OMGİ sayılarındaki 2015 sonrası belirgin artışla birlikte ERA5 yeniden analiz verilerinin ortalamada istasyon gözlemlerini daha yüksek doğrulukla yakaladığını göstermektedir. Ancak Türkiye ortalama değerleri arasındaki bu yüksek doğrusal ilişkiye rağmen istasyonların tek tek incelenmesi durumunda veri setleri arasında yüksek farklılıklar da gözlemlenmektedir (Şekil 10). Aylık ortalama sıcaklıklar arasındaki farklılıkların her ay için ele alınıp bu farklılıkların mevsimselliği incelendiğinde, ERA5 ortalama mutlak hata ve ortalama hata standart sapmasının değerlerinin kış aylarında (~ 5 °C) diğer aylara görece (~ 4 °C) daha fazla olduğu, fakat ortalama yanlılık değerlerinde mevsimsellik görülmediği sonuçları ortaya çıkmaktadır (Şekil 11).

Saatlik istatistiklerde gözlemlenen ortalama mutlak hata ve ortalama hata standart sapması arasındaki benzerlik (Şekil 6) paralel bir şekilde aylık istatistiklerde de gözlemlenmektedir (Şekil 11). Bu durum, saatlik ve aylık istatistiklerin ortalamada farklı değerlere sahip olmasıyla birlikte zamansal değişimlerinin benzer olduğunu ortaya koymaktadır. Ortalama değerler, Şekil 11 üzerinde de eğriler ile aynı renkteki kesik çizgilerle gösterilmektedir. Her ay özelinde sıcaklık değerlerinin standart sapma ve ortalama değerlerini kullanan sonradan işleme (post-processing) metodolojileri bu hataları ortadan kaldırılabılır veya önemli ölçüde azaltılabilir. Bu noktada, Tablo 2 üzerinde verilen aylık ortalama hata standart sapma verisi, tüm istasyonların 120 ay boyunca elde edilen sıcaklık değerlerinin hatalarının standart sapmasına karşılık gelmekteyken, Şekil 11 üzerinde verilen ortalama aylık hata standart sapması verisi 1773 istasyonun 10 yıl boyunca her bir ay için elde edilen verilerinin hata standart sapmasına karşılık gelmektedir. Bu durumda, 120 değerden elde edilen standart sapma verisinin (Tablo 2) 17730 değerden elde edilen standart sapma değerine göre düşük olması da beklenen bir sonuçtur; yani istasyon ortalamalarının alınması hataların birbirini sönlendirmesine sebep olmaktadır.



