



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

COĞRAFYA ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'DE TOPRAK SICAKLIKLARININ DEĞİŞİMİ

DOKTORA TEZİ

İLYAS SADIK TEKKANAT

Tez Danışmanı

DR. ÖĞR. ÜYESİ BEYHAN ÖZTÜRK

ÇANAKKALE – 2023



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

COĞRAFYA ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'DE TOPRAK SICAKLIKLARININ DEĞİŞİMİ

DOKTORA TEZİ

İLYAS SADIK TEKKANAT

Tez Danışmanı

DR. ÖĞR. ÜYESİ BEYHAN ÖZTÜRK

ÇANAKKALE – 2023



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İlyas Sadık TEKKANAT tarafından Dr. Öğr. Üyesi Beyhan ÖZTÜRK yönetiminde hazırlanan ve **24/07/2023** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Türkiye’de Toprak Sıcaklıklarının Değişimi**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Coğrafya Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ** olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Beyhan ÖZTÜRK

.....

(Danışman)

Prof. Dr. Hasan ÖZCAN

.....

Doç. Dr. Zahide ACAR

.....

Prof. Dr. Barbaros GÖNENÇİL

.....

Doç. Dr. Musa ULUDAĞ

.....

Tez No : 10548419

Tez Savunma Tarihi : 24/07/2023

.....
PROF. DR. AHMET EVREN ERGİNAL
Enstitü Müdürü

/ /2023

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarımı kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İlyas Sadık TEKKANAT

31/07/2023

TEŞEKKÜR

Tez danışmanlığını yürüten Sayın Dr. Öğr. Üyesi Beyhan ÖZTÜRK'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Rehberliği, bu tezin tamamlanmasında her zaman bana yardımcı oldu.

Teşvikleri, anlayışlı yorumları ve gelecekte ne tür araştırmaların yapılabileceği konusunda değerli görüşlerini sunan Sayın Prof. Dr. Hasan ÖZCAN'a ve Doç. Dr. Zahide ACAR'a; tezden üretilen makalenin yayımlanmasında verdiği destekten dolayı Sayın Prof. Dr. Ahmet Evren ERGİNAL'a ve akademik desteklerinden dolayı diğer Tez İzleme Komitesi üyelerine; tezimle ilgili döküman paylaşımı ve metodoloji üzerine görüş bildirdikleri için Prof. Dr. Alireza Araghi, Dr. Rawshan Ali ve Dr. Gülten İçel'e; çeşitli konularda fikrini aldığım Sayın Prof. Dr. Şeref KILIÇ'a ve Prof. Dr. Fatih KAHRIMAN'a; ek olarak öğrenci işlemlerini yürüten başta Sayın Gökhan ŞENGÖREN olmak üzere Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne içten teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, en başta beni dünyaya getiren ve hayatım boyunca manevi olarak destekledikleri için aileme çok teşekkür ederim.

İlyas Sadık TEKKANAT
Çanakkale, Temmuz 2023

İTHAF

Bu tezi 2021'de doktora tezini yazarken vefat eden tez danışmanım Prof. Dr. Telat KOÇ'a ithaf ediyorum.



ÖZET

TÜRKİYE'DE TOPRAK SICAKLIKLARININ DEĞİŞİMİ

İlyas Sadık TEKKANAT

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Coğrafya Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Beyhan ÖZTÜRK

31/07/2023, 245

Toprak, yer sistemi etkileşimlerinin ortalamasını en iyi şekilde yansıtmasına rağmen Türkiye’de toprak sıcaklık (Ts) değişimleri hakkında bilgilerimiz sınırlıdır. Yerel ya da bölgesel ölçekte aylık ve yıllık Ts istatistiklerindeki değişimleri inceleyen araştırmalarda veri kalitesi iyi değildir ve bilgiler güncellenmemiştir. Buna ek olarak Türkiye’de günlük Ts’nin eğilim ve gelecek Ts’nin projeksiyon bilgisine sahip değiliz.

Tezin amacı, Türkiye’de toprak sıcaklıklarının değişimini araştırmaktır. Coğrafi veriler dışında 1975-2018 ve 2030-2090 dönemli Ts ve hava sıcaklığı (Hs) verilerini kullanılmıştır. Metodolojiyi, altı basamaklı subjektif bir araştırma modeli oluşturmaktadır. Bu basamaklar Ts’nin genel karakteri, kritik sıcaklıklar ve derinlikler, toprak donu, Ts rejimi, trend ve projeksiyon şeklindedir. Ulaşılan sonuçlar şunlardır: Birincisi, Ts değişimlerinde enlemsel bir örüntü hâkimdir ve bu örüntüyü yükseltti ve karasallık bozmaktadır. İkincisi, su kütlelerinin toprak donuna karşı koruyucu bir etkisi vardır ve don, Doğu Anadolu Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesi’nin doğusunda en az 1 metre derinliğe kadar etkilidir. Üçüncüsü, Türkiye’de frigid, mesic, thermic ve hyperthermic şeklinde dört tip ana Ts rejimi görülmektedir ve son 10 yılda thermic ve hyperthermic Ts rejim yüzdeleri artış eğilimindedir. Dördüncüsü, Ts trendlerindeki bölgesel değişkenlik Hs’den yüksektir. Ts’de, özellikle 0-20 cm’de, Anadolu’nun doğusunda ve güneybatısındaki negatif yönlü trend bölgeleri bu değişkenliği açıklamaktadır. Beşincisi, daha sıcak ve belirgin yaz kuraklığı yaşanan bölgelerde, 5 cm derinlikteki Ts’ye ait mutlak pozitif MK Z-değerleri mutlak negatif MK Z-değerlerinden daha büyüktür. Aksine karasallığın güçlü olduğu bölgelerde tam tersi bir eğilim vardır. Son olarak, 21. yüzyılda Türkiye’de Meriç-Ergene

Nehri Havzası'nda ele alınan yedi istasyona RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları uygulandığında sırasıyla -0.6 °C ila 3.0 °C ve -0.5 °C ila 5.6 °C arasında değişen Ts artışları vermiştir. Böylelikle Türkiye'nin günlük Ts eğilimleri ve gelecek Ts'lerin projeksiyonuna ilişkin bilimsel boşluk önemli ölçüde giderilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toprak sıcaklığı, Toprak sıcaklık rejimi, Toprak donu, Trend, Projeksiyon, Türkiye



ABSTRACT

CHANGES IN SOIL TEMPERATURES IN TÜRKİYE

İlyas Sadık TEKKANAT

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Doctoral Dissertation in Geography

(Advisor)

Dr. Öğr. Üyesi Beyhan ÖZTÜRK

31/07/2023, 245

Although soil best reflects the average of earth system interactions, our knowledge on soil temperature (Ts) changes in Türkiye is limited. Studies examining changes in monthly and annual Ts statistics at the local or regional scale do not have good data quality and the information is not updated. In addition, we do not have trend information of daily Ts and projection information of future Ts in Türkiye.

