

**T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOĞU VE GÜNEYDOĞU BÖLGESİNDE TOPRAK SICAKLIĞININ
TREND ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serpil BURTAKUCI BURULDAY

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Yasin DEMİR**

**İKİNCİ TEZ DANIŞMANI
Dr.Öğr.Üyesi EZGİ DOĞAN MERAL**

BİNGÖL-2025



T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



DOĞU VE GÜNEYDOĞU BÖLGESİNDE TOPRAK SICAKLIĞININ TREND ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Doç. Dr. Yasin DEMİR danışmanlığında, Serpil BURTAKUCİ BURULDAY tarafından hazırlanan bu çalışma 27/05/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oy birliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan	: Doç. Dr. Yasin DEMİR	İmza:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zahid MALASLI	İmza:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Orhan İNİK	İmza:

Yukardaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun...../...../..... tarih ve/.....
nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın yanı sıra, yüksek lisans eğitimimin tamamı süresince ilgi ve desteklerini şahsımdan esirgemeyen, başta; çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Yasin DEMİR'e ve tez çalışmamda bilgi ve yardımlarını esirgemeyen 2.danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi EZGİ DOĞAN MERAL'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez izleme esnasında yaptıkları yönlendirmeler ve katkılarından dolayı değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zahid MALASLI'ya ve Dr. Öğr. Üyesi Orhan İNİK'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca, çalışmalarım sırasında bana uzun zamandır sabırla ve sevgiyle destek olan aileme çok teşekkür ederim.

Serpil BURTAKUCİ BURULDAY

BİNGÖL 2025

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. Materyal.....	7
3.1.1. Çalışma Alanı.....	7
3.2. Yöntem.....	8
3.2.1. Verilerin Toplanması.....	8
3.2.2. Trend Analizi.....	9
3.2.3. İstatiksel Analizler.....	10
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	11
4.1. Araştırma Alanı Toprak Sıcaklıkları.....	11
4.2. Toprak Sıcaklıklarının Trend Analizi.....	14
4.2.1. 5 cm Toprak Derinliğindeki Trend.....	14
4.2.2. 10 cm Toprak Derinliğindeki Trend.....	16
4.2.3. 20 cm Toprak Derinliğindeki Trend.....	18
4.2.4. 50 cm Toprak Derinliğindeki Trend.....	20
4.3. Toprak Sıcaklığındaki Anlamlı Trendlerin Toprak ve Bitki İlişkilerinde Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi.....	22
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	26
KAYNAKLAR.....	27
EKLER.....	30

SİMGELER VE KISALTMALAR

cm	: Saantimetre
°C	: Santigrat Derece
%	: Yüzde
EC	: Elektriksel İletkenlik
g	: Gram
HMF	: Hidroksimetilfurfural
K	: Kelvin
km ²	: Kilometrekare
mak.C	: En Yüksek Hava Sıcaklığı
min.C	: En Düşük Hava Sıcaklığı
mntü.C	: En Düşük Toprak Üstü Sıcaklığı
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
ms/cm	: Milisimens/Santimetre
meq/kg	: Miliekivalan/Kilogram
mg	: Miligram
ng	: Nanogram
ort.C	: Ortalama Hava Sıcaklığı
ort.W	: Ortalama Nem
ort.R	: Ortalama Rüzgar
ortbh.B	: Ortalama Buhar Basıncı
pH	: Power of Hydrogen
ppm	: Milyonda Bir Birim
T5	: 5 cm Derinlikte Ölçülen Toprak Sıcaklığı
T10	: 10 cm Derinlikte Ölçülen Toprak Sıcaklığı
T20	: 20 cm Derinlikte Ölçülen Toprak Sıcaklığı
T50	: 50 cm Derinlikte Ölçülen Toprak Sıcaklığı
T100	: 100 cm Derinlikte Ölçülen Toprak Sıcaklığı
top.S	: Toplam Güneşlenme Süresi
top.P	: Toplam Yağış
µg	: Mikrogram
> / <	: Büyüktür / Küçüktür
+	: Artı
=	: Eşittir

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Çalışma Alanı ve Meteoroloji İstasyonları.....	7
Şekil 3.2.	Toprak Sıcaklığı Ölçme Düzeneği.....	8
Şekil 3.3.	SPSS Programı Kullanılarak Yapılan İstatistiksel Analizlerin Ekran Görüntüsü.....	10
Şekil 4.1.	5 cm Toprak Derinliğindeki Sıcaklıkların Trend Analiz Sonuçları....	15
Şekil 4.2.	10 cm Toprak Derinliğindeki Sıcaklıkların Trend Analiz Sonuçları...	17
Şekil 4.3.	20 cm Toprak Derinliğindeki Sıcaklıkların Trend Analiz Sonuçları..	19
Şekil 4.4.	50 cm Toprak Derinliğindeki Sıcaklıkların Trend Analiz Sonuçları..	21

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Meteoroloji İstasyonlarında 1980-2022 Yılları Arasında 0-50 cm Aralığındaki Ortalama Toprak Sıcaklıklarına Ait Betimleyici İstatistiksel Değerler.....	13
---	----

DOĞU VE GÜNEYDOĞU BÖLGESİNDE TOPRAK SICAKLIĞININ TREND ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Toprak sıcaklığı tarımsal üretimde, tohumların çimlenmesi ve filizlenmesi, köklerin gelişmesi yanında toprakların birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine etki etmektedir. Son yüzyıl içerisinde küresel iklimde meydana gelen değişiklikler toprak sıcaklıklarında da kendini göstermektedir. Bu nedenle toprak sıcaklıklarının belirlenmesi ve izlenmesi tarımsal üretim için önemli bir hale gelmiştir.

Bu çalışma Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi (Dicle ve Fırat Havzası) sınırları içerisinde bulunan 25 meteoroloji istasyonunda ölçülen farklı derinlikteki toprak sıcaklıklarının trend (eğilim) analizini yapmak amacıyla yürütülmüştür. Bu doğrultuda belirlenen istasyonlarda 1980-2022 yılları arasında 5 cm, 10 cm, 20 cm ve 50 cm derinliklerinde ölçülen aylık ortalama toprak sıcaklık değerleri Mann-Kendall yöntemiyle analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre genel olarak bütün istasyonlarda toprak sıcaklıklarının artan bir trend gösterdiği, yaz aylarında lokal olarak bazı istasyonlarda ise azalan bir trendin olduğu dikkat çekmiştir. En yüksek trend değeri Ağustos ayında Siirt ilinde 50 cm toprak derinliği için bulunmuştur ($Z_s=5,818$). En düşük trend ise yine aynı ay ve derinlikte Bingöl ilinde belirlenmiştir ($Z_s=-4,67$). Bütün istasyonlar dikkate alındığında ortalama toprak sıcaklığı trendi 5 cm, 10 cm, 20 cm ve 50 cm derinlikleri için sırasıyla 1,318, 1,265, 1,738 ve 1,990 olarak tespit edilmiştir. Artan toprak sıcaklıklarının toprak nem içeriği, organik maddenin ayrışma hızı, toprakların strüktürel yapısı ve bitki vejetasyonu üzerinde önemli etkilerinin olabileceği tartışılmıştır. Özellikle yüzey toprak sıcaklıklarındaki (5 cm) değişim anılan bölgelerde bitkisel üretim faaliyetlerinin (ekim, sulama ve hasat gibi) takviminde değişimlere neden olabileceği öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Toprak Sıcaklığı, Trend Analizi, Mann-Kendall, Bitkisel Üretim.

TREND ANALYSIS AND EVALUATION OF SOIL TEMPERATURE IN THE EAST AND SOUTHEAST REGION

ABSTRACT

Soil temperature plays a critical role in regulating numerous physical, chemical, and biological processes within the soil environment. It directly influences seed germination, sprouting, and root development, all of which are fundamental to agricultural productivity. Over the past century, global climate change has also manifested in altered soil temperature patterns. Consequently, the accurate determination and continuous monitoring of soil temperatures have become increasingly important for sustainable agricultural management.

This study aims to analyze long-term trends in soil temperatures at varying depths, based on data collected from 25 meteorological stations across Eastern and Southeastern Anatolia, within the Tigris and Euphrates Basin. Monthly average soil temperature values recorded at depths of 5 cm, 10 cm, 20 cm, and 50 cm between 1980 and 2022 were assessed using the Mann-Kendall trend analysis method.

The findings revealed a general upward trend in soil temperatures across most stations, although some locations exhibited localized decreasing trends during the summer months. The most pronounced positive trend was observed at a depth of 50 cm in Siirt province during August ($Z_s=5,818$), whereas the most significant negative trend was identified at the same depth and month in Bingöl province ($Z_s=-4,67$). When averaged across all stations, trend values were calculated as 1,318, 1,265, 1,738, and 1,990 for the 5 cm, 10 cm, 20 cm, and 50 cm depths, respectively. These results suggest that rising soil temperatures may substantially impact soil moisture dynamics, organic matter decomposition rates, soil structure, and regional vegetation patterns. In particular, shifts in surface soil temperature (5 cm depth) are likely to influence the agricultural calendar by altering the timing of key crop management practices, such as sowing, irrigation, and harvesting, in the studied regions.

Keywords: Soil Temperature, Trend Analysis, Mann-Kendall, Crop Productio.

1. GİRİŞ

Toprak sıcaklığı konusuna geçmeden önce, sıcaklık ve ısı kavramlarının tanımlanması faydalı olacaktır. Sıcaklık, bir maddenin sahip olduğu enerji düzeyini yansıtan ve termometre ile ölçülen fiziksel bir büyüklüktür; genellikle santigrat derece (°C) veya Kelvin (K) cinsinden ifade edilir. Isı ise bir enerji türü olup kalorimetre ile ölçülür; birimi Kalori ya da Joule'dür (1 kal=4,18 Joule). Özetle, ısı; maddelerde sıcaklık değişimine yol açan enerji biçimini tanımlarken, sıcaklık; iki cisim arasındaki ısı alışverişinin derecesini belirtir (Çepel, 1985 ve Bahtiyar, 1996).

Toprak sıcaklığı, tarımsal üretim ve toprak süreçleri açısından kritik öneme sahip bir çevresel değişkendir. Biyolojik, kimyasal ve fiziksel reaksiyonların hızını belirleyici bir rol üstlenmektedir. Örneğin, düşük sıcaklıklarda (özellikle 5 °C'nin altında) bitki kök gelişimi yavaşlamakta veya durmaktadır. Donma koşullarında biyolojik ve kimyasal süreçler büyük ölçüde askıya alınırken, fiziksel ayrışma süreci devam edebilmektedir (Dinç ve Şenol, 1998).

Söz konusu sıcaklık, toprak nemi, havalanması, su hareketi, agregat oluşumu, tohum çimlenmesi, kök gelişimi ve mikrobiyal faaliyetler üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Özkan, 1985; Taylor ve Jackson, 1986). Ayrıca, bitkisel organizmaların türlerine özgü minimum ve maksimum sıcaklık gereksinimleri bulunmakta olup, bu sınırların dışındaki sıcaklıklar gelişimi olumsuz etkilemektedir (Baver vd., 1972; Kirkham ve Powers, 1972).