Şekil 9: Aylık ortalama sıcaklık verilerinin yıllara göre değişimi

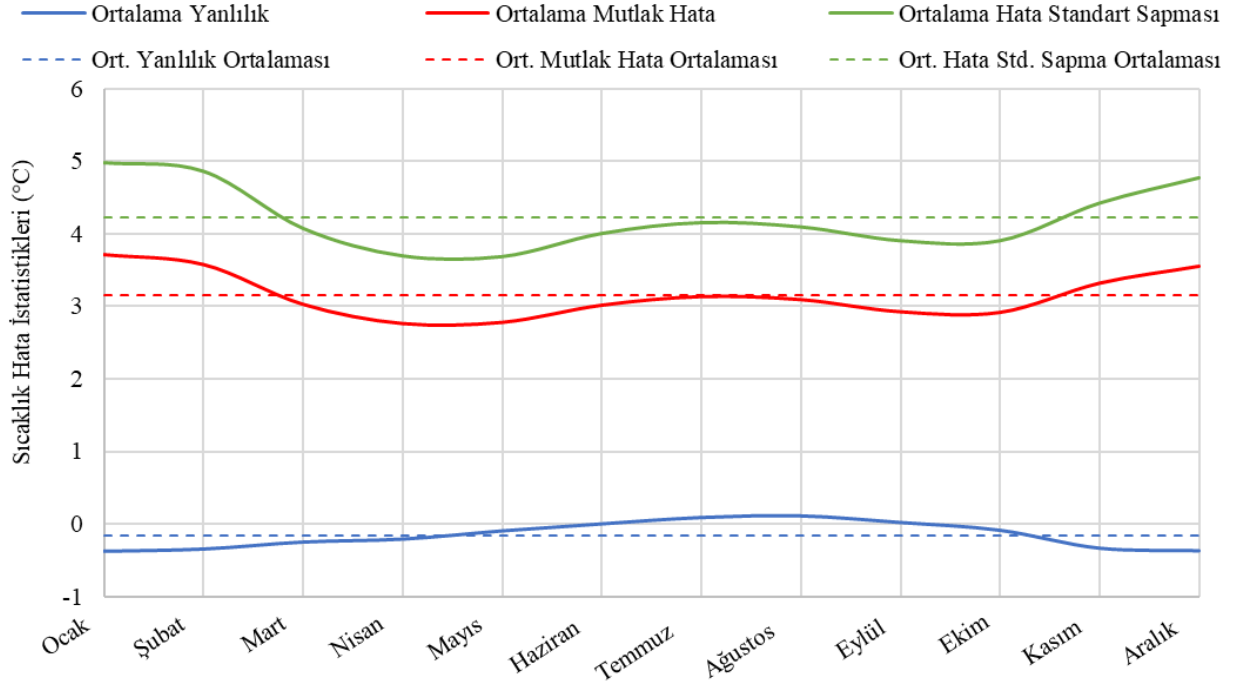


Şekil 10: ERA5 ve MGM aylık ortalama sıcaklık verilerinin ilişkisi

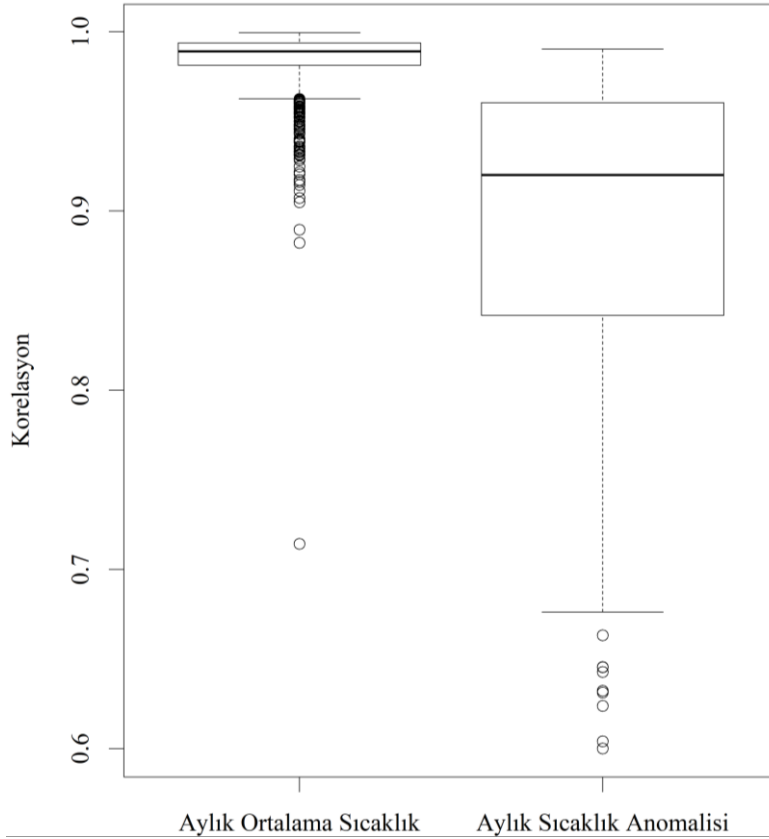
Aylık ortalama sıcaklıkların zamansal korelasyonunun hesaplanmasının yanı sıra mekansal korelasyon analizinde, her bir istasyon üzerinde ortalama sıcaklıkların elde edilmesinin ve ardından bu ortalama sıcaklıklar arasında korelasyonun hesaplanması ile gerçekleştirilmiştir. Denklem 5 kullanılarak μE_s ile μM_s değişkenlerinin korelasyon katsayısı, ρ hesaplanmıştır:

$$\rho = \frac{(\mu E_s - \mu E)(\mu M_s - \mu M)}{\sigma E \sigma M} \quad (5)$$