The aim of the thesis is to investigate the change of soil temperatures in Türkiye. Apart from geographical data, Ts and air temperature (Hs) data for the periods 1975-2018 and 2030-2090 were used. The methodology is based on a six-step subjective research model. These steps are Ts shaping factors, general character of Ts, critical temperatures and depths, soil frost, Ts regime, trend and projection. The results obtained are as follows: Firstly, Ts changes are dominated by a latitudinal pattern, which is distorted by elevation and continentality. Secondly, water bodies have a protective effect against soil frost, and frost is effective to a depth of at least 1 meter in Eastern Anatolia and eastern Central Anatolia. Thirdly, there are four main types of soil temperature regimes in Türkiye: frigid, mesic, thermic and hyperthermic, and the percentages of thermic and hyperthermic Ts regimes have been increasing in the last 10 years. Fourthly, regional variability in Ts trends is higher than in air temperatures. Negative trend regions in Ts, especially at 0-20 cm depth, in eastern and southwestern Anatolia explain this variability. Fifthly, in regions with hotter and more pronounced summer drought, absolute positive MK Z-values for soil temperatures at 5 cm depth are larger than absolute negative MK Z-values. On the

contrary, there is the opposite trend in regions with strong continentality. Finally, applying the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios to the seven stations considered in the Meriç-Ergene River Basin in Türkiye in the 21st century yielded Ts increases ranging from $-0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $5.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectively. Thus, the scientific gap regarding Türkiye's daily Ts trends and the projection of future Ts has been filled to a significant extent.

Keywords: Soil temperature, Soil temperature regime, Soil frost, Trend, Projection, Türkiye



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İTHAF	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xv
TABLolar DİZİNİ.....	xvii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xix

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Kavram ve Terimler	9
2.2. Kuramsal Tartışma	15

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
MATERYAL YÖNTEM

3.1. Eksik Veri Tamamlama	25
3.1.1. Aritmetik Ortalama Metodu	26
3.1.2. Normal Oran Metodu	27
3.1.3. Oran-Fark Metodu	27
3.2. Donlu Günler Sayısı ve Don Şiddet Sınıflaması	30
3.3. Toprak Taksonomisi Termik Rejim Sınıflaması	30
3.4. Trend Testleri	30
3.4.1. Mann Kendall Testi	31
3.4.2. Sen'in Trend Eğim Metodu	31
3.4.3. Sneyers (Sıralı Mann-Kendall) Testi ..	31
3.4.4. Şen'in İnovatif Trend Metodu (İTM)	31
3.5. Toprak Sıcaklık ve Nem Modeli (STM ²)	31
3.6. Yanlılık Düzeltme Metotları	32
3.7. Bulgular ve Tartışma	32

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

TOPRAK SICAKLIĞININ GENEL KARAKTERİ

4.1. Veri ve Yöntem	42
4.1.1. Toprak Sıcaklıklarına İlişkin Tanıtıcı İstatistikler	43
4.1.2. Toprak Sıcaklığı ve Coğrafi Parametreler İlişkisi	67
4.1.3. Toprak Sıcaklığı ve Hava Sıcaklığı İlişkisi	69
4.1.4. Toprak Sıcaklığı ve Hava Sıcaklığı Arasındaki Farklılıklar	72
4.2. Tartışma	73

BEŞİNCİ BÖLÜM

KRİTİK TOPRAK SICAKLIKLARI VE DERİNLİKLERDEKİ DEĞİŞİMLER

5.1. Veri ve Yöntem	77
5.2. 5 cm Derinlikte Rasat Devresinde Kaydedilen Mutlak Minimum ve Maksimum Sıcaklıkların Dağılışı (°C)	78
5.3. 10 cm Derinlikte Rasat Devresinde Kaydedilen Mutlak Minimum ve Maksimum Sıcaklıkların Dağılışı (°C)	79
5.4. 50 cm Derinlikte Ortalama Sıcaklığın ≤ 5 °C Olduğu Devrenin Süresi (gün)	81
5.5. Tartışma	82

ALTINCI BÖLÜM

TOPRAK DONU

6.1. Veri ve Yöntem	85
6.2. Don Etki Alanı (cm)	87
6.3. 5 cm Derinlikte Ortalama Don Büyüklüğü (gün-derecesi)	88
6.4. 50 cm Derinlikte Ortalama Don Büyüklüğü (gün-derecesi)	90
6.5. 5 cm Derinlikte Don Şiddeti (%)	91
6.6. Tartışma	95

YEDİNCİ BÖLÜM

TOPRAK SICAKLIK REJİMİ

7.1. Veri ve Yöntem	98
7.2. Toprak Sıcaklık Rejimi (Yıl İçindeki Değişim)	99
7.3. Toprak Taksonomisi'ne Göre Toprak Sıcaklık Rejimi	107
7.4. Tartışma	109

SEKİZİNCİ BÖLÜM
TOPRAK SICAKLIK EĞİLİMİ

8.1. Veri ve Yöntem	112
8.1.1. Mann Kendall Testi.....	112
8.1.2. Sneyers (Sıralı Mann-Kendall) Testi.....	113
8.1.2. Sen (1968) Yöntemi	114
8.1.3. İnovatif Trend Analiz (İTA) Yöntemi	115
8.2. Aylık Ortalama Toprak ve Hava Sıcaklığında Gözlenen Eğilimler	119
8.3. Yıllık Ortalama Toprak ve Hava Sıcaklığında Gözlenen Eğilimler	140
8.4. Günlük Ortalama Toprak Sıcaklıklarında (5 cm) Gözlenen Eğilimler.....	146
8.5. Tartışma	177

DOKUZUNCU BÖLÜM
PROJEKSİYON

9.1. Çalışma Alanı	189
9.2. Veri ve Yöntem	192
9.2.1. Toprak Sıcaklık ve Nem Modeli (STM ²)	195
9.2.2. STM ² Çıktılarının Yanlılık Düzeltmesi (YD)	196
9.3. STM ² Modelin Performansı	197
9.4. Gelecekte Toprak Sıcaklığının Değişimi	202
9.5. Tartışma	218

ONUNCU BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKÇA	229
EKLER	I
EK 1. TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 5 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENEN EKSİK VERİ SAYISI (AY)	I
EK 2. TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 5 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENEN ÇEŞİTLİ BÜYÜKLÜKLERDEKİ EKSİK VERİLER (AY) VE SEÇİLEN EKSİK VERİ TAMAMLAMA METOTLARI)	II
EK 3. TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 10 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENENEN EKSİK VERİ SAYISI (AY) VE ANALİZDEN ÇIKARILAN AYLIK DİZİLER	III
EK 4. TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 10 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENEN ÇEŞİTLİ BÜYÜKLÜKLERDEKİ EKSİK VERİLER (AY) VE SEÇİLEN EKSİK VERİ TAMAMLAMA METOTLARI	IV
EK 5. TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 20 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENENEN EKSİK VERİ SAYISI (AY) VE ANALİZDEN ÇIKARILAN AYLIK DİZİLER	V
EK 6. TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 20 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENEN ÇEŞİTLİ BÜYÜKLÜKLERDEKİ EKSİK VERİLER (AY) VE SEÇİLEN EKSİK VERİ TAMAMLAMA METOTLARI	VI
EK 7. TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 50 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENENEN EKSİK VERİ SAYISI (AY) VE ANALİZDEN ÇIKARILAN AYLIK DİZİLER	VII
EK 8. TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 50 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENEN ÇEŞİTLİ BÜYÜKLÜKLERDEKİ EKSİK VERİLER (AY) VE SEÇİLEN EKSİK VERİ TAMAMLAMA METOTLARI	VIII
EK 9. TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 100 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENENEN EKSİK VERİ SAYISI (AY) VE ANALİZDEN ÇIKARILAN AYLIK DİZİLER	IX

SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	: Akdeniz Bölgesi
AR5	: IPCC Beşinci Değerlendirme Raporu
CAS	: Çin Bilimler Akademisi
CCAFS	: İklim Değişikliği, Tarım ve Gıda Güvenliği Araştırma Programı
CGIAR	: Uluslararası Tarımsal Araştırma Danışma Grubu
CMIP5	: Birleşik Modeller Arası Karşılaştırma Projesi Aşama 5
d	: Uyum İndeksi
DAB	: Doğu Anadolu Bölgesi
DSSAT	: Tarımsal Teknoloji Transferi için Karar Destek Sistemi
GAB	: Güneydoğu Anadolu Bölgesi
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
GCMs	: Küresel Sirkülasyon Modelleri
GEP-FARIMA	: Gen Anlatım Programlaması-Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü
FEBPNN-FARIMA	: İleri Geri Yayılma Sinir Ağları-Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama
ForHyM	: Orman Hidrolojisi Modeli
ForSTeM	: Orman Toprak Sıcaklık Modeli
Hs	: Hava sıcaklığı
HWSD	: Uyumlaştırılmış Dünya Toprak Veri Tabanı
IIASA	: Uluslararası Uygulamalı Sistemler Analizi Enstitüsü
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
ISRIC	: Uluslararası Toprak Referans ve Bilgi Merkezi
İAB	: İç Anadolu Bölgesi
JRC	: Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi
KB	: Karadeniz Bölgesi
MB	: Marmara Bölgesi
MAE	: Ortalama Mutlak Hata
MAPE	: Ortalama Mutlak Yüzde Hatası
MEB	: Milli Eğitim Bakanlığı

MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MK	: Mann Kendall
MK Z	: Mann Kendall Z
RCP	: Temsili Konsantrasyon Rotası
RMSE	: Kök Ortalama Kare Hatası
STM ²	: Toprak Sıcaklık ve Nem Modeli
TOK	: Toprak organik karbon
TOM	: Toprak Organik Madde
Ts	: Toprak sıcaklığı
USDA ARS	: Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı Tarımsal Araştırma Servisi
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü
YD	: Yanlılık Düzeltmesi

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	İstatistiksel analizlere dayalı toprak sıcaklığını etkileyen etmenleri inceleyen çalışmaların özeti	41
Tablo 2	Derinliklere göre toprak sıcaklıklarının Kruskal Wallis test sonuçları	72
Tablo 3	Toprak ve hava sıcaklıkların Kruskal-Wallis test sonuçları	72
Tablo 4	Toprak ve hava sıcaklıklarına ait Tukey test sonuçları	73
Tablo 5	Don şiddet sınıflaması	87
Tablo 6	Toprak sıcaklık ana rejim aralıkları	99
Tablo 7	Toprak sıcaklık ara rejim aralıkları	99
Tablo 8	Beşer yıllık dönemlere dayalı olarak her toprak sıcaklık rejim tipinin yüzdesi	109
Tablo 9	Trend grafiklerinin yorumlanabilmesi için tarafımızdan geliştirilen toprak sıcaklık sınıflaması (5 cm için)	117
Tablo 10	Meriç-Ergene Havzası ve yakın çevresi için seçilen istasyonlara ait coğrafi, iklimsel (1975-2018 dönemli) ve toprak bilgileri	191
Tablo 11	Bu çalışmada kullanılan MarkSim Küresel Sirkülasyon Modelleri (GCMs)	194
Tablo 12	Bu çalışmada kullanılan RCP senaryolarına ait bilgiler.	195
Tablo 13	Çorlu istasyonunda 2008 yılı STM ² modelinin yanlılık düzeltme (YD) yöntemlerine dayalı performans değerlendirmesi	198
Tablo 14	Uzunköprü istasyonunda 2008 yılı STM ² modelinin yanlılık düzeltme (YD) yöntemlerine dayalı performans değerlendirmesi	199
Tablo 15	Tekirdağ istasyonunda 2008 yılı STM ² modelinin yanlılık düzeltme (YD) yöntemlerine dayalı performans değerlendirmesi	199
Tablo 16	Lüleburgaz TİGEM istasyonunda 2008 yılı STM ² modelinin	200

yanlılık düzeltme (YD) yöntemlerine dayalı performans değerlendirmesi

Tablo 17	Kırklareli istasyonunda 2008 yılı STM ² modelinin yanlılık düzeltme (YD) yöntemlerine dayalı performans değerlendirmesi	200
Tablo 18	Edirne istasyonunda 2008 yılı STM ² modelinin yanlılık düzeltme (YD) yöntemlerine dayalı performans değerlendirmesi	201
Tablo 19	İpsala istasyonunda 2008 yılı STM ² modelinin yanlılık düzeltme (YD) yöntemlerine dayalı performans değerlendirmesi	201



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Veri, yöntem, araştırma alanı ve araştırma konusunu içeren araştırma modeli	29
Şekil 2	Türkiye’de toprak sıcaklıklarının aylık değişimi	43
Şekil 3	Türkiye’de sıcak (temmuz) ve soğuk dönemde (ocak) toprak sıcaklıklarının değişimi	44
Şekil 4	Dokuz-noktalı Gauss süzgeci ile düzgünleştirilen ortalama toprak ve hava sıcaklık dizisinin zamansal değişimi (Türkiye).	45
Şekil 5	Türkiye’de 5 cm derinlikte yıllık ortalama sıcaklıkların tanımsal istatistiklerinde gözlenen alansal değişim (1975-2018). AB: Akdeniz Bölgesi, EB: Ege Bölgesi, MB: Marmara Bölgesi, KB: Karadeniz Bölgesi, İAB: İç Anadolu Bölgesi, DAB: Doğu Anadolu Bölgesi, GAB: Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ni gösterir	48
Şekil 6	Türkiye’de ocak ve şubat ayında ortalama toprak sıcaklığı (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinlikte)	51
Şekil 7	Türkiye’de mart ve nisan ayında ortalama toprak sıcaklığı (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinlikte)	53
Şekil 8	Türkiye’de mayıs ve haziran ayında ortalama toprak sıcaklığı (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinlikte)	55
Şekil 9	Türkiye’de temmuz ve ağustos ayında ortalama toprak sıcaklığı (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinlikte)	57
Şekil 10	Türkiye’de eylül ve ekim ayında ortalama toprak sıcaklığı (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinlikte)	59
Şekil 11	Türkiye’de kasım ve aralık ayında ortalama toprak sıcaklığı (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinlikte).	61
Şekil 12	Türkiye’de ocak-haziran döneminde ortalama toprak sıcaklıklarının standart sapması (5 cm ve 50 cm derinlikte)	64
Şekil 13	Türkiye’de temmuz-aralık döneminde ortalama toprak sıcaklıklarının standart sapması (5 cm ve 50 cm derinlikte)	65
Şekil 14	Türkiye toprak izoamplitüd (sıcaklık farkları) haritası (1975-	67