Toprak sıcaklığını etkileyen başlıca faktörler; güneşten gelen kısa dalga radyasyon enerjisi, toprak derinliklerinden gelen iletimsel ısı ve biyokimyasal reaksiyonlar sonucu açığa çıkan enerjidir (Onwuka ve Mang, 2018). Yüzeydeki sıcaklık, günlük ve mevsimsel değişkenlik gösterirken, bu değişim toprak profilinin derinliklerine doğru azalır ve yaklaşık 10 m derinlikte sabit bir hal alır (Dinç ve Şenol, 1998). Bu nedenle, tarımsal faaliyetlerin planlanmasında yüzey sıcaklıklarının düzenli olarak izlenmesi büyük önem taşır (Mihalakakou, 2002).

Bu araştırmanın temel amacı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilen 1980-2022 dönemine ait Güneydoğu ve Doğu Anadolu bölgelerindeki 25 meteoroloji istasyonunun aylık ortalama toprak sıcaklığı verileri üzerinden trend analizleri gerçekleştirerek, uzun vadeli değişimlerin tarımsal üretim ve toprak özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Toprak sıcaklığı, bitki büyümesi ve gelişimi üzerinde doğrudan etkili olan önemli çevresel bir faktördür. Araştırmalar, toprak sıcaklığının tohum çimlenmesi, kök gelişimi, su ve besin elementlerinin alımı gibi fizyolojik süreçleri belirleyici olduğunu ortaya koymuştur (Baver vd., 1972; Kirkham, 2004). Özellikle 5 °C'nin altındaki sıcaklıklarda birçok bitki türünde kök gelişimi durmakta, 9 °C'nin altı ve 50 °C'nin üstü gibi ekstrem değerlerde ise bitki gelişimi ciddi oranda yavaşlamaktadır (Taylor ve Jackson, 1986; Baskin ve Baskin, 2014).

Toprak sıcaklığı; güneşten gelen radyasyon, toprak nemi, hava sıcaklığı, rüzgar, toprak rengi, bitki örtüsü ve toprağın fiziksel yapısı gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Güneş ışınlarının dalga boyuna göre toprağa ulaşan radyasyon miktarı, toprak sıcaklığının temel belirleyicisidir (Onwuka ve Mang, 2018). Ayrıca meteorolojik değişkenlerin (örn. rüzgar yönü ve hızı, nem, yağış) toprak sıcaklığı üzerindeki etkisi önemlidir (Yücel, 1999; Mihalakakou, 2002).

Toprak sıcaklığı, mikrobiyal faaliyetlerin düzenlenmesinde merkezi rol oynamaktadır. Özellikle organik maddelerin ayrışma hızı, mikrobiyal solunum ve azot mineralizasyonu sıcaklıkla doğrudan ilişkilidir (Seyfried vd., 2001; Paul vd., 2004). Toprak sıcaklığının uygun seviyede olması, bitkisel artıkların ayrışmasını hızlandırmakta ve toprak verimliliğini artırmaktadır (Tenge vd., 1998).

İklim değişikliği, toprak sıcaklıklarında düzensiz artışlara ve daha sık yaşanan aşırı sıcaklık olaylarına neden olmaktadır. Türkiye genelinde yapılan çalışmalarda toprak sıcaklıklarında artış eğilimi gözlemlenmiş, bu artışın özellikle kuraklık riski ve tarımsal üretim açısından tehdit oluşturduğu belirtilmiştir (Karabulut, 2012; Demir vd., 2025).

Meteoroloji verilerine dayalı analizler, sıcaklık dalgalanmalarının yıl içindeki değişkenliğini de ortaya koymaktadır (Yılmaz vd., 2009). Toprak sıcaklığının düzenli

olarak ölçülmesi, hem tarımsal faaliyetlerin planlanmasında hem de pasif yapı sistemlerinde enerji kayıplarının analizinde kritik öneme sahiptir (Yılmaz vd., 2009).

Gelişen teknoloji sayesinde, toprak sıcaklığı verileri meteoroloji istasyonlarından elde edilmekte, bu verilerle yapılan trend analizleri ise toprak sıcaklığındaki uzun vadeli değişimlerin belirlenmesine katkı sağlamaktadır (Garcia Suarez ve Butler, 2006).

Toprak sıcaklığı, yalnızca bitki gelişimini değil; toprak yapısı, organik madde dönüşümü, su dengesi ve besin maddesi alımı gibi çok sayıda süreç üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Uygun sıcaklık koşullarında tohumlar daha hızlı çimlenmekte, fideler sağlıklı gelişmekte ve bitki kökleri besin alımını daha etkin bir şekilde gerçekleştirmektedir (Tenge vd., 1998).

Toprağın ısı özellikleri, çevresel mikroiklimi de etkileyerek bitki çevresindeki hava sıcaklığının düzenlenmesinde görev alır. Düşük su içeriğine sahip kuru topraklar hızlı ısınmakta ve hızlı soğumaktadır; bu durum bitkilerin morfolojik ve fizyolojik tepkilerini doğrudan etkilemektedir (Steduto, 2000). Ayrıca, azot ve karbon elementlerinin mineralizasyon süreçleri de doğrudan sıcaklığa bağlıdır (Seyfried vd., 2001).

Tropik iklimlerde yüksek toprak sıcaklıkları; fide ölümleri, bodur bitki gelişimi ve hastalıkların yaygınlaşması gibi olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir (Tenge vd., 1998). Bununla birlikte, küresel iklim değişikliği bağlamında artan sıcaklıkların kuraklık riskini artırdığı ve bu durumun özellikle Türkiye gibi yarı kurak bölgelerde daha belirgin hale geldiği ifade edilmektedir (Uğurlu ve Örcen, 2007).

Toprak sıcaklığındaki günlük dalgalanmalar, toprak içindeki biyolojik ve kimyasal reaksiyonları doğrudan etkiler (Paul vd., 2004). Ancak, bu değişim düzensiz olduğu için geçmiş yıllardaki verilere dayanarak gelecek yıllar için net tahminlerde bulunmak oldukça zordur. Bu nedenle, sıcaklık verilerinin sürekli izlenmesi gereklidir.

Meteorolojik değişkenler, örneğin rüzgar yönü, güneşlenme süresi, nem oranı, yağış miktarı ve atmosfer basıncı, toprak sıcaklığını etkileyen başlıca dışsal faktörlerdir (Yücel, 1999). Bununla birlikte, toprak sıcaklığı; toprağın rengi, tekstürü, organik madde miktarı ve coğrafi konum gibi yapısal özelliklerden de etkilenmektedir. Toprak sıcaklıklarının

zamansal eğilimleri üzerine yapılan akademik çalışmalar, iklim değişikliği bağlamında bu parametrenin yüzey ve alt toprak katmanlarında önemli değişimler gösterdiğini ortaya koymaktadır. İran'ın yarı kurak bir bölgesi olan Bajgah'ta 1987–2016 yılları arasını kapsayan bir çalışmada, 5 cm ile 100 cm derinliklerde yapılan ölçümlerde, toprak sıcaklıklarında hava sıcaklıklarına göre 2 ile 3 kat daha hızlı bir artış saptanmıştır. Özellikle yaz aylarında 5–10 cm derinlikteki artış oranı yıllık 0,19–0,20 °C civarındadır (Moradi vd., 2018).

Türkiye'nin Niğde-Ulukışla bölgesinde 1970–2019 yıllarını kapsayan uzun dönemli verilere dayanan bir diğer çalışmada, 10 cm, 50 cm ve 100 cm derinliklerdeki ortalama, maksimum ve minimum toprak sıcaklıklarında mevsimsel olarak anlamlı artışlar tespit edilmiştir. Mann–Kendall ve Spearman korelasyon testleri gibi parametrik olmayan yöntemlerle yapılan analizler, özellikle ilkbahar ve yaz aylarında bu eğilimlerin daha belirgin olduğunu göstermektedir (Güler ve Yüksel, 2021).

Avrupa'da Almanya'nın Kuzey Ren-Vestfalya bölgesinde yapılan ve 1951–2018 yılları arasını kapsayan çalışmada ise, toprak sıcaklıklarının, hava sıcaklıklarına kıyasla daha hızlı arttığı ortaya konmuştur. Bu durumun temel nedenleri arasında kar örtüsünün erken erimesi, azalan yağış miktarı ve artan güneşlenme süresi gibi etmenler gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, Mann–Kendall testi ve başlıca bileşen analizi (PCA) kullanılarak eğilimler istatistiksel olarak desteklenmiştir (Pütz vd., 2021).

Tibet Platosu'nda 1960–2014 yılları arasındaki ölçümler, özellikle 0–20 cm aralığında yer alan toprak katmanlarında mevsimsel ve yıllık sıcaklık artışlarının belirgin olduğunu göstermiştir. Bahar ve yaz aylarında yüzey katmanları daha fazla ısınırken, derin katmanlarda sonbahar ve kış aylarında artışlar gözlemlenmiştir. Bu çalışmada Sen'in eğim tahmincisi ve modifiye Mann–Kendall testi birlikte kullanılmıştır (Zhang vd., 2017).

Kuzey Yarımküre'nin donmuş toprak (permafrost) bölgelerinde yapılan geniş çaplı bir çalışmada ise, 2003–2012 yılları arasında 0–300 cm aralığındaki derinliklerde anlamlı sıcaklık artışları saptanmıştır. Bu çalışma, uydu verileri, saha gözlemleri ve CMIP6 iklim

modeli simülasyonlarının karşılaştırılmasını içermektedir. Bulgular, gözlemsel verilerin modellerle yüksek düzeyde uyumlu olduğunu ortaya koymuştur (Wang vd., 2024).

İtalya'daki Campi Flegrei volkanik alanında yapılan farklı bir çalışmada ise toprak sıcaklıklarındaki dalgalanmalar, fraktal modelleme (Fractional Brownian Motion) yöntemiyle analiz edilmiştir. Burada eğilim bileşeninin yanı sıra rastgelelik ve gürültü etkileri de matematiksel olarak ayrıştırılmış ve özellikle yüzeydeki mevsimsel varyasyonlara dikkat çekilmiştir (La Rocca vd., 2023).

Son olarak, Türkiye genelinde gerçekleştirilen bazı çalışmalarda, toprak sıcaklıklarının uzun vadeli artış eğilimi sergilediği ortaya konmuştur (Demir vd., 2025). Bu durum, tarımsal sürdürülebilirlik açısından gelecekte önemli sonuçlar doğurabilir.

Bu tez çalışması Doğu Anadolu Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesine ait illerin 1980-2022 yılları arasında gözlenmiş bazı meteorolojik verilerini kullanarak bir sonraki yıla ait ayların ortalama toprak sıcaklığını tahmin etmeye yönelik olarak hazırlanmıştır. Meteorolojik yapının ve jeolojik özelliklerin farklılıklar göstermesi sebebiyle aylık ortalama toprak sıcaklığı tahmini yapılırken Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından meteorolojik verilerin ölçüldüğü her bir istasyon kendi içinde ayrı olarak değerlendirilmiştir. Uygulamada tahmin modellerinin yapıldığı ve sonuçlarının paylaşıldığı örnek istasyon olarak Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi seçilmiştir.