Burada, μE_s ve μM_s , sırasıyla ERA5 ve MGM aylık ortalama sıcaklıklarını, μE ve μM , sırasıyla μE_s ve μM_s değerlerinin ortalamasını (1773 istasyonun ortalaması), σE ve σM , sırasıyla μE_s ve μM_s değerlerinin standart sapmasını, üst çizgi ise zamana bağlı ortalama almayı temsil etmektedir. Mekansal korelasyon hesabı yapılan değerler Şekil 10 üzerinde sunulmaktadır. Zamansal korelasyonların çok yüksek (0,99) olmasının aksine Denklem 5 ile hesaplanan mekansal korelasyonlar çok düşük (0,36) çıkmaktadır. Aylık sıcaklık verilerinin korelasyonları mevsimsellikten önemli bir derecede etkilenmektedir. Bu mevsimselliği gösteren her ayın 10 yıllık ortalama sıcaklıkları, ilgili aydan çıkarılması ile aylık sıcaklık anomali verileri elde edilmektedir. Mevsimsellikten arındırılmış anomali sıcaklıklarının zamansal korelasyonlarının yüksek çıkması (Şekil 12), ERA5 verilerinin aylık ortalamalardan gerçekleşen anomali sapmalarını da iyi modelleyebildiğini göstermektedir. Bir başka ifade ile ERA5 verilerinin mevsim normallerinden gerçekleşen sapmaları modelleme yeteneği çok yüksektir. Bu durum özellikle kuraklık çalışması gibi anomali değerlerini temel alan çalışmalar için ERA5 değerlerinin yüksek doğrulukta analizler gerçekleştirmede kullanılabilirliğini göstermektedir. Öte yandan, mekansal korelasyonların ise değişken topoğrafyadan olumsuz yönde etkilendiği (mekansal korelasyonların azaldığı) sonucunu ortaya çıkmaktadır. Bu durum, ülkemiz gibi değişken topoğrafyalarda istasyonların bulunmadığı bölgelerde, ortalama sıcaklıkların mekansal dağılımının ERA5 verilerine alternatif olarak uydulardan da elde edilebileceği yorumunu getirmektedir.



Şekil 11: ERA5 aylık ortalama sıcaklık verileri hata istatistiklerinin aylık değişimi



Şekil 12: ERA5 aylık ve aylık anomali sıcaklık verilerinin istasyon verileriyle hesaplanan korelasyonlarının dağılımı

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, ERA5 saatlik hava sıcaklık verileri Türkiye üzerinde MGM tarafından işletilen 1773 meteorolojik gözlem istasyonunda elde edilen gözlemler kullanılarak 2011-2020 arasında analiz edilmiş ve doğrulanmıştır. Analizlerde saatlik, günlük ve aylık zaman serilerinin istatistiklerinin hesaplanmasının yanı sıra saatlik sıcaklık verilerinin hata istatistiklerinin coğrafi bölgelere göre farklılıkları da analiz edilmiştir. Saatlik ve aylık analizler hataların gün içinde ve/veya ay bazında değişim gösterip göstermediği de incelemiştir.

Sonuçlar, ERA5 sıcaklık verilerinin yanlılığının gün içinde saate bağlı değişim göstermediğini, öte yandan kış aylarında hata değişiminin diğer aylara görece daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. ERA5 ve MGM sıcaklık verileri arasındaki korelasyonun yüksekliği ağırlıklı bir şekilde mevsimsellik korelasyonunun yüksekliğinden etkilenmesiyle birlikte, ERA5 verileri istasyonlardaki aylık sıcaklık ortalamalardan sapmaları da yüksek doğrulukta elde edebilmektedir. Bu durum, ERA5 verilerinin kuraklık analizi gibi ortalamalardan arındırılmış anomali verilerine ihtiyaç duyan analizlerde yüksek doğrulukta kullanılabilir olduğunu ortaya koymaktadır.

ERA5 saatlik verilerin doğrulanmasında korelasyon ve hata standart sapması değerlerinin birbirlerinin sonuçlarını destekleyici çıkması bu iki istatistiğin güvenilir ve tutarlı olarak ERA5 hatalarının istasyonlar arasında karşılaştırılmasında kullanılabileceğini göstermektedir. Genel itibarıyla artan rakım ile birlikte ERA5 hatalarının da artmakta olduğu bulunmuştur. Bu durumun bir sebebi olarak istasyon-model arasındaki temsiliyet farklılıkları gösterilebilir.