	2018)	
Şekil 15	Türkiye’de 50 cm derinlikte toprak sıcaklığının yükselti, eğim, bakı, enlem ve boylam ile ilişkisi	68
Şekil 16	Kuzeye, güneye ve batıya bakan sahalarda toprak sıcaklığının yükselti ilişkisi	69
Şekil 17	Toprak sıcaklığı-hava sıcaklığı ilişkisi	70
Şekil 18	Toprak-hava sıcaklığı (°C) fark haritası	70
Şekil 19	Türkiye’de toprak sıcaklığının hava sıcaklığı ile ilişkisi	71
Şekil 20	Kritik toprak sıcaklıkları ve derinliklerdeki değişimler için kullanılan iş akışının şematik diyagramı	78
Şekil 21	5 cm derinlikte kaydedilen mutlak minimum ve maksimum sıcaklıklar (°C)	79
Şekil 22	10 cm derinlikte kaydedilen mutlak minimum ve maksimum sıcaklıklar (°C)	81
Şekil 23	50 cm derinlikte ortalama toprak sıcaklığının ≤ 5 °C olduğu devrenin süresi (gün)	82
Şekil 24	Toprak don karakterini (1975-2018) belirlemede kullanılan iş akışı diyagramı	85
Şekil 25	Don tabakasının ortalama kalınlığı (cm)	88
Şekil 26	5 cm derinlikte ortalama don büyüklüğü (gün-derecesi)	89
Şekil 27	Ardahan, Ağrı ve Bayburt istasyonlarında 5 cm derinlikte donlu gün sayısının zamansal değişimi	90
Şekil 28	50 cm derinlikte ortalama don büyüklüğü (gün-derecesi)	91
Şekil 29	5 cm derinlikte don olasılığı (%)	92
Şekil 30	5 cm derinlikte hafif şiddetli don olasılığı (%).	92
Şekil 31	5 cm derinlikte orta şiddetli don olasılığı (%).	93
Şekil 32	5 cm derinlikte şiddetli don olasılığı (%).	94
Şekil 33	5 cm derinlikte aşırı şiddetli don olasılığı (%).	95
Şekil 34	Belirli aralıklarla geçirilen profil hatlarını temsil eden 14	100

istasyonun lokasyonu, coğrafi bölgeler ve Köppen-Geiger ana iklim bölgeleri. B, C ve D sırasıyla kurak iklim, kışları ılıman nemli orta enlem ve kışları soğuk nemli orta enlem iklim bölgelerini gösterir (Öztürk, vd., 2017)

Şekil 35	Profil-1 hattında 5-100 cm derinlikte toprak sıcaklığının yıllık gidişi	101
Şekil 36	Profil-2 ve Profil-3 hattında 5-100 cm derinlikte toprak sıcaklığının yıllık gidişi	103
Şekil 37	Profil-4 ve Profil-5 hattında 5-100 cm derinlikte toprak sıcaklığının yıllık gidişi	105
Şekil 38	Profil-6 hattında 5-100 cm derinlikte toprak sıcaklığının yıllık gidişi	106
Şekil 39	Toprak Taksonomisi'ne göre Türkiye'nin toprak sıcaklık rejimi	107
Şekil 40	Türkiye'de tanımlanan üç farklı toprak sıcaklık rejiminin zamansal değişimi (soğuk ve çok soğuk toprak sıcaklık rejimi oranları çok düşük olduğu için grafiğe eklenmedi)	108
Şekil 41	Azalan, artan ve trend olmayan zaman serilerinin görünümü (Dabanlı, 2017: 58)	116
Şekil 42	Toprak sıcaklıklarında gözlenen uzun dönemli eğilimler (1975-2018) için kullanılan iş akışının şematik diyagramı	118
Şekil 43	İklim bölgeleri (Öztürk, vd., 2017) ile birlikte seçili 26 meteoroloji istasyonunun konumu	119
Şekil 44	Aylık ortalama hava sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası	122
Şekil 45	5 cm derinlikte aylık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası	126
Şekil 46	10 cm derinlikte aylık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası	128
Şekil 47	20 cm derinlikte aylık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası	130
Şekil 48	50 cm derinlikte aylık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için	132

	Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası	
Şekil 49	100 cm derinlikte aylık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası	134
Şekil 50	Karadeniz kıyı ve gerisinde İTA yöntemine göre yıllık ortalama toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde kırmızı çizgi (---), % 10 trend hattını göstermektedir	135
Şekil 51	Trakya'da İTA yöntemine göre yıllık ortalama toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde kırmızı çizgi (---), % 10 trend hattını göstermektedir	136
Şekil 52	Karasal İç Anadolu'da İTA yöntemine göre yıllık ortalama toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde mavi çizgi (—), % 5 trend hattını; kırmızı çizgi (---), % 10 trend hattını göstermektedir	137
Şekil 53	Karasal Doğu Anadolu'da İTA yöntemine göre yıllık ortalama toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde kırmızı çizgi (---), % 10 trend hattını göstermektedir	138
Şekil 54	Karasal Güneydoğu Anadolu'da İTA yöntemine göre yıllık ortalama toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde kırmızı çizgi (---), % 10 trend hattını göstermektedir	138
Şekil 55	Akdeniz kıyılarında İTA yöntemine göre yıllık ortalama toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde kırmızı çizgi (---), % 10 trend hattını göstermektedir	139
Şekil 56	Ege kıyılarında İTA yöntemine göre yıllık ortalama toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde kırmızı çizgi (---), % 10 trend hattını göstermektedir	140
Şekil 57	Hava sıcaklığı ve 5 cm derinlikte yıllık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası.	142
Şekil 58	Hava sıcaklığı ve derinliklere göre yıllık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası	144
Şekil 59	Hava sıcaklığı ve 5 cm derinlikte yıllık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Sneyers (Sıralı Mann-Kendall) test sonuçlarını gösteren trend başlangıç yılı haritası	145

Şekil 60	Karadeniz kıyı ve gerisinde 1975-2018 döneminde 5 cm derinlik için hava sıcaklığı (kırmızı çizgi) ve toprak sıcaklığı (turkuaz çizgi) zaman serileri için MK Z değerleri (a: Rize, b: Giresun, c: Samsun Bölge, d: Bayburt)	149
Şekil 61	Trakya'da 1975-2018 döneminde 5 cm derinlik için hava sıcaklığı (kırmızı çizgi) ve toprak sıcaklığı (turkuaz çizgi) zaman serileri için MK Z değerleri (a: Edirne, b: Kırklareli, c: Tekirdağ)	151
Şekil 62	Karasal İç Anadolu'da 1975-2018 döneminde 5 cm derinlik için hava sıcaklığı (kırmızı çizgi) ve toprak sıcaklığı (turkuaz çizgi) zaman serileri için MK Z değerleri (a: Ankara Bölge, b: Sivas, c: Çorum, d: Yozgat, e: Aksaray, f: Afyonkarahisar Bölge)	155
Şekil 63	Karasal Doğu Anadolu'da 1975-2018 döneminde 5 cm derinlik için hava sıcaklığı (kırmızı çizgi) ve toprak sıcaklığı (turkuaz çizgi) zaman serileri için MK Z değerleri (a: Ardahan, b: Iğdır, c: Tatvan)	158
Şekil 64	Karasal Güneydoğu Anadolu'da 1975-2018 döneminde 5 cm derinlik için hava sıcaklığı (kırmızı çizgi) ve toprak sıcaklığı (turkuaz çizgi) zaman serileri için MK Z değerleri (a: Şanlıurfa, b: Siverek, c: Mardin, d: Cizre)	160
Şekil 65	Akdeniz ve Ege kıyılarında 1975-2018 döneminde 5 cm derinlik için hava sıcaklığı (kırmızı çizgi) ve toprak sıcaklığı (turkuaz çizgi) zaman serileri için MK Z değerleri (a: Adana, b: Ceyhan, c: Mersin, d: Alanya, e: Finike, f: Muğla)	164
Şekil 66	Karadeniz kıyı ve gerisinde İTA yöntemine göre günlük toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde mavi çizgi (-) , % 5 trend hattını; kırmızı çizgi (····) , % 10 trend hattını göstermektedir	166
Şekil 67	Trakya'da İTA yöntemine göre günlük toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde mavi çizgi (-) , % 5 trend hattını; kırmızı çizgi (····) , % 10 trend hattını göstermektedir	168
Şekil 68	Karasal İç Anadolu'da İTA yöntemine göre günlük toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde mavi çizgi (-) , % 5 trend hattını; kırmızı çizgi (····) , % 10 trend hattını göstermektedir	170
Şekil 69	Karasal Doğu Anadolu'da İTA yöntemine göre günlük toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde mavi çizgi (-) , % 5 trend hattını; kırmızı çizgi (····) , % 10 trend hattını	172