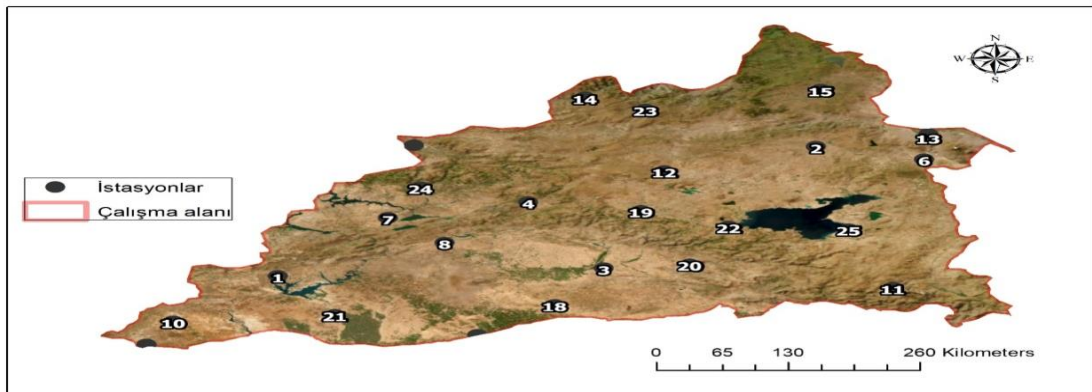
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi sınırları içerisinde yürütülmüştür. Doğu Anadolu Bölgesinin yüzölçümü 164.000 km²'dir. Yüzölçümü bakımından Türkiye topraklarının %21'ini kaplar. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ise yüzölçümü 59.176 km² olup Türkiye topraklarının %8'lik kısmını oluşturur. Doğu Anadolu Bölgesinin toplam tarım alanı 3.218.376 hektar (ha) olup; Türkiye toplam tarım alanının %12,5'ini kapsamaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin toplam tarım alanı 3.212.086 ha olup aynı şekilde Türkiye toplam tarım alanının %12'sini kapsamaktadır.

Çalışmanın ana materyalini, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan bazı meteoroloji istasyonlarından alınan uzun yıllık toprak sıcaklık değerleri oluşturmaktadır. Çalışmada sıcaklık değerleri kullanılacak istasyonlar 1-Adıyaman, 2-Ağrı, 3-Batman, 4-Bingöl, 5-Ceylanpınar, 6-Doğubeyazıt, 7-Elazığ, 8-Ergani, 9-Erzincan, 10-Gaziantep, 11-Hakkari, 12-Hıms, 13-Iğdır, 14-İspir, 15-Kars, 16-Kilis, 17-Malatya, 18-Mardin, 19-Muş, 20-Siirt, 21-Şanlıurfa, 22-Tatvan, 23-Tortum, 24-Tunceli ve 25-Van istasyonlarıdır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışma alanı ve meteoroloji istasyonları

Verilerin alındığı meteoroloji istasyonlarında toprak sıcaklık ölçümleri farklı derinliklerde özel şekilde imal edilmiş civalı termometreler ile ölçülmektedir. Toprak sıcaklığı için standart derinlikler 5, 10, 20, 50 ve 100 cm. derinliklerdir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Toprak sıcaklığı ölçüme düzeneği

Çalışmada ele alınan meteoroloji istasyonlarının bulunduğu il merkezlerine ait çok yıllık (1981-2021) yıllara arasında kaydedilmiş ortalama bazı iklim parametreleri Ek'te verilmiştir (Bulgurcu ve Koçyğit, 2024).

3.2. Yöntem

3.2.1. Verilerin Toplanması

Çalışmada kullanılan veriler MGM'den alınmıştır. Çalışma alanı olarak belirlenen bölgede 1980-2022 yılları arasında düzenli olarak eksiksiz ölçüm kayıtları olan 25 meteoroloji istasyonunun toprak sıcaklığı ölçüm değerleri temin edilmiştir. Meteoroloji istasyonlarında farklı derinliklerdeki toprak sıcaklıkları, özel termometreler ile ölçülmekte ve otomatik olarak termograflara kaydedilmektedir. Toprak sıcaklığı için standart derinlikler 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm. derinliklerdir (MGM, 2025).

Ancak bu çalışmada toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin en dinamik olduğu ve ortalama bitki solum bölgesi olarak kabul edilen 0-50 cm üst toprak katmanındaki sıcaklıklar değerlendirilmiştir. Bunun için 1980-2022 yılları arasında 25 meteoroloji istasyonunda ölçülen 5 cm, 10 cm, 20 cm ve 50 cm derinlikteki aylık ortalama toprak sıcaklık değerleri değerlendirilmiştir.

3.2.2. Trend Analizi

Bu çalışmada toprağın 4 farklı derinliğindeki aylık ortalama sıcaklık serilerindeki muhtemel trendin belirlenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan Mann-Kendall testi uygulanmıştır. Verilerin analizinde bu testin seçilmesinin ana nedeni Mann-Kendall testinin parametrik olmayan yani tüm dağılımlar için çalışabilir olmasıdır. (Khambhammettu, 2005). Trend için Mann-Kendall istatistiksel testi, bir dizi veri değerinin zaman içinde arttığını veya azaldığını ve her iki yöndeki eğilimin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirmek için kullanılmaktadır (Gilbert, 1987). Bu yöntem klimatolojik ve hidrolojik verilerindeki eğilimlerin belirlenmesi için en çok tercih edilen güvenilir yöntemlerin başında gelmektedir (Burn vd., 2002). Bu test ile bir zaman serisinde trend olup olmadığı; “H₀: trend yok” (sıfır hipotezi) ile kontrol edilmektedir. Buna göre, test istatistiği S ve işaret fonksiyonu denklem 3.1 ve 3.2’de verildiği gibi hesaplanır. Daha sonra denklem 3.3 ve 3.4’te verilen formüller ile sırasıyla S’in varyansı ve Z test istatistiği belirlenir.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (3.1)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1; x_j > x_k \\ 0; x_j = x_k \\ -1; x_j < x_k \end{cases} \quad (3.2)$$

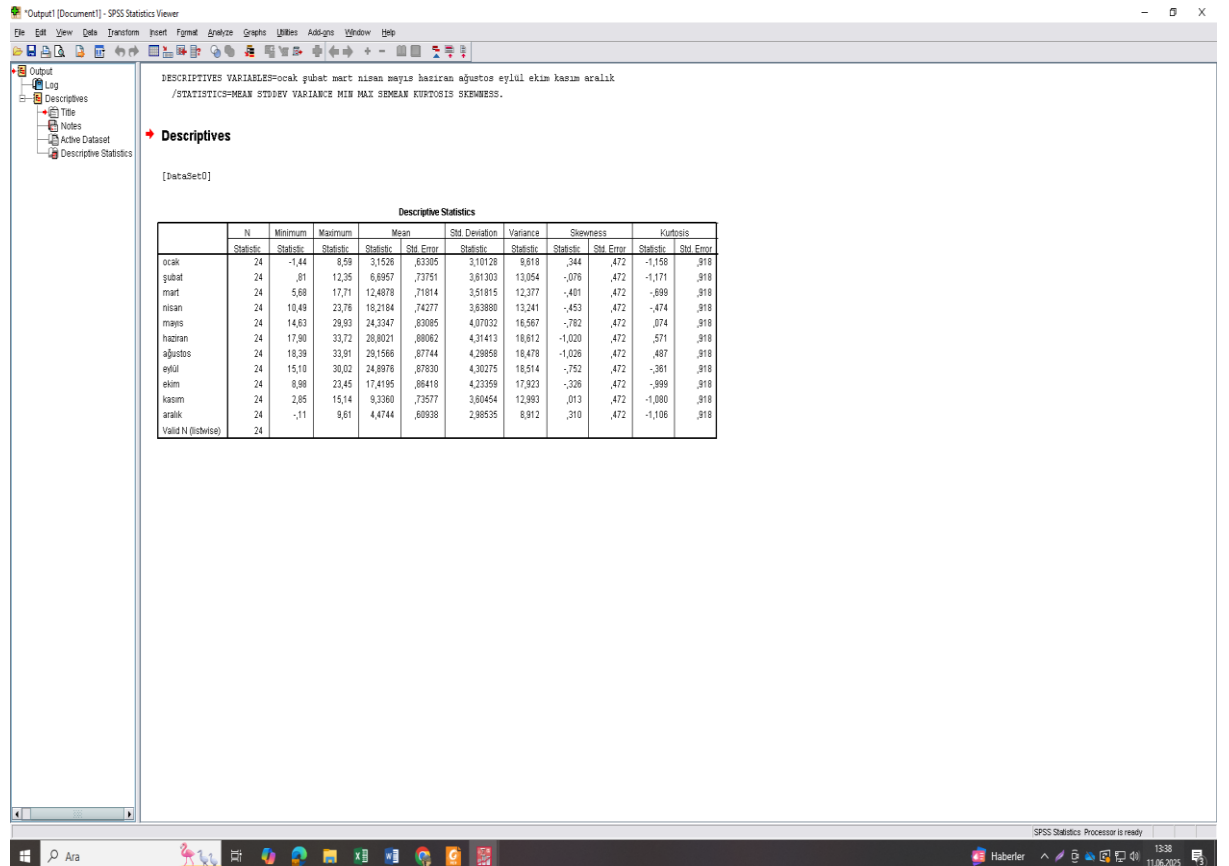
$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (3.3)$$

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

Burada, n veri sayısını, x ise i ve j zamanlarındaki veriyi, m veri setindeki tekrar gözlem sayıları, t_i değeri i uzunluğundaki bir seride tekrarlanan gözlemleri göstermektedir. İstatistiksel olarak anlamlı bir trendin belirlenmesi için Z değeri kullanılır. α anlamlılık düzeyinde $|Z| < \alpha / 2$ olması durumunda anlamlı bir trend olmadığı, $|Z| \geq \alpha / 2$ olması durumunda ise istatistiksel olarak anlamlı bir trend olduğu ve S değerinin işaretine göre de trendin artan ya da azalan yönde olduğu sonucuna varılır. Bu çalışmamızda %95 güven aralığında $Z_{\alpha/2}$ değeri normal dağılım tablolarına göre $\pm 1,96$ olarak alınmıştır.

3.2.3. İstatistiksel Analizler

Bu çalışmada verilerin betimleyici istatistiksel analizleri ve trend analizleri SPSS.17 istatistik paket programı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.3). Çalışmada istaonlara ait toprak sıcaklık parametrelerinin ortalama (mean), maximum (max), minimum (min), standart hata (SE), Çarpıklık (Skewness) ve Basıklık (Kurtosis) değerleri belirlenerek yorumlanmıştır (Efe ve ark., 2000).