Tüm Türkiye sıcaklık ortalaması karşılaştırılması gerçekleştirildiğinde ERA5 ve istasyonlar arasında fark çok fazla bulunmama ile birlikte, ERA5 sıcaklık yanlılığı farklı coğrafi bölgelerde ve farklı yükseklik değerlerinde ciddi değişim göstermektedir. Ege Bölgesindeki hataların diğer bölgelere kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Benzer bir şekilde, tüm Türkiye üzerindeki ERA5 ve istasyon sıcaklık değerlerinin standart sapması ortalama olarak birbirine çok benzer çıkmasına rağmen, mekansal olarak bu değerler çok farklılık göstermekte ve bazı istasyonlarda iki kata veya yarıya yakın standart sapma farklılıkları gözlemlenebilmektedir. Bu durum ERA5 verilerinin farklı çalışmalarda referans veri seti olarak kullanılmadan önce, mutlak suretle hücresel veya mekana göre değişen düzeltme katsayıları ile iyileştirildikten sonra ancak kullanılabileceğini, tüm Türkiye üzerinde tek bir düzeltme katsayısı kullanmanın sistematik hataları düzeltmede başarısız olabileceği değerlendirilmektedir.

Hata istatistikleri, literatürde yapılan doğrulama çalışmaları ile tutarlıdır ve çalışmada elde edilen sonuçlar, ERA5 veri setlerinin Türkiye’de homojen ve sürekli veriye ihtiyaç duyan çalışmalarda özellikle seyrek meteorolojik istasyon ağı içeren bölgelere farklı uygulamalarda güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini önermektedir.

Teşekkürler

Yazar, çalışma kapsamında kullanılan saatlik sıcaklık verilerini temin eden Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve European Centre for Medium-Range Weather Forecasts'e (ECMWF) teşekkür eder.