	göstermektedir	
Şekil 70	Karasal Güneydoğu Anadolu’da İTA yöntemine göre günlük toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde mavi çizgi (—), % 5 trend hattını; kırmızı çizgi (....), % 10 trend hattını göstermektedir	173
Şekil 71	Akdeniz kıyılarında İTA yöntemine göre günlük toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde mavi çizgi (—), % 5 trend hattını; kırmızı çizgi (....), % 10 trend hattını göstermektedir	175
Şekil 72	Ege kıyılarında İTA yöntemine göre günlük toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde mavi çizgi (—), % 5 trend hattını; kırmızı çizgi (....), % 10 trend hattını göstermektedir	177
Şekil 73	Meriç-Ergene Nehri Havzası ve istasyonların coğrafik konumu	191
Şekil 74	1981-2010 standart referans dönemine kıyasla Lüleburgaz TİGEM istasyonunda gelecekte toprak sıcaklığı ve hava sıcaklığı projeksiyonlarının değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM ²) kullanılarak belirlenmiştir	205
Şekil 75	1981-2010 standart referans dönemine kıyasla Çorlu istasyonunda gelecekte toprak sıcaklığı ve hava sıcaklığı projeksiyonlarının değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM ²) kullanılarak belirlenmiştir	206
Şekil 76	1981-2010 standart referans dönemine kıyasla İpsala istasyonunda gelecekte toprak sıcaklığı ve hava sıcaklığı projeksiyonlarının değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM ²) kullanılarak belirlenmiştir	207
Şekil 77	1981-2010 standart referans dönemine kıyasla Kırklareli istasyonunda gelecekte toprak sıcaklığı ve hava sıcaklığı projeksiyonlarının değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM ²) kullanılarak belirlenmiştir	208

Şekil 78	1981-2010 standart referans dönemine kıyasla Tekirdağ istasyonunda gelecekte toprak sıcaklığı ve hava sıcaklığı projeksiyonlarının değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM ²) kullanılarak belirlenmiştir	209
Şekil 79	1981-2010 standart referans dönemine kıyasla Edirne istasyonunda gelecekte toprak sıcaklığı ve hava sıcaklığı projeksiyonlarının değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM ²) kullanılarak belirlenmiştir	210
Şekil 80	1981-2010 standart referans dönemine kıyasla Uzunköprü istasyonunda gelecekte toprak sıcaklığı ve hava sıcaklığı projeksiyonlarının değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM ²) kullanılarak belirlenmiştir	211
Şekil 81	Çalışılan meteoroloji istasyonlarında 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla 5 cm derinlikte toprak sıcaklıklarının gelecekteki değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM ²) uygulanarak belirlenmiştir	212
Şekil 82	Çalışılan meteoroloji istasyonlarında 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla 10 cm derinlikte toprak sıcaklıklarının gelecekteki değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM ²) uygulanarak belirlenmiştir	213
Şekil 83	Çalışılan meteoroloji istasyonlarında 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla 20 cm derinlikte toprak sıcaklıklarının gelecekteki değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM ²) uygulanarak belirlenmiştir	214
Şekil 84	Çalışılan meteoroloji istasyonlarında 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla 50 cm derinlikte toprak sıcaklıklarının gelecekteki değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında	215

Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) uygulanarak belirlenmiştir

Şekil 85 Çalışılan meteoroloji istasyonlarında 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **100 cm derinlikte** toprak sıcaklıklarının gelecekteki değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) uygulanarak belirlenmiştir 216

Şekil 86 Çalışılan meteoroloji istasyonlarında 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **hava sıcaklıklarının** gelecekteki değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) uygulanarak belirlenmiştir 217

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Araştırma literatüründe toprak sıcaklığı (Ts), toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreç olaylarını denetleyen önemli bir fiziksel parametre olarak görülmüştür (Bradford, vd., 2019; Kılınç ve Kutbay, 2019). Hava sıcaklığı, toprak sıcaklık rejimini kontrol etmekte olup toprak sıcaklığının ormansızlaşmadan kaynaklı mikrobiyal faaliyet artışı ve mikrobiyal solunumun hızlanması gibi süreçleri de tetiklemektedir. Ayrıca Ts, toprak karbon döngüsünü etkileyen en önemli parametredir. Tüm bunların fark edilmesi şunu göstermiştir ki iklim değişikliği özellikle küresel ısınma olgusunun anlaşılmasında toprak sıcaklık değişimlerinin araştırılmasına bir ihtiyaç vardır (Lal, 2014; Ontl ve Moore, 2012). Bu kapsamda Dünya’da ilk olarak toprak sıcaklığının genel karakterinin ortaya konulmasında saatlik (Chowdhury, vd., 1991) aylık ve yıllık ölçekte ortalama, minimum ve maksimum değerlerdeki değişimler incelenmiştir (Acaröz, 1960; Changnon, 1959; Erinç ve Bener, 1963; Kaučić, 1989; Subedi ve Fullen, 2009; Zhang, vd., 2001). Ayrıca Ts’nin doğal sistemlerin doğası ve doğal sistemlerin kullanımı ve yönetimi üzerindeki etkisinin fark edilmesiyle Toprak Taksonomisi’nde toprakların sınıflandırılmasında kullanılmış ve bu nedenle idari bölgeler ve ekolojik/ekosistem bölgeler (çoğunlukla otçul ekosistem bölgeleri) ölçeğinde toprak sıcaklık rejim değerlendirmeleri de yapılmıştır (Bradford, vd., 2019; Kyuma, 1985; Mount, vd., 1992; Nullet, Ikawa ve Kilham, 1990; Rodríguez, vd., 2010). Bazı çalışmalarda tarımsal planlama ve yönetim uygulamaları için kullanılabilir değişkenler yaratılmıştır: Bazı kritik toprak sıcaklıkları ve ekstrem değerlerin gerek bitki hayatı gerekse ulaşım ve hidrolojik koşullar üzerinde önemli etkiler yarattığından hareketle özellikle 0 °C altı ve üstü sıcaklıklardaki değişimlere odaklanılarak tundra toprakları, permafrostlu ve permafrostun olmadığı topraklarda pedojenez, toprak dinamikleri, toprak donu, çözülme derinliği ve mikrobiyal aktivite gibi süreç ve olgular izlenmiştir (Balybina ve Trofimova 2019; Erinç ve Bener, 1963; Mazhitova, 2008; Reshotkin ve Khudyakov, 2019; Sviličić, vd., 2016; Zengin, vd., 2008). Üstelik Ts, ekolojik ya da ekosistem temelli yaklaşımlarda otçul ekosistemlerde ekolojik esneklik, ekolojik direnç, kırılabilirlik (vulnerability), duyarlılık (sensitivity), adaptif kapasite ve müdahalenin (disturbance) güncel ve gelecekteki durumunun izlenmesinde de kullanılmıştır (Bradford, vd., 2019). Bunlara ek olarak tarımsal yönetim ve uygulamalar