Şekil 3.3. SPSS programı kullanılarak yapılan istatistiksel analizlerin ekran görüntüsü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Araştırma Alanı Toprak Sıcaklıkları

Araştırma alanı olarak seçilen bölgede 25 meteoroloji istasyonunda 1980-2022 yılları arasında aylık olarak ölçülen 0-50 cm aralığındaki ortalama toprak sıcaklıkları ve bu ölçümlere ait bazı betimleyici istatistiksel veriler Tablo 4.1.'de verilmiştir. Araştırma alanı meteoroloji istasyonlarında ölçülen en yüksek ortalama toprak sıcaklığı 20,39 °C ile Şanlıurfa ve Ceylanpınar meteoroloji istasyonlarında ölçülmüştür. Araştırma alanı meteoroloji istasyonlarında ölçülen en düşük ortalama toprak sıcaklığı 7,67 °C ile Ağrı meteoroloji istasyonunda ölçülmüştür. En yüksek sıcaklık ölçümü ise 33,9 °C ile Adıyaman'da, en düşük toprak sıcaklığı ise -1,67 °C ile Kars'ta ölçülmüştür. En düşük toprak sıcaklık değeri Ocak ayında, en yüksek toprak sıcaklık değeri ise Ağustos ayında kaydedilmiştir. Bununla beraber bütün istasyonlarda en yüksek ortalama sıcaklıklar yine Ağustos ayında kaydedilirken, en düşük ortalama toprak sıcaklık değerleri Ocak ve Şubat aylarında kaydedilmiştir.

Önceki yıllarda yapılmış olan çalışmalarda Türkiye'deki meteoroloji istasyonlarından alınan toprak sıcaklık verileri farklı metotlar kullanılarak analiz edilmiştir. Tekkanat ve Öztürk, (2022) çalışmalarında Türkiye'deki toprak sıcaklığı rejimlerinin mekansal ve zamansal özelliklerini araştırmıştır. Çalışmada 153 istasyondan 4 farklı derinlik için toprak sıcaklık değerleri ele alınmıştır. Araştırmacılar termik ve hipertermik toprak sıcaklığı rejim yüzdelерinin son 10 yılda arttığını ve bu artışın muhtemelen Temmuz-Aralık ayları arasında normalin üzerinde seyreden ortalama hava sıcaklıklarından ve son 10 yılda kırılan hava sıcaklığı rekorlarından kaynaklandığını bildirmiştir.

Yeşilırmak, (2014) tarafından Türkiye'nin batısındaki Büyük Menderes Havzası'ndaki sekiz alanda 1970'lerden 2006'ya kadar olan dönemde 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinliklerde mevsimsel ve yıllık ölçeklerde toprak sıcaklığı eğilimleri analiz edilmiştir.

Çalışma sonucunda tüm mevsimlerde toprak sıcaklıklarında genel bir artış olduğunu göstermiştir. En önemli ısınmalar yaz aylarında, özellikle üst katmanlarda (5 cm, 10 cm ve 20 cm) gözlenmiştir. Eğilim büyüklükleri, bölgeye, mevsime ve derinliğe bağlı olarak $-0,91\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $2,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişmiştir.

Demir ve ark., (2025) çalışmalarında Türkiye'deki 73 meteoroloji istasyonu verilerini kullanarak 0-20 cm derinlikleri için eğilim analizi yapmışlardır. Çalışma sonucunda Türkiye'de 73 iklim istasyonunun 1980-2021 yılları arasındaki toprak sıcaklık değerleri kullanılarak yapılan trend analizine göre baskın bir şekilde pozitif bir artışın olduğu görülmüştür.

Tablo 4.1. Meteoroloji istasyonlarında 1980-2022 yılları arasında 0-50 cm aralığındaki ortalama toprak sıcaklıklarına ait betimleyici istatistiksel değerler

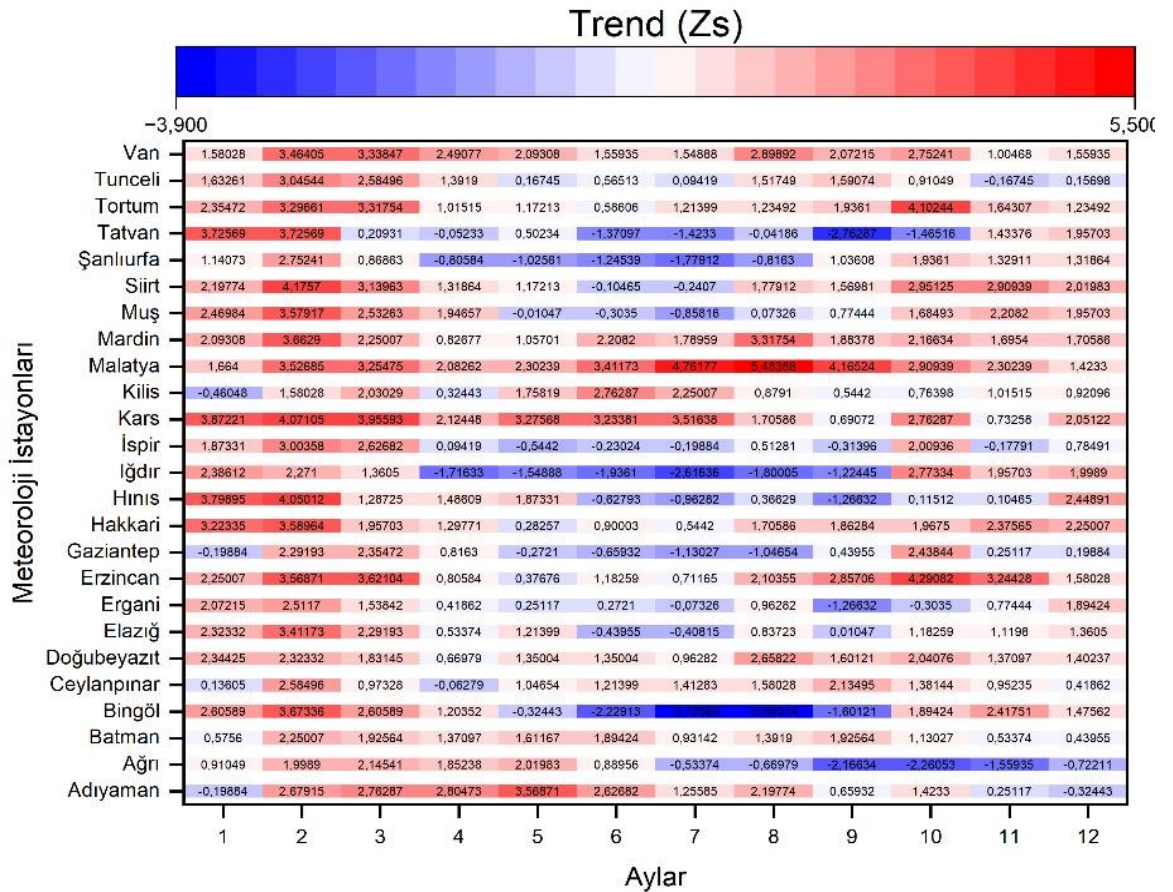
Meteoroloji İstasyonları	Aylık Ortalama Toprak Sıcaklıkları (°C)												Tanımlayıcı İstatistik (Descriptive İstatistic)				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mean ± SE	Min.	Max.	Skewness	Kurtosis
Adıyaman	5,36	6,53	10,71	16,46	22,25	28,45	33,32	33,91	29,75	22,29	13,29	7,73	19,17 ± 3,05	5,36	33,91	0,10	-1,60
Ağrı	-1,38	-1,25	0,81	5,68	10,49	14,63	17,90	18,39	15,10	8,98	2,85	-0,11	7,67 ± 2,18	-1,38	18,39	0,18	-1,67
Doğubeyazıt	-0,02	0,68	4,56	10,63	15,97	21,98	26,49	26,81	22,47	14,44	6,49	1,79	12,69 ± 2,91	-0,02	26,81	0,14	-1,60
Batman	5,75	6,95	10,82	15,96	21,14	27,14	31,39	31,79	28,00	21,32	13,44	8,12	18,48 ± 2,78	5,75	31,79	0,09	-1,59
Bingöl	1,32	1,48	5,53	11,66	17,65	24,48	29,15	29,34	24,78	16,89	8,78	3,70	14,56 ± 3,06	1,32	29,34	0,15	-1,60
Tatvan	0,46	0,32	2,10	8,29	14,60	21,21	25,25	25,15	19,40	11,92	5,29	1,72	11,31 ± 2,78	0,32	25,25	0,29	-1,58
Ergani	2,98	4,05	8,44	14,41	20,53	27,40	32,73	32,96	28,14	19,85	10,65	5,15	17,28 ± 3,23	2,98	32,96	0,15	-1,59
Elazığ	3,25	4,11	8,15	14,00	19,83	26,04	30,47	30,62	26,10	18,73	10,36	5,37	16,42 ± 2,97	3,25	30,62	0,12	-1,61
Erzincan	1,06	1,67	5,84	12,24	17,72	23,12	27,72	28,12	23,44	14,97	7,53	2,93	13,86 ± 2,92	1,06	28,12	0,14	-1,59
Hınıs	-0,48	-0,21	1,26	7,03	13,50	19,28	23,81	24,21	19,64	12,21	4,58	0,76	10,47 ± 2,75	-0,48	24,21	0,25	-1,64
İspir	0,29	1,00	4,93	11,02	16,08	21,36	25,79	26,29	21,81	14,13	6,21	1,85	12,56 ± 2,81	0,29	26,29	0,13	-1,60
Tortum	0,34	0,72	3,92	9,61	14,56	19,70	24,11	24,35	20,05	13,11	6,05	1,94	11,54 ± 2,61	0,34	24,35	0,16	-1,58
Gaziantep	4,73	5,97	10,12	15,37	21,10	26,88	31,11	31,53	27,71	20,53	11,86	6,65	17,80 ± 2,89	4,73	31,53	0,09	-1,63
Hakkari	0,77	0,96	4,43	10,66	17,03	25,17	30,33	30,87	26,60	17,92	8,62	2,73	14,67 ± 3,32	0,77	30,87	0,19	-1,64
Iğdır	1,02	2,30	7,86	14,57	19,97	25,38	29,55	29,78	25,22	17,12	8,69	3,25	15,39 ± 3,08	1,02	29,78	0,01	-1,59
Kars	-1,67	-1,44	1,11	6,02	11,39	16,37	19,84	20,22	16,86	10,64	4,24	0,49	8,67 ± 2,39	-1,67	20,22	0,14	-1,65
Kilis	6,97	7,78	11,14	16,08	21,52	26,70	30,18	30,86	28,21	22,14	14,32	9,14	18,75 ± 2,59	6,97	30,86	0,04	-1,68
Malatya	3,18	4,28	8,60	14,40	20,09	26,29	31,50	31,96	27,22	19,31	10,62	5,21	16,89 ± 3,08	3,18	31,96	0,14	-1,57
Mardin	4,48	5,18	8,76	14,58	20,89	28,05	32,65	33,03	29,04	21,34	12,36	6,92	18,11 ± 3,12	4,48	33,03	0,14	-1,65
Muş	0,66	0,65	3,46	10,68	16,67	23,03	28,18	28,71	24,13	15,79	7,51	2,71	13,52 ± 3,09	0,65	28,71	0,18	-1,61
Siirt	4,16	5,39	9,30	15,13	20,99	28,25	33,35	33,62	29,38	21,29	12,20	6,56	18,30 ± 3,18	4,16	33,62	0,15	-1,60
Ceylanpınar	7,51	8,59	12,35	17,70	23,76	29,77	33,58	33,66	29,74	23,29	15,14	9,61	20,39 ± 2,84	7,51	33,66	0,07	-1,65
Şanlıurfa	7,36	8,39	12,19	17,71	23,73	29,93	33,72	33,72	30,02	23,45	14,98	9,46	20,39 ± 2,88	7,36	33,72	0,07	-1,66
Tunceli	2,04	2,78	7,39	13,47	19,27	26,00	31,33	31,81	26,79	18,51	9,49	4,27	16,10 ± 3,20	2,04	31,81	0,15	-1,56
Van	0,69	1,08	4,79	10,93	16,46	22,79	27,36	27,82	23,14	15,01	7,19	2,68	13,33 ± 2,95	0,69	27,82	0,17	-1,59