Kaynaklar

- Amjad M., Yılmaz M.T., Yılmaz K., Yücel İ., (2020), *Performance evaluation of satellite- and model-based precipitation products over varying climate and complex topography*, Journal of Hydrology, 584, 124707, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.124707.
- Aziz R., Yücel İ., Yozgatlıgil C., (2020), *Nonstationarity impacts on frequency analysis of yearly and seasonal extreme temperature in Turkey*, Atmospheric Research, 238, 104875.
- Bağçacı S., Yücel İ., Düzenli E., Yılmaz M.T., (2021), *Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: A Mediterranean hot spot case, Turkey*, Atmospheric Research, 256, 105576.
- CDS, (2021), *Climate Data Store*, ECMWF Copernicus, <https://cds.climate.copernicus.eu/>, [Erişim 6 Ağustos 2021].
- Coşkun K.A., (2021), *Doğu Karadeniz Orman Yangınlarının Uzun Dönem Meteorolojik Parametrelerle Değerlendirilmesi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(2), 374-381.
- Demchev D.M., Kulakov M.Y., Makshtas A.P., Makhotina I.A., Fil'chuk K.V., Frolov, I.E., (2020), *Verification of ERA-Interim and ERA5 Reanalyses Data on Surface Air Temperature in the Arctic*, Russian Meteorology and Hydrology, 45(11), 771-777.
- Demirok M.C., (2020), *Hayat Tablosu Verileri Kullanarak Elde Edilen Matematiksel Model ve Uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Elibüyük M., Yılmaz E., (2010), *Türkiye'nin Coğrafi Bölge ve Bölümlerine Göre Yükselti Basamakları ve Eğim Grupları*, Coğrafi Bilimler Dergisi, 8(1), 27-55.
- Essou G.R., Sabarly F., Lucas-Picher P., Brissette F., Poulin A., (2016), *Can Precipitation and Temperature from Meteorological Reanalyses Be Used for Hydrological Modeling?*, Journal of Hydrometeorology, 17(7), 1929-1950.
- Frederiksen L.-E., (2018), *An evaluation of the reanalyses ERA-Interim and ERA5 in the Arctic using N-ICE2015 data*, Yüksek Lisans Tezi, UiT The Arctic University of Norway, Tromsø, Norway.
- Hersbach H., Dee D., (2016), *ERA5 reanalysis is in production*, ECMWF Newsletter, 147(7), <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/147/news/era5-reanalysis-production>, [Erişim 6 Ağustos 2021].
- Kadioğlu M., (1997), *Trends in Surface Air Temperature Data over Turkey*, International Journal of Climatology, 17, 511-520.
- KC U.A., Aryal J., Hilton J., Garg S., (2021), *A Surrogate Model for Rapidly Assessing the Size of a Wildfire over Time*, Fire, 4(2), 20, doi: 10.3390/fire4020020.
- Kelebek M.B., Batıbeniz, F., Önoğlu B., (2021), *Exposure Assessment of Climate Extremes over the Europe-Mediterranean Region*, Atmosphere, 12(5), 633, doi: 10.3390/atmos12050633.
- King J., Marshall G., Colwell S., Allen-Sader C., Phillips T., (2021), *Validation of atmospheric reanalyses over the Weddell Sea, Antarctica, using observations from drifting buoys*, EGU General Assembly Conference Abstracts'ın içinde, Vienna, Austria, EGU21-10127.
- Kömüşçü A., Oğuz K., (2021), *Analysis of cold anomalies observed over Turkey during the 2018/2019 winter in relation to polar vortex and other atmospheric patterns*, Meteorology and Atmospheric Physics, 133, 1327-1354.
- MGM, (2021a), *İstasyon Bilgileri Veritabanı*, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://mgm.gov.tr/kurumsal/istasyonlarimiz.aspx> [Erişim 28 Ağustos 2021].
- MGM, (2021b), *Türkiye Meteoroloji Gözlem Sistemleri İstatistiksel Analizleri: (1970-2021)*, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/gozlemSistemleri/Turkiye-Meteorolojik-Gozlem-Sistemleri-Istatistiki-Analizler.pdf> [Erişim 12 Ocak 2022].
- Mutiibwa D., Strachan S., Albright T., (2015), *Land Surface Temperature and Surface Air Temperature in Complex Terrain*, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 8(10), 4762-4774.
- NASA, (2021), *Which measurement is more accurate: taking Earth's surface temperature from the ground or from space?* NASA Global Climate Change, <https://climate.nasa.gov/faq/49/which-measurement-is-more-accurate-taking-earths-surface-temperature-from-the-ground-or-from-space/>, [Erişim 1 Temmuz 2021].
- NOAA, (2021), *Weather and Climate Models*, NOAA National Centers for Environmental Information. <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets>, [Erişim 1 Temmuz 2021].
- Özgür E., Akbayır İ., Deniz A., (2017), *Monthly and Seasonal Trend Analysis of Maximum Temperatures over Turkey*, International Journal of Engineering Science and Computing, 7 (11), 15537-15541.
- Rakhmatova N., Arushanov M., Shardakova L., Nishonov B., Taryannikova R., Rakhmatova V., Belikov D., (2021), *Evaluation of the Perspective of ERA-Interim and ERA5 Reanalyses for Calculation of Drought Indicators for Uzbekistan*, Atmosphere, 12(5), 527, doi: 10.3390/atmos12050527.
- Rasp S., Lerch S., (2018), *Neural Networks for Postprocessing Ensemble Weather Forecasts*, Monthly Weather Review, 146(11), 3885-3900.
- Tarek M., Brissette F.P., Arsenault R., (2020), *Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America*, Hydrology and Earth System Sciences, 24, 2527-2544.
- Vitolo C., Di Giuseppe F., Barnard C., Coughlan R., San-Miguel-Ayanz J., Libertá G., Krzeminski B., (2020), *ERA5-based global meteorological wildfire danger maps*, Scientific Data, 7(1), 216, doi: 10.1038/s41597-020-0554-z.
- WMO, (2010), *Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in support of the UNFCCC: (2010 update)*, GCOS-138 World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Yılmaz E., Darende V., (2021), *Türkiye'de yağış ölçümü yapılan manuel-otomatik meteoroloji gözlem istasyonu verilerinin karşılaştırılması*, Türk Coğrafya Dergisi, 77, 53-66.