açısından ayrı bir önemi olan gelecek toprak sıcaklık projeksiyonları ve günlük ortalama toprak sıcaklıklarında gözlenen eğilimlere ilişkin çalışmalar son birkaç yılda hız kazanmıştır (Araghi, vd., 2017; Araghi, vd., 2019; Qian, vd., 2011). Tüm bu gelişmelere ve de toprak sıcaklığının öneminin bilinmesine rağmen dünyada çalışmaların yeterli düzeyde olmadığı öne sürülmüştür (Sviličić, vd., 2016; Zhang, vd., 2001). Bu konuda Zhang, vd. (2001), Rusya’da üst katmandaki toprak sıcaklık değişimlerinin iyi belgelenmediğini ifade etmiştir. Hırvatistan’da toprak sıcaklık değişimleri ve ekstrem toprak sıcaklıklara dayalı vulnerabilite değerlendirmesi yapan Sviličić, vd. (2016)’da şimdiye kadar çevre ülkelerde aşırı toprak sıcaklığı eğilimlerinin hiç analiz edilmediğini ileri sürmüştür. Toprak sıcaklık değişimlerinin incelendiği Çin’de bile eğilimleri odak noktasına alan çalışmaların çoğunluğu son 20 yılda yapılmıştır (Chowdhury, vd., 1991; Dong-liang, vd., 2005a; Dong-liang, vd., 2005b; Ghahreman, vd., 2010; Jun, vd., 2007a; Jun, vd., 2007b; Jun vd., 2008; Li, vd., 2010; Sharan ve Ratan, 2002; Sviličić, vd., 2016; Wang, vd., 2018; Wentao, vd., 2011; Xing, vd., 2011; Yuyi ve Jun, 1999; Yuzhu, vd., 2013). Küresel iklim değişikliğinden kaynaklı tehlikelere (kuraklık, kıtlık, salgın hastalık vs.) açık olan Akdeniz Havzası’na ilişkin çalışmalar da sınırlı sayıdadır. Doğu Akdeniz Havzası’nda yer alan Türkiye’de ise toprak sıcaklıklarının eğilim ve projeksiyon sonuçlarından ziyade şimdiye kadar genel karakteri bile iyi belgelenmemiştir. Mevcut araştırmaların özelliği şu şekildedir ki dört çalışma hariç (Acaröz, 1960; Erinç ve Bener, 1963; İçel ve Ataol, 2013; Yüksel, 1985) yapılmış tüm çalışmalar küçük bölgeler (il, ilçe, havza ve sulama proje sahası) ölçeğindedir. Mevcut çalışmalarda toprak sıcaklığının değişkenliği genellikle az sayıda istasyon kullanılarak aylık ve yıllık ölçekte ortalama, minimum ve maksimum değerlerdeki değişimler şeklinde incelenmiştir. Çalışmalar güncellenmemiş ve klasik 2 boyutlu grafiksel ve istatistiksel yaklaşımlar (ortalama istatistiği, Pearson korelasyon analizi, basit lineer regresyon) izlenerek yapılmıştır. Çalışmaların çoğunluğu da bitirme tezi (28 adet) niteliğindedir. Alpdünder (1976), Çağlayan (1974), Devlet Meteoroloji İşleri Umum Müdürlüğü (1958), İçel ve Ataol, (2011), Kutlu (2013) ve Özdemir (1974), bu çalışmalardan sadece bazılarıdır. Bunun dışında parametrik olmayan Mann-Kendall testi, Mann-Kendall Sıra Korelasyon testi ve Sen’in trend eğim metodu yöntemleri ile bölgesel ölçekte, toprak sıcaklıklarında gözlenen eğilimleri araştıran yedi adet çalışma da bulunmaktadır: Aydemir, vd. (2006) ve Tonkaz, vd. (2007) tarafından 1975-2014 döneminde GAP bölgesi; Turkoglu (2010) tarafından 1960-2005 döneminde Ankara bölgesi; Öndeş (2013) tarafından 1975-2008 döneminde Van bölgesi; Yeşilirmak (2014)

tarafından 1970-2006 döneminde Büyük Menderes Havzası; Bağdatlı ve Ballı (2020) ve Bağdatlı ve Ballı (2020) tarafından 1970-2019 döneminde Niğde bölgesi incelenmiştir. Sonuç olarak Türkiye topraklarının sıcaklıklarında gözlenen mekânsal ve zamansal değişim (yani toprak sıcaklık karakteri) şu ana kadar bütüncül ve sistematik bir yaklaşımla ele alınmamış olup güncel ve ayrıntılı değildir.

Bu araştırma Türkiye'nin 5-100 cm'lik toprak katmanında sıcaklığın güncel (1975-2018) ve gelecekteki değişimlerini (2030-2090) konu edinmektedir. Araştırmanın ana amacı, Türkiye'de toprak sıcaklık değişimi olgusunu tanımlayarak Türkiye'nin iklim değişikliğine uyum kapasitesini arttırmaktır. Bu kapsamda Türkiye'de toprak sıcaklıklarının mekânsal ve zamansal değişimi genel karakter, kritik sıcaklıklar ve ekstrem değerler, toprak donu, termik rejim, trend ve projeksiyon başlıklarında modern metotlar ile bütüncül ve sistematik bir yaklaşımla ele alınmıştır. Bu sübjektif yaklaşımda toprak sıcaklıklarının alansal örüntüsü, hem coğrafi bölgelere hem de Köppen-Geiger iklim bölgelerine göre yorumlanmıştır. Esasen bu çalışmada; 1) Türkiye toprak sıcaklığının genel karakteri nedir?, 2) Kritik toprak sıcaklıkları ve derinliklerdeki değişim nasıldır?, 3) Türkiye'nin toprak don karakteri nedir?, 4) Türkiye'nin toprak termik rejimi nasıl bir değişim göstermektedir?, 5) Türkiye topraklarında hava-toprak sıcaklıklarında nasıl bir eğilim gözlenmektedir? ve 6) Türkiye topraklarının yakın, orta ve uzun vadede toprak sıcaklıklarının projeksiyon sonuçları nedir ve gözlem dönemine kıyasla nasıl bir davranış sergilemektedir? Ana araştırma sorularına yanıt aranmıştır. Araştırmada Türkiye topraklarının termik rejim özellikleri, toprak don şiddet karakteri, günlük ortalama toprak ve hava sıcaklığındaki eğilimler, eğilimlere neden olan ekstrem (aşırı) değerler ve gelecek toprak sıcaklıkların projeksiyonu ve termik rejim bölgelerindeki alansal kaymalar (ya da değişimler) ilk kez ortaya konmuştur. Ayrıca geçmişte (58-53 yıl önce) az sayıda meteoroloji istasyonundan elde edilen hem alansal hem de zamansal açıdan homojen olmayan toprak sıcaklık datalarından ulaşılmış toprak sıcaklığının genel karakterine ve kritik sıcaklıklar ve aşırı değerlerdeki mekânsal değişimlerine ilişkin sonuçlar ilk kez bu araştırma ile güncellenmiştir. Ulaşılan sonuçlar gerek çiftçiler ve karar vericiler gerekse bazı disiplinler açısından bir envanter niteliği taşımaktadır. Toprak sıcaklık parametresindeki değişiminin ortaya konması atmosfer-biyosfer arasındaki ve biyotik faktörler arasındaki ilgi ve bağlantıların anlaşılmasına da katkı sağlamaktadır. Bu nedenle Ts karakterinin tanımlanması bir anlamda Türkiye fiziki coğrafyası, toprak ekolojisi, bitki

besleme ve toprak klimatolojisi gibi disiplinlere katkı sunmakta ve bir altlık da oluşturmaktadır.