4.2. Toprak Sıcaklıklarının Trend Analizi

4.2.1. 5 cm Toprak Derinliğindeki Trend

Araştırma alanında 25 meteoroloji istasyonunda 1980-2022 yılları arasında ölçülen 5 cm derinlikte toprak sıcaklık değerlerinin trend analiz sonuçları Şekil 4.1’de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Ocak ayında Kilis, Gaziantep ve Adıyaman istasyonlarında negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %12’si negatif, %88’i pozitif trend göstermiştir. Diğer yandan istasyonların %56’sında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif bir trendin olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Şubat ayında bütün istasyonlarda pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Şubat ayında istasyonların %96’sında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif bir trendin olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Mart ayında bütün istasyonlarda pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Mart ayında istasyonların %64’ünde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif bir trendin olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Nisan ayında Tatvan, Şanlıurfa, Iğdır ve Ceylanpınar istasyonlarında negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %16’sı negatif, %84’ü pozitif trend, %16’sında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif bir trendin olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Mayıs ayında Şanlıurfa, Muş, İspir, Iğdır, Gaziantep ve Bingöl negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %24’ü negatif, %76’sı pozitif trend, %20’sinde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif bir trendin olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Haziran ayında Tatvan, Şanlıurfa, Siirt, Muş, İspir, Iğdır, Hınıs, Gaziantep, Elazığ ve Bingöl negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %40’ı negatif, %60’ı pozitif trend, %20’sinde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4’ünde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Temmuz ayında Tatvan, Şanlıurfa, Siirt, Muş, İspir, Iğdır, Hınıs, Gaziantep, Ergani, Elazığ, Bingöl ve Ağrı negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %48’i negatif, %52’si pozitif trend, %12’sinde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %8’inde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Ağustos ayında Tatvan, Şanlıurfa, Iğdır, Gaziantep, Bingöl ve Ağrı negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %24’ü negatif, %76’sı pozitif trend,

%24'ünde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4'ünde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Eylül ayında Tatvan, İspir, Iğdır, Hınıs, Ergani, Bingöl ve Ağrı negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %28'i negatif, %72'si pozitif trend, %16'sında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %8'inde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Ekim ayında Tatvan, Ergani ve Ağrı negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %12'si negatif, %88'i pozitif trend, %48'inde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4'ünde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Kasım ayında Tortum, İspir ve Ağrı negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %12'si negatif, %88'i pozitif trend, %24'ünde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif bir trendin olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Aralık ayında Ağrı ve Adıyaman negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %8'i negatif, %92'si pozitif trend, %20'inde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif bir trendin olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir.

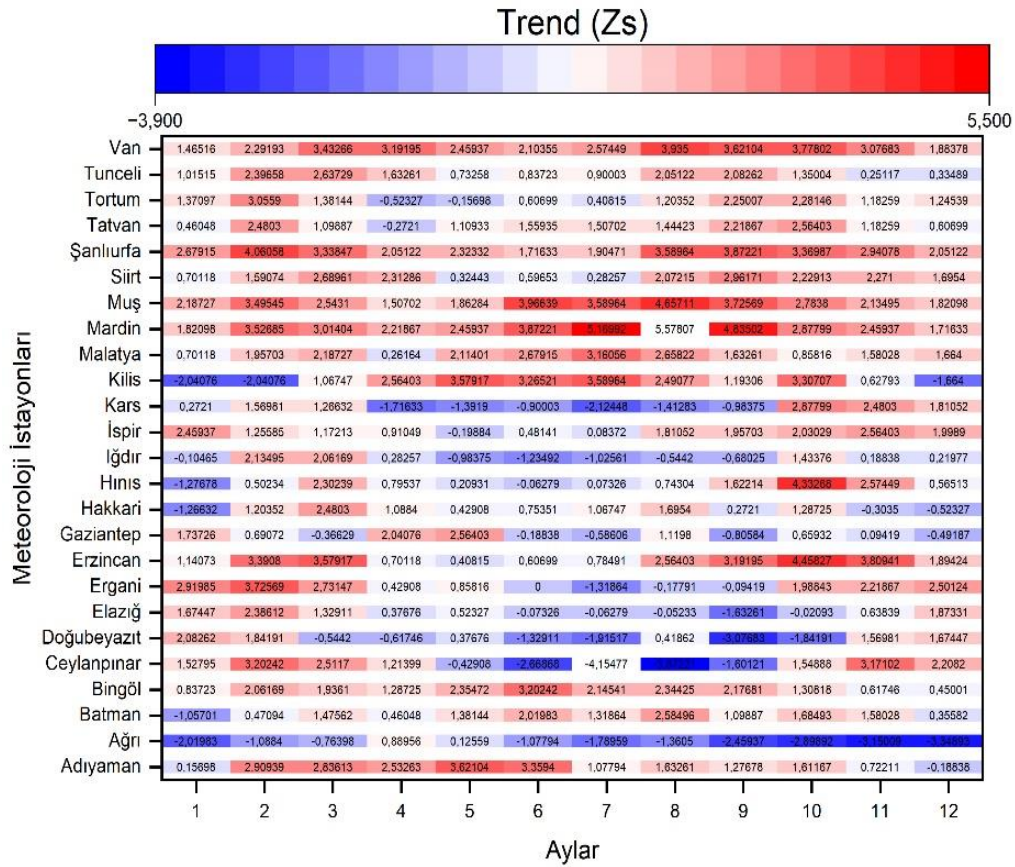


Şekil 4.1. 5 cm toprak derinliğinde sıcaklıkların trend analizi sonuçları

4.2.2. 10 cm Toprak Derinliğindeki Trend

Araştırma alanında 25 meteoroloji istasyonunda 1980-2022 yılları arasında ölçülen 10 cm derinlikte toprak sıcaklık değerlerinin trend analiz sonuçları Şekil 4.2’de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Ocak ayında Kilis, Iğdır, Hınıs, Hakkari, Batman ve Ağrı istasyonlarında negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %24’ü negatif, %76’sı pozitif trend göstermiştir. Diğer yandan istasyonların %20’sinde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %8’inde anlamlı negatif bir trendin olduğu belirlenmiştir. Şubat ayında Kilis ve Ağrı istasyonlarda negatif, diğer bütün istasyonlarda pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %8’i negatif, %92’si pozitif trend göstermiştir. Diğer yandan istasyonların %56’sında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4’ünde anlamlı negatif bir trendin olduğu belirlenmiştir. Mart ayında Gaziantep, Doğubeyazıt ve Ağrı istasyonlarda negatif, diğer bütün istasyonlarda pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %12’si negatif, %88’i pozitif trend göstermiştir. Diğer yandan istasyonların %56’sında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Nisan ayında Tortum, Tatvan, Kars ve Doğubeyazıt istasyonlarında negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %16’sı negatif, %84’ü pozitif trend göstermiştir. Diğer yandan istasyonların %28’inde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Mayıs ayında Tortum, Kars, İspir, Iğdır ve Ceylanpınar negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %20’si negatif, %80’i pozitif trend, %32’sinde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif bir trendin olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Haziran ayında Kars, Iğdır, Hınıs, Gaziantep, Elazığ, Doğubeyazıt, Ceylanpınar ve Ağrı negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %32’si negatif, %64’ü pozitif trend, %32’sinde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4’ünde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Temmuz ayında Kars, Iğdır, Gaziantep, Ergani, Elazığ, Doğubeyazıt, Ceylanpınar ve Ağrı negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %32’si negatif, %68’i pozitif trend, %24’ünde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %8’inde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Ağustos ayında Kars, Iğdır, Ergani, Elazığ, Ceylanpınar ve Ağrı negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %24’ü

negatif, %76'sı pozitif trend, %44'ünde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4'ünde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Eylül ayında Kars, Iğdır, Gaziantep, Ergani, Elazığ, Ceylanpınar ve Ağrı negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %32'si negatif, %68'si pozitif trend, %40'ında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %8'inde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Ekim ayında Elazığ, Doğubeyazıt ve Ağrı negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %12'si negatif, %88'i pozitif trend, %52'sinde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4'ünde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Kasım ayında Hakkari ve Ağrı negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %8'i negatif, %92'si pozitif trend, %44'ünde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4'ünde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Aralık ayında Kilis, Hakkari, Gaziantep, Ağrı ve Adıyaman negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %20'si negatif, %80'i pozitif trend, %16'sında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4'ünde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir.

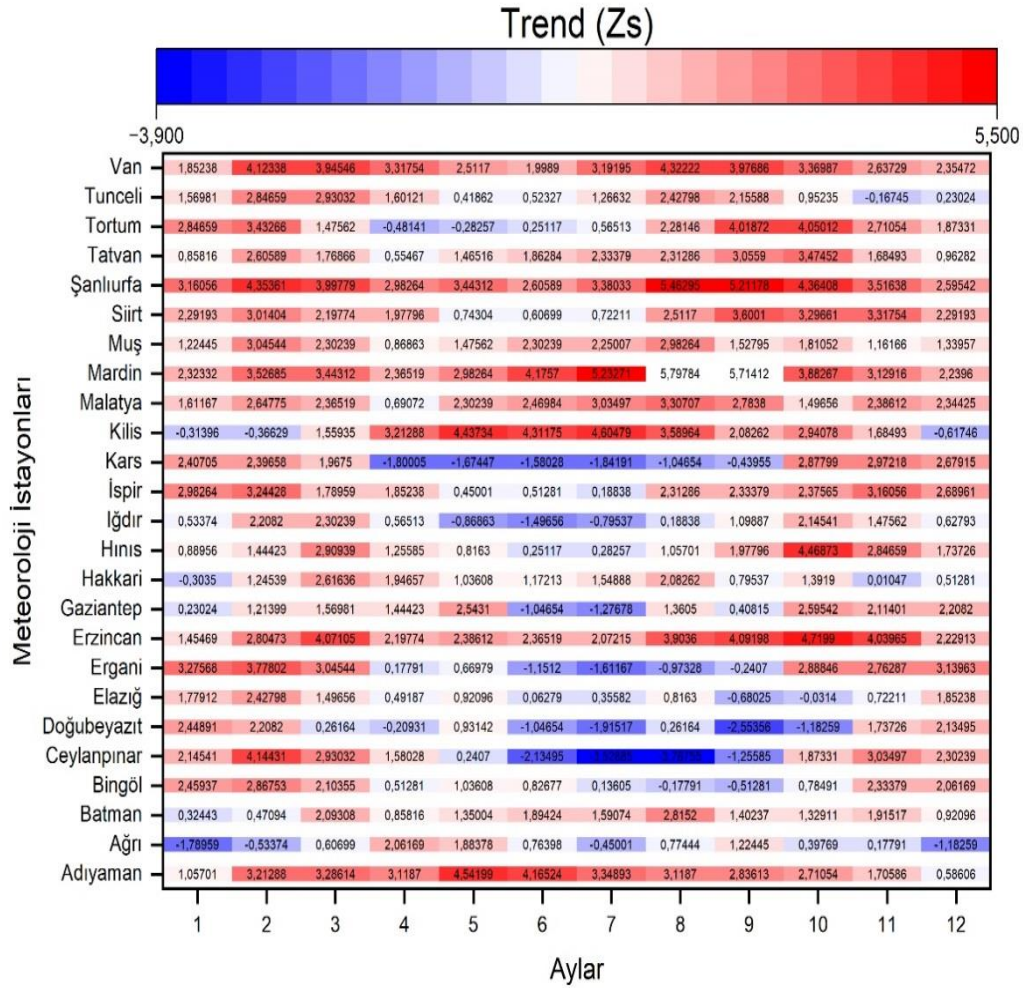


Şekil 4.2. 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklıkların trend analizi sonuçları

4.2.3. 20 cm Toprak Derinliğindeki Trend

Araştırma alanında 25 meteoroloji istasyonunda 1980-2022 yılları arasında ölçülen 20 cm derinlikte toprak sıcaklık değerlerinin trend analiz sonuçları Şekil 4.3'te verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Ocak ayında Kilis, Hakkari ve Ağrı istasyonlarında negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %12'si negatif, %88'i pozitif trend göstermiştir. Diğer yandan istasyonların %40'ında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Şubat ayında Kilis ve Ağrı istasyonlarda negatif, diğer bütün istasyonlarda pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %8'i negatif, %92'si pozitif trend göstermiştir. Diğer yandan istasyonların %76'sında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Mart bütün istasyonlarda pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %100'ü pozitif trend ve %68'inde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, negatif trend ve anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Nisan ayında Tortum, Kars ve Doğubeyazıt istasyonlarında negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %12'si negatif, %88'i pozitif trend göstermiştir. Diğer yandan istasyonların %32'sinde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Mayıs ayında Tortum, Kars ve Iğdır negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %12'si negatif, %88'i pozitif trend, %32'sinde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif bir trendin olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Haziran ayında Kars, Iğdır, Gaziantep, Ergani, Doğubeyazıt ve Ceylanpınar negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %24'ü negatif, %76'sı pozitif trend, %32'sinde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4'ünde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Temmuz ayında Kars, Iğdır, Gaziantep, Ergani, Doğubeyazıt, Ceylanpınar ve Ağrı negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %28'i negatif, %72'si pozitif trend, %36'sında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4'ünde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Ağustos ayında Kars, Ergani, Ceylanpınar ve Bingöl negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %16'sı negatif, %84'ü pozitif trend, %60'ında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4'ünde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Eylül ayında Kars, Ergani, Elazığ, Doğubeyazıt, Ceylanpınar ve Bingöl negatif, diğer bütün istasyonlarda ise

pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %24'ü negatif, %76'sı pozitif trend, %52'inde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4'ünde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Ekim ayında Elazığ ve Doğubeyazıt negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %8'i negatif, %92'si pozitif trend, %60'ında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Kasım ayında Tunceli negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %4'ü negatif, %96'sı pozitif trend, %56'sında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Aralık ayında Kilis ve Ağrı negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %8'i negatif, %92'si pozitif trend, %52'sinde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir.

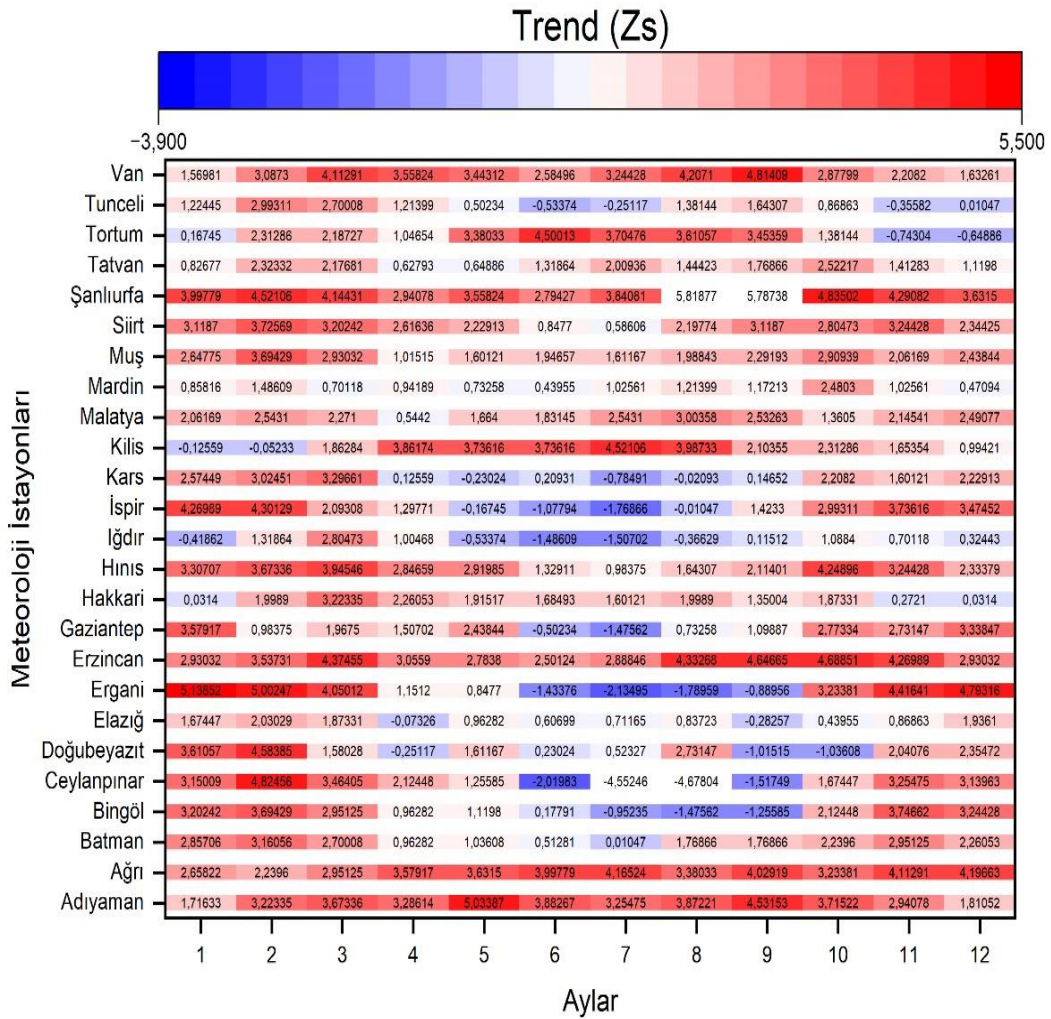


Şekil 4.3. 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklıkların trend analizi sonuçları

4.2.4. 50 cm Toprak Derinliğindeki Trend

Araştırma alanında 25 meteoroloji istasyonunda 1980-2022 yılları arasında ölçülen 50 cm derinlikte toprak sıcaklık değerlerinin trend analiz sonuçları Şekil 4.4'te verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Ocak ayında Kilis ve Iğdır istasyonlarında negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %8'i negatif, %92'si pozitif trend göstermiştir. Diğer yandan istasyonların %60'ında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Şubat ayında Kilis istasyonu negatif, diğer bütün istasyonlarda pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %4'ü negatif, %96'sı pozitif trend göstermiştir. Diğer yandan istasyonların %84'ünde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Mart bütün istasyonlarda pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %100'ü pozitif trend ve %84'ünde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, negatif trend ve anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Nisan ayında Elazığ ve Doğubeyazıt istasyonlarında negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %8'i negatif, %92'si pozitif trend göstermiştir. Diğer yandan istasyonların %40'ında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Mayıs ayında Kars, İspir ve Iğdır negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %12'si negatif, %88'i pozitif trend, %40'ında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif bir trendin olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Haziran ayında Tunceli, İspir, Iğdır, Gaziantep, Ergani ve Ceylanpınar negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %24'ü negatif, %76'sı pozitif trend, %28'inde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4'ünde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Temmuz ayında Tunceli, Kars, İspir, Iğdır, Gaziantep, Ergani, Ceylanpınar ve Bingöl negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %32'si negatif, %68'i pozitif trend, %36'sında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %8'inde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Ağustos ayında Kars, İspir, Iğdır, Ergani, Ceylanpınar ve Bingöl negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %27'ü negatif, %76'sı pozitif trend, %48'inde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif ve %4'ünde anlamlı negatif trendin olduğu belirlenmiştir. Eylül ayında Ergani, Elazığ, Doğubeyazıt, Ceylanpınar ve Bingöl negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir

trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %20'si negatif, %80'ni pozitif trend, %44'ünde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Ekim ayında Doğubeyazıt negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %4'ü negatif, %96'ı pozitif trend, %68'inde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Kasım ayında Tunceli ve Tortum negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %8'i negatif, %92'si pozitif trend, %64'ünde anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir. Aralık ayında Tortum negatif, diğer bütün istasyonlarda ise pozitif bir trendin olduğu görülmüştür. Bu ayda istasyonların %4'ü negatif, %96'sı pozitif trend, %60'ında anlamlı ($Z_s > 1,96$) pozitif olduğu, anlamlı negatif bir trendin ise olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 4.4. 50 cm toprak derinliğindeki sıcaklıkların trend analizi sonuçları

4.3. Toprak Sıcaklığındaki Anlamlı Trendlerin Toprak ve Bitki İlişkilerine Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi

Toprak derinliği ve sıcaklığı bitkilerin kök yapısı, su ve besin maddesi alımı üzerinde belirleyici bir rol oynar. Farklı bitki türleri, kök sistemlerinin yapısına göre farklı derinliklerde gelişim gösterir ve toprak profilindeki değişimlere uyum sağlar. Bu nedenle, bitkilerin büyüme ve verimlilik potansiyelini anlamak için toprak derinliğinin ve sıcaklık değerlerini dikkate almak önemlidir (Brady ve Weil, 2008). Güneydoğu ve Doğu Anadolu Bölgelerinde toprak sıcaklıklarının elverişli olduğu 5 cm ile 20 cm derinliklerde; buğday, arpa gibi tahıl ürünleri, mercimek, nohut gibi baklagiller, ayçiçeği, aspir ve susam gibi yağlı tohumlar, çeşitli tıbbi ve aromatik bitkiler (çörek otu, kekik), yem bitkileri (fiğ, yonca), soğan, karpuz gibi sebzeler ekonomik katkı sağlayan bitki türleridir. Yine 50 cm toprak derinliklerinde daha çok kazık kök veya derin saçak kök yapısına sahip bitkiler yetişmektedir. Bu bitkiler tarımsal üretim ve hayvancılık açısından yüksek ekonomik değer taşıdıkları için bölge tarımında öncelikli olarak tercih edilmektedir. Özellikle yağlı tohumlar (ayçiçeği, aspir), yem bitkileri (yonca, korunga), tahıllar (buğday, mısır) ve aromatik bitkiler (adaçayı, rezene), bölgenin ekolojik şartlarına uyum sağladıkları için sürdürülebilir tarımın temel unsurlarını oluşturur.