Türkiye toprak sıcaklıklarının farklı derinliklerde gerek güncel gerekse gelecekte nasıl bir davranış sergileyeceği ayrıntılı bir şekilde tanımlanmalıdır. Şimdiye kadar bu konuda yapılmış çalışmaların gerek nitel gerekse nicel anlamda yeterli düzeyde olmadığı yukarıda araştırmanın problemini ele alan ilk paragrafta açıklanmıştır. İkinci paragrafta ise araştırmanın konu ve kapsamı içerisinde izlenen yaklaşım tanımlanmıştır. Peki, Türkiye’de toprak sıcaklıklarındaki değişimleri araştıran böylesi bir çalışmanın önemi nedir? Öncelikle toprak altı sıcaklıklar, topraktan istifade ile ilgili hemen hemen tüm faaliyetleri etkileyen bir parametre ve abiyotik faktördür. Özellikle tohumun çimlenmesi, köklerin fonksiyonel faaliyetleri, bitki büyümesinin oranı ve süresi, ürün hastalıklarının oluşumu ve şiddeti gibi özellikleri etkilemektedir (Chowdhury, vd., 1991). Bununla birlikte Türkiye’nin, iklim değişikliğine karşı kırılganlığı yüksek ve ekolojik açıdan adaptif kapasitesi düşük gelişmekte olan bir ülke olmasından kaynaklı ekstrem hava olayları (kuraklık, don vs.) karşısında ekonomisinin direnci ve esnekliğinin düşük olması toprak sıcaklık çalışmalarının önemini artırmaktadır. Bu durumu somut iki don olayında görmekteyiz: İlki 2004 yılı Nisan başında ülke genelinde etkili olan kuvvetli dondan dolayı fındık, kayısı, elma, üzüm ve soğanda büyük rekolte düşüşlerinin gerçekleşmesidir. Fındıktaki zarar o günkü rakamlarla 500-800 milyon lira olup zararın etkisi 2005 ve 2006 yıllarında da hissedilmiştir. 2004 don olayının ekonomiye olan zararı o kadar büyüktür ki 1.5 milyar TL’yi bulmuştur (Şimşek vd., 2017: 12). 2013-2014 üretim dönemine ise 30-31 Mart 2014 tarihinde tüm Türkiye’yi etkileyen başka bir don olayı damga vurmuştur: Karadeniz Bölgesi fındık ve kivi bahçelerinde %70-80’lere varan don zararı oluşmuştur. Malatya’da kayısı ve Amasya’da elma bahçelerinin büyük bölümü dondan etkilenmiştir. Niğde, Adana, Karaman, Mersin, Kahramanmaraş, Adıyaman, Gaziantep ve Isparta’da pek çok tarım ürününde zarar %50-80 arasında değişiklik göstermiştir (TZOB, 2014’ten aktaran; Şimşek, vd., 2017: 13). Sonuç olarak, bir don olayında tarımsal kayıpları en aza indirmek için sadece hava sıcaklık değişkeni izlemek yeterli değildir. Toprak donunun karakterinin (büyüklük, süre, şiddet) derinliklere göre değişimi incelenmelidir.

Tohum atım derinliğinde ya da tohum çimlenmesinde önemli derinliklerde toprak sıcaklıklarının günlük, aylık ve yıllık analizleri yapılmalıdır. Toprak dinamiğinin tam

anlamıyla açıklanabilmesi için ilk olarak toprak altı sıcaklıkların ortalama durumu, ortalama etrafındaki değişkenliğin hem alansal hem de zamansal ölçekte (saatlik, günlük, aylık ve yıllık) tanımlanması ve izlenmesi gereklidir (Acaröz, 1960; Chowdhury, vd., 1991; Erinç ve Bener 1963; Kaučić, 2001). Ortalama ve değişim istatistikleri dışında özellikle bazı kritik (eşik) sıcaklıkların ortalamasındaki değişimlerin tanımlanması ekoloji, tarım, ulaşım ve ayrıca bazı hidrolojik uygulamalara faydalı bilgiler sağlayabilir. Bu anlamda serin iklim tahıllarında ≤ 0 °C eşik sıcaklık değeri ön plana çıkmaktadır (Porter ve Semenov, 2005; Otorespec, 1980'den aktaran Sviličić, vd., 2016). Bu sıcaklık eşiği neden önem arz etmektedir? Öncelikle her bitkinin büyüme döngüsü, çimlenme ve ortaya çıkışı başlatmak için kendi biyolojik minimum değeri olup bu değer büyüme için önemlidir ancak toprak sıcaklığı belirli bir eşiğin altına düşerse, köklerin emdiği su ve besin miktarı azalmakta, bu da bitkilerin gelişme aşamalarında bazı gecikmelere neden olmaktadır. Hemen hemen tüm bitkiler için, su ve besin emiliminin sona ermesinde ise ortak bir kritik sıcaklık değeri vardır: Bu sıcaklık değeri de 0 °C'dir (Otorespec, 1980'den aktaran; Sviličić, vd., 2016). Gerek doğal gerekse sosyal ortamı ilgilendiren toprak sıcaklık karakterini tanımlayan bir başka özellik toprak sıcaklık rejimidir. Toprak Taksonomisi'ne göre toprak sıcaklık rejimlerinin tanımlanması arazi kullanımının daha kesin değerlendirmesi ve yorumlanmasına imkân vermektedir (Takata, vd., 2011). Bu bakımdan rejim haritalarının oluşturulması arazi kaynak envanterinin (land resource inventory) oluşturulmasında toprak katmanı için önemli bir adımdır. Mevcut ve gelecekte arazi kullanımında toprak termik rejim haritaları, arazi kaynağını ve sürdürülebilir tarımsal üretim potansiyelini değerlendirmede önemli bir araçtır (Taraniki Regional Council, 2020). Ayrıca toprak rejim tanımlaması ve oluşturulan haritalar; ağaç sınırlarının çizilmesinde, doğal ekosistemde potansiyel verimliliğin tahmininde, tarımsal arazi uygunluğunun değerlendirmesinde ve ABD toprak taksonomisine göre toprakların sınıflandırılmasında kullanılmaktadır (Takata, vd., 2011; USDA Soil Survey Staff, 1999). Toprak sıcaklık karakterinin ortaya konulmasında ve her türlü planlamada önemli yer tutan bir diğer özellik ise eğilimdir. Özellikle günlük toprak sıcaklığı eğilimlerinin önceden belirlenmiş derinliklerde analizi, sıcaklık stresinin olumsuz etkilerinin hafifletilmesinde, ideal tohum ekim tarihlerinin güven seviyelerini desteklenmesinde, sulama işlem süreleri ve aralıkları gibi tarım sistemlerinin sürdürülebilir yönetiminde nicel bir anlayış sağlayabilmektedir. Günlük toprak sıcaklık trend sonuçlarından tarım-çevre ajanslarının yararlanabilmesinin yanında çiftçiler de faydalanabilmektedir. Özellikle tarımsal kuruluşlar, bölgesel kalkınma ajansları