Toprak sıcaklığı, bitkisel üretimi ve tarımsal verimliliğini doğrudan etkileyen kritik bir çevresel faktördür. Sıcaklık değişimleri, toprak içindeki fiziksel, biyolojik ve kimyasal süreçlerin düzenlenmesinde rol oynamaktadır. Bu nedenle, toprak sıcaklığındaki uzun süreli değişimlerin trend analizi, iklim değişikliği etkilerinin anlaşılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Toprak sıcaklığı; tohum çimlenmesini, bitki kök gelişimini, bitki büyümesini ve topraktaki mikrobiyal aktiviteleri etkileyen önemli bir parametredir. Tohum çimlenmesi ve kök gelişimi optimum sıcaklıklarda (20-30 °C) hızlı gelişim gösterir. Ancak toprak sıcaklığının aşırı artışında kök yapısı zayıflar ve kök çürümesine yol açabilir (Baskin ve Baskin, 2014). Tam tersi durumda ise 5 °C'nin altındaki sıcaklıklarda bitki kök gelişimi neredeyse durmakta, tohum çimlenme süresi uzamakta veya tamamen durmaktadır (Dinç ve Şenol, 1998). Toprak sıcaklığı 9 °C'nin altında ve 50 °C'nin üzerinde olduğunda birçok bitki türünün büyümesi önemli derecede yavaşlamakta veya durmaktadır (Kirkham,

2004). Bunlara ek olarak, sıcaklık artışları hastalık ve zararlı oluşumlarını arttırarak özellikle fide ölümleri ve kök hastalıklarını aktifleştirebilmektedir (Tenge vd., 1998).

Toprak sıcaklığı aynı zamanda toprakta suyun tutulmasını, su hareketini, nem tutma kapasitesi, mineralizasyon süreçleri ve besin maddelerinin bitki tarafından alınabilirliğini doğrudan etkilemektedir (Onwuka ve Mang, 2018). Değişen toprak sıcaklıkları, bitkilerin su ve besin alımlarını etkileyerek bitkilerin gelişim süreçlerine etki etmektedir. Artan toprak sıcaklıkları buharlaşmayı artırarak toprak içindeki nem miktarını azaltır ve bu nedenle özellikle ülkemizde Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan kurak veya yarı kurak bölgelerde bitkilerde su stresi oluşmasına yol açarak verim düşüşlerine neden olabilir (Steduto, 2000). Buna rağmen, toprak sıcaklığındaki yükselişler, mikrobiyal faaliyetleri hızlandırır ve böylece organik maddeler daha hızlı parçalanarak besin mineralizasyon hızını doğrusal bir oranda arttırmaktadır. Bu durum bitkilerin besin maddelerini almasını kolaylaştırmaktadır (Seyfried vd., 2001).

Bu çalışmada küresel ısınmayla birlikte toprak sıcaklıklarında da belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgelerinde yapılan çalışmalar, 1980-2022 yılları arasında toprak sıcaklıklarının düzensiz bir şekilde artış veya azalış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ancak genel eğilim, birçok istasyonda pozitif (artış yönlü) bir trendin hakim olduğunu göstermektedir. Özellikle 5 cm ve 20 cm derinliklerde yapılan analizlerde, Ocak ve Şubat aylarında pozitif sıcaklık trendlerinin %88 ile %100 oranında olduğu belirlenmiştir. 50 cm derinlikteki toprak sıcaklık dalgalanmaları daha azdır. Bu artış, bitkisel üretim ve tarımsal faaliyetlerde önemli değişikliklere yol açabilmektedir. Farklı toprak derinliklerindeki sıcaklık değişimleri bitki gelişim üzerinde önemli etkilere sahiptir.

Çalışmadaki 5 cm derinlikteki sıcaklık değişimleri yüzey sıcaklık değişimlerinden en fazla etkilenen ve kısa süreli hava değişimlerine hızlı yanıt veren katmandır. Her ne kadar Ocak ve Şubat aylarında pozitif trend oranı %88-100 arasında değişmiş olsa da Kilis, Gaziantep ve Adıyaman istasyonlarında negatif trendlerde gözlemlenmiştir. Bu durum, kış aylarında toprak sıcaklıklarının düştüğünü ve bu bölgelerde kışlık bitkilerin çimlenme ve erken gelişim süreçlerinin olumsuz etkilenebileceğini göstermektedir. Gaziantep, Bingöl, Muş, Şanlıurfa, Iğdır, Ceylanpınar, Tatvan ve İspir istasyonlarında Nisan ve

Mayıs aylarında negatif trendler tespit edilmiştir. Bu aylarda toprak sıcaklıklarının azalması, ilkbahar ekimlerinin gecikmesine veya çimlenme oranlarının düşmesine yol açabilir. Bazı istasyonlarda ise Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında negatif trendler görülmüştür. Yaz aylarında toprak sıcaklıklarının azalması, sıcaklık stresinin azalmasına ve bitkilerin daha sağlıklı gelişmesine katkı sağlayabilir. Ancak, bu durum aynı zamanda sıcaklık isteyen bitkiler için olumsuz olabilir.

20 cm derinlikteki toprak sıcaklığı özellikle daha büyük tohumlular ve saçak köklü bitkiler için kritik önem taşımaktadır. Özellikle Ocak ve Şubat aylarında Kilis, Ağrı ve Hakkari’de düşük sıcaklık trendleri özellikle kışlık tahıllar ve soğuğa dayanıklı bitkiler için gelişim süresini uzatabilir. Diğer bölgelerde bu aylardaki sıcaklık artışları ise erken çimlenme ve fide gelişimi için pozitif etki gösterebilir. Mart, Nisan ve Mayıs aylarında tüm istasyonlarda pozitif trendler gözlemlenmiştir. Bu pozitif trendler ilkbahar bitkilerinde kök bölgelerinde enzimatik aktiviteleri arttırarak besin alımını arttırabilir bunun sonucunda bitki büyüme hızı artabilir. Fakat su ihtiyacı artacağı için sulama planlanmasının iyi yapılması gerekmektedir. Kars, Iğdır ve Doğubeyazıt gibi bölgelerde ilkbahar aylarında gözlenen negatif trendler ise don tehlikesi ve tohum çimlenmeleri üzerinde olumsuz etkiler yapabilir. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında çoğunlukla istasyonlarda pozitif trendler gözlemlenmiştir bu durum bitkilerin kök bölgesinde buharlaşma ile su stresi hassasiyetini arttırabilir. Kış ve Sonbahar aylarında görülen pozitif trend ise kışlık ekim yapılan tarım ürünlerinde çimlenme ve gelişim için avantaj sağlayabilir. Bununla beraber, Kilis ve Ağrı gibi bölgelerde, bu aylarda görülen negatif trend ise bitkilerde gelişim geriliğine ve soğuk stresine neden olabilir.

50 cm derinlikteki toprak sıcaklığı, yüzey sıcaklıklarından daha stabil olmakla birlikte, uzun süreli sıcaklık trendleri özellikle kazık kök gelişimini ve bitki sağlığı üzerinde belirgin etkiler yaratır. Örneğin daha derin köklü olan mısır, şeker pancarı bu sıcaklık değişimlerinden daha fazla etkilenir. Mart ve Nisan aylarında pozitif trendin %100 olduğu dönemlerde ilkbahar ekimlerinde tohum çimlenme süresini kısaltıp fide gelişimini arttırıcı etki gösterebilir. Bu durum yazlık tahıl ve sebzeler için uygun bir ortam hazırlar. Ocak ve Şubat aylarında Iğdır ve Kilis’te gözlenen negatif trendler kış soğuğuna uyum sağlayan türler için daha az sorun yaratırken, hassas türlerde verim kaybına neden olabilir. Negatif trendler ayrıca kök hücre bölünmesini yavaşlatarak bitki gelişimini

sınırlar. Özellikle Kars, Gaziantep ve İspir’de negatif eğilim gösteren istasyonlarda soğuk toprağa maruz kalan bitkilerde kökler besin ve su alımında olumsuz etkilenecek yaprak gelişimi ve fotosentez verimliliğini düşürebilir. Toprak sıcaklıklarındaki uzun vadeli değişimler, tohum çimlenmesi, bitki gelişimi ve verimi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Her bitki türünün sıcaklık gereksinimleri farklı olduğundan, bu trendlerin etkileri bitki türüne, gelişim evresine ve bölgesel iklim koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu nedenle, tarımsal uygulamalarda trend analizlerinin dikkate alınarak bölgesel planlamaların yapılması büyük önem taşımaktadır. Özellikle topraktaki nem kaybını en aza indirmek için modern sulama yöntemleri kullanılarak, iklim değişikliğine dayanıklı bitki türleri seçilmelidir. Trend analizlerinin yakın takip edilmesi ile risk analizlerinin yapılması erken müdahale planlarının oluşturulması, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltarak tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini sağlayacaktır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan 25 meteoroloji istasyonunun 1980-2022 yılları arasındaki farklı derinliklerdeki toprak sıcaklık değerleri kullanılarak yapılan trend analizine göre baskın bir şekilde pozitif bir artışın olduğu görülmüştür. Bazı lokasyonlarda negatif trendlerin olduğu saptansa da sıcaklık artışı çok daha belirgin olmuştur. Mart ayında 5 cm, 20 cm ve 50 cm derinlikte bütün istasyonlarda toprak sıcaklık değerlerinde artan bir trendin olduğu dikkat çekmiştir. Buna karşın genel olarak yaz aylarında sınırlı istasyonlarda da olsa azalan bir trendin olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek trend değeri Ağustos ayında Siirt ilinde 50 cm toprak derinliği için bulunmuştur ($Z_s=5,818$). En düşük trend ise yine aynı ay ve derinlikte Bingöl ilinde belirlenmiştir ($Z_s=-4,67$). Bütün istasyonlar dikkate alındığında ortalama toprak sıcaklığı trendi 5 cm, 10 cm, 20 cm ve 50 cm derinlikler için sırasıyla 1,318, 1,265, 1,738 ve 1,990 olarak tespit edilmiştir. Önemli bir tarım ülkesi olan Türkiye’de toprak sıcaklığında meydana gelen değişimlerin tarımsal üretim üzerinde olumsuz etkileri olabilir. Bu konuda yapılmış birçok araştırmada toprak sıcaklığının artmasıyla çimlenme, besin elementi yayayışlılığı toprak-su dengesinde düzensizliklerin meydana geldiği rapor edilmiştir. Bu düzensizliklerin en önemlisi toprak bitki su ilişkilerindeki dengenin bozulmasıdır. Ekim ve Kasım aylarında kışlık, Mart ve Nisan aylarında ise yazlık ürünlerin ekimi için toprağa ekilen tohumların çimlenme performansı bu dengeyle yakından ilişkilidir. Pozitif trendlerin toprak neminin kaybına neden olacaktır. Buna bağlı olarak sulama için kullanılan tatlı su kaynaklarına olan rağbet çok daha fazla artacaktır. Toprak sıcaklığındaki artışın meydana getireceği tehditleri en aza indirmek için en uygun toprak yönetim uygulamalarının titizlikle yapılması gerekmektedir. Topraktaki sıcaklık değişimlerini kontrol etmek için, toprak işlemenin azaltılması, toprak organik madde içeriğinin arttırılması, topraklarda malç uygulamalarının yapılması gereklidir.

KAYNAKLAR

- Bahtiyar, M. (1996). Toprak Fiziği. Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fak. Yayınları. Yayın No. 260, Ders Kitabı No. 31, Tekirdağ.
- Baskin, C. C. and Baskin, J. M. (2014). Seeds: Ecology, Biogeography, and, Evolution of Dormancy and Germination, Elsevier Academic Press, U.S.A., 2. ed. p. 1600.
- Baver, L. D., Gardner, W. H. and Gardner W. R. (1972). Soil Physcis J. Willey and Sons.
- Brady, N. C. and Weil, R. R. (2008). The Nature and Properties of Soil. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 14. ed.
- Bulgurcu, H., ve Koçyiğit, N. (2014). Türkiye'deki Tüm İl ve İlçeler için Yeni Ortalama Aylık İklim Verileri, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı. 202, s. 19-31.
- Burn, D. H. and Elnur, M. A. H. (2002). Detection of Hydrologic Trends and Variability, Journal of Hydrology, 255, p. 107-122.
- Çepel, N. (1985). Toprak Fiziği. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları. Yayın No. 374/2313. İstanbul.
- Demir, Y., Doğan Demir, A., and Malaslı, M. Z. (2025). Trend Analysis and Spatial Distribution of Surface Soil Temperatures in Türkiye. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 12(2), p. 342-357. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1598495>
- Dinç, U., ve Şenol, S. (1998). Toprak etüd ve haritalama ders kitabı. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No. 161.
- Efe, E., Bek, Y. ve Şahin, M. (2000). İstatistik Yöntemler II. Kahramanmaraş Sutcu Imam Unv., Bilgisayar Arastırma ve Uygulama Merkezi, Publication, (10).
- Garcia-Suarez, A, M. and Butler, C. T. (2006). Soil Temperatures at Armagh Observatory, Northern Ireland from 1904 to 2002. International Journal of Climatology, v. 26, p.1075–1089.
- Gilbert, R. O. (1987). Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. New York, Van Nostrand Reinhold.
- Güler, M. ve Yüksel, A. (2021). Trend analysis of soil surface temperature in Niğde Ulukışla region. Retrieved from <https://www.academia.edu> Inc., N.Y., USA.

Karabulut, M. (2012). Doğu Akdeniz’de ekstrem maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi. KSÜ Doğa Bil. Dergisi, Özel Sayı, 3744.

Khambhammettu, P. (2005). Mann-Kendall Analysis for the Fort Ord Site. USACE, HydroGeoLogic, Inc., Memorandum [http://www.fortordcleanup.com/ar_pdfs/AR-OU1-520C/Appendices/Appendix% 20D. pdf](http://www.fortordcleanup.com/ar_pdfs/AR-OU1-520C/Appendices/Appendix%20D.pdf) [last seen: February 2011].

Kirkham, D. and Powers, W. L. (1972). Advanced Soil Physics. New York; Wiley Interscience, Luthin, JN, ed. 1957, p. 534

Kirkham, M. B. (2004). Principles of Soil and Plant Water Relations, Elsevier Academic Press, U.S.A., 1. ed. p. 520.

La Rocca, M., Borrelli, L., and Troise, C. (2023). Model based on fractional Brownian motion for temperature fluctuation in volcanic soils. arXiv preprint arXiv:2303.10218.

MGM, (2025). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Sıcaklık Ölçüm Aletleri, <https://mgm.gov.tr/genel/meteorolojikaletler.aspx?s=2>

Mihalakakou, G. (2002). On estimating soil surface temperature profiles. Energy and Buildings, 34, p. 251-259.

Moradi, H., Zeinali, E., and Kamali, G. A. (2018). Analysis of long-term trends in air and soil temperature in a semi-arid region in Iran. Environmental Earth Sciences, 77(6), p. 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7385-6>

Onwuka, B., and Mang, B. (2018). Effects of soil temperature on some soil properties and plant growth. Adv. Plants Agric. Res, 8(1), p. 34-37.

Özkan, İ. (1985). Toprak Fiziği. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları. Yayın No. 946, Ders Kitabı 270, Ankara, s. 137- 159.

Paul, K. I., Polglase, P. J., Smethurst, P. J., O'Connell, A. M., Carlyle, C. J., and Khanna, P. K. (2004). Soil Temperature Under Forests; A Simple Model for Predicting Soil Temperature Under a Range of Forest Types, Agriculture and Forest Meteorology, 121, p. 187-192.

Pütz, T., Vanderborght, J., and Vereecken, H. (2021). Evidence of soil warming from long-term trends (1951–2018) in North Rhine-Westphalia. Climatic Change, 165(2), p. 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03013-z>

Seyfried, M., Flerchinger, G., Murdock, M., Hanson, C., and Van Vactor, S. (2001). LongTerm Soil Temperature Database, Reynolds Creek Experimental Watershed, Idaho, United States, Water Resources Research 2011, 37(11), p. 2843–2846.

Steduto, P. (2000). Crop Evapotranspiration; Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage, Food and Agriculture Organization of the United Nations. p. 56

Taylor, S. A. and Jackson, R. D. (1986). Heat Capacity and Specific Heat. Method of soil Analysis Part I Physical and Mineralogical Methods. A. Klute (ed), Agron. Monograph, 9. ASA and SSSA, Madison. WI. USA. p. 941 – 944.

Tekkanat, İ. S., and Öztürk, B. (2022). The Character of Soil Temperature Regime over Turkey. International Journal of Environment and Geoinformatics, 9(2), p. 18-26. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.985732>

Tenge, A. J., Kaihura, F. B. S., Lal, R., and Singh, B. R. (1998). Diurnal Soil Temperature Fluctuations for Different Erosion Classes of an Oxisol at Mlingano, Tanzania. Soil and Tillage Research, 49(3), p. 211-217.

Uğurlu, Ö. ve Örçen, İ. (2007). Türkiye’de Küresel Isınmanın Enerji Kaynakları Üzerine Etkisi, EMO Enerji Toplumsal Haber ve Araştırma Dergisi, 3, s. 17-19.

Wang, Y., Chen, R., and Jin, H. (2024). Assessment of soil temperature and its change trends in the permafrost regions of the Northern Hemisphere. Climate, 12(1), p. 115. <https://doi.org/10.3390/cli12010001>

Yeşilirmak, E. (2014). Soil temperature trends in Büyük Menderes Basin, Turkey. Meteorological Applications, 21(4), p. 859-866.

Yılmaz T., Özbek A., Yılmaz A., and Büyükalaca O. (2009). Influence of Upper Layer Properties on the Ground Temperature Distribution, Journal of Thermal Science and Technology, 29, p. 3-51.

Yücel, E. (1999). Canlılar ve Çevre. (Ed. Özata, A.) Biyoloji, Anadolu Üniversitesi Yayınları, No.1083, Ünite-5.

Zhang, T., Zhong, X., and Zhao, L. (2017). Observed soil temperature trends associated with climate change in the Tibetan Plateau. Theoretical and Applied Climatology, 127(1–2), p. 1–12. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1622-1>

EKLER

EK-1: Çalışma alanı il merkezlerindeki meteoroloji istasyonlarında ölçülen bazı iklim parametreleri (Bulgurcu ve Koçyğit, 2024).

İLLER	Rakım	Yaz Ort. Bağıl Nem	Yaz En Yüksek Sıcaklık	Yaz Ort. Sıcaklık	Kış Ort. Bağıl Nem	Kış En Düşük Sıcaklık	Kış Ort. Sıcaklık	Yaz Yağış Mik.	Kış Yağış Mik.	Yaz Yağ. Gün Say.	Kış Yağ. Gün Say.	Yaz Güneş Süresi	Kış Güneş Süresi
	[m]	[%]	[°C]	[°C]	[%]	[°C]	[°C]	[mm]	[mm]	[gün]	[gün]	[h]	[h]
Adıyaman	675	675	25,30	34,80	28,10	68,00	-1,10	3,10	1,33	108,00	0,33	7,67	12,80
Ağrı	1643	1643	53,30	26,13	19,27	71,00	-10,40	-4,90	36,33	47,66	1,00	7,33	12,33
Batman	573	573	23,67	36,63	29,83	68,67	0,47	4,43	2,33	97,33	13,33	10,33	12,90
Bingöl	1131	1131	36,33	30,10	23,37	75,33	-7,30	-3,10	13,00	122,00	2,33	6,33	12,83
Bitlis	1536	1536	34,70	27,03	21,40	75,00	-6,40	-3,10	16,67	121,00	6,33	10,67	12,73
Dişarbakır	668	668	24,66	36,00	29,03	69,33	-0,40	3,70	4,00	93,00	3,33	7,00	12,87
Elâzığ	1078	1078	30,70	32,17	26,17	75,00	-1,70	1,40	6,00	76,33	0,33	9,33	12,87
Erzincan	1203	1203	52,00	26,93	20,80	75,33	-8,00	-3,90	37,67	66,00	2,33	8,33	10,73
Erzurum	1923	1923	58,30	22,37	16,07	73,00	-11,80	-6,60	52,00	44,67	3,33	6,67	10,27
Gaziantep	844	844	38,66	33,87	26,37	71,33	0,10	4,10	3,00	77,67	5,67	10,00	12,60
Hakkâri	1707	1707	34,66	25,46	20,23	68,00	-9,60	-5,00	8,33	142,00	1,67	8,00	12,67
Iğdır	861	861	51,66	29,47	23,33	64,67	-7,40	-1,30	32,33	35,67	7,33	7,67	12,70
Kars	1756	1756	66,66	22,87	16,37	71,66	-12,20	-6,40	27,66	43,00	2,67	8,33	10,33
Kilis	695	695	42,00	35,40	27,40	68,66	1,50	6,10	2,00	68,67	4,00	7,00	12,17
Malatya	951	951	28,00	33,00	26,40	66,33	-1,50	2,10	9,00	87,33	4,67	8,00	12,77
Mardin	884	884	22,66	36,60	29,83	69,33	-0,20	4,50	1,00	70,33	3,67	7,00	12,80
Muş	1319	1319	36,00	27,07	20,93	76,00	-7,40	-4,00	21,00	124,00	2,33	7,00	12,77
Siirt	886	886	28,00	34,23	28,03	69,00	-2,00	2,90	2,33	115,60	13,33	9,33	12,90
Şanlıurfa	543	543	25,00	36,97	30,40	72,33	1,30	5,50	2,67	82,00	16,67	11,33	12,80
Tunceli	933	933	33,66	29,67	23,07	74,33	-7,00	-2,70	4,33	95,33	9,67	6,00	12,87
Van	1689	1689	40,66	26,13	20,43	74,00	-8,30	-3,30	13,30	43,67	2,67	9,00	12,73