ve araştırmacılar trend sonuçlarını ürün ve bitki desenlerinin kapsamlı jeomekansal ve zamansal analizinde kullanabilir. Çiftçiler ise trend sonuçlarını çeşitli öngörülen çevresel streslerin korunması ve azaltılmasını teşvik etmede bir araç olarak değerlendirebilir (Araghi, vd., 2017). Şu ana kadar gözlem kayıtlarından yola çıkılarak toprak sıcaklık karakteri bir takım özellikler ile açıklanmış olsa da, gelecekteki durum hakkında özellikle kısa vadede toprak sıcaklık öngörülerinin yapılmasına, küresel iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması ve etkilerine karşı uyum politikalarının geliştirilmesi bağlamında ihtiyaç vardır. Kısacası Ts projeksiyonlarının gelecekteki planlama ve iklim değişikliğine uyum için yapılması gereklidir. Doğu Akdeniz Havzası genelinde ve ülkemizde önümüzdeki 80 yılda hava sıcaklıklarının önemli ölçüde artacağı (özellikle de yazın) ve yüzyılın sonunda en yüksek oranlara ulaşacağı öngörüsü de (Demircan, vd., 2017; Ozturk, vd., 2015) bu gerekliliğin aciliyetini arttırmaktadır .

İklimin tanımlanmasında ağırlıklı olarak yağış ve hava sıcaklığı değişkeni kullanılsa da toprak karbon döngüsü ve toprak solunumu özelinde toprak sıcaklığı değişkeninin de izlenmesi gerekmektedir (Ontl ve Schulte, 2012). Çünkü topraktaki C miktarı, karasal ekosistemlerdeki karbonun önemli bir bölümünü oluşturur ki karasal ekosistemlerdeki toplam C'nin yaklaşık % 80'i (2500 GT) topraktadır (Lal, 2009). Dahası toprak karbon havuzu, 800 GT'lik atmosferik havuzdan yaklaşık 3.1 kat daha büyüktür (Oelkers ve Cole, 2008). Gelecekte toprak karbon salımlarının diğer koşullar sabit kalmak şartı ile toprak ısınması ve ormansızlaşma ile birlikte artacağı öngörülmektedir. Çünkü sanayi devriminden bu yana, doğal ekosistemlerin tarımsal kullanıma dönüştürülmesi sonucu topraktan atmosfere 50 ila 100 GT karbon salımı olmuş ve SOC seviyeleri epey azalmış olup bu süreç devam etmektedir (Lal, 2009). Bununla birlikte bu artışın uygun toprak işleme teknikleri, toprak erozyonunun engellenmesi, ağaçlandırma ve karbon stoklamasını konu edinen arazi yönetim stratejilerinin oluşturulup hayata geçirilmesi ile en aza indirilmesi için bir fırsat da bulunmaktadır (Ontl ve Schulte, 2012). Bu kapsamda küresel iklim modelleri ile uyumlu toprak sıcaklık-nem modelleri geliştirilmiş ve geliştirilmektedir. Modellerin pek çoğu (DayCent, Hydrus1D ve Coup-Model) pek çok girdi ile çalışmakta olup oldukça karmaşık yapıdadır ancak kullanımı kolay, az girdi ile çalışıp etkili sonuç veren modellerde bulunmaktadır. Bunlardan STM² (Toprak Sıcaklık ve Nem Modeli) ilk akla gelen model olup ham model çıktıları yanlışlık düzeltilmesi ile kalibre

edildiğinde oldukça doğru toprak sıcaklık tahminleri oluşturabildiği çalışmalar ile test edilmiştir (Araghi, vd., 2019).

Bu araştırmada Türkiye’de toprak sıcaklık karakterinin ortaya konulmasında farklı derinliklerde alana homojen dağılmış tüm Türkiye’yi temsil eden data uzunluğu 1975-2018 dönemli (44 yıllık) 190 meteoroloji istasyonu kullanılmıştır. Datalarda eksik veriler olup bu 44 yıllık dönemde genel gidişin bozulmaması adına en fazla 12 aya kadar olan eksik veriler çeşitli yöntemler ile tamamlanmıştır. Belirli bölgelerin günlük zaman dizisi çözümlenmesinde eksik verili istasyonlar kullanılmamıştır. Genel toprak sıcaklık karakterinin tanımlanmasında kullanılan ortalama ve standart sapma istatistiği sırasıyla en yaygın kullanılan ve en yorumlanabilir merkezi eğilim ve merkezi dağılım ölçüsüdür. Kritik toprak derinlikleri ve ekstrem toprak sıcaklık değerleri açısından kullanılan ≤ 0 °C kıstası, tüm bitkiler için yaşamsaldır. 5 cm derinlik, serin iklim tahıllarında optimum tohum atım derinliği ve tohum çimlenme derinliğine karşılık gelmektedir. 50 cm derinlik ise tüm bitkilerde kök gelişimi açısından önemli ve Toprak Taksonomisi’nde de yer alan önemli bir eşik değerdir. Bu nedenle Türkiye’nin genel toprak sıcaklık karakterinin ortaya konmasında bu kritik derinlikler ve aşırı sıcaklık değerinin dikkate alınması yeteri kadar geçerli ve güvenilirdir.

Toprak sıcaklık rejim tiplerinin tanımlanmasında dünyada kabul edilen toprak sınıflama sistemi olan Toprak Taksonomisi’ndeki yaklaşımın kullanılması da araştırmanın geçerliliğini ve güvenilirliğini arttırmaktadır. Kullanılan trend metotları en popüler metotlardır. Toprak sıcaklık öngörülerinde STM² kullanılmıştır. Model girdileri, CMIP5 (Birleşik Modeller Arası Karşılaştırma Projesi Aşama 5) projesi altında çeşitli atmosfer-okyanus araştırma merkezlerince geliştirilen RCP’ler (Temsili Konsantrasyon Rotaları) ve Küresel Sirkülasyon Modellerinden üretilen datalar oluşturmaktadır (IPCC, 2014). Günümüz iklim değişikliği araştırmalarında bu modeller ve yeni RCP’ler IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) tarafından kabul edilmiş ve çalışmaların bu doğrultuda yapılması önerilmiştir. STM² modeli az girdi kullandığı için kullanışlı ve basit bir modeldir. Bu avantajı yanında model girdisi olan toprak tekstür ve organik madde miktarı değerlerinin farklı derinliklerde değil de 100 cm’lik katmanda ölçülmüş ağırlıklı ortalama değerler olması bir dezavantajdır. Her ne olursa olsun çeşitli performans testlerinden geçirilen STM² model sonuçlarının diğer modellere göre daha tutarlı sonuçlar

ürettiği yapılmış çalışmalarla ortaya konmuştur (Araghi, vd., 2019). Gelecek toprak sıcaklık projeksiyonu çalışmalarında hata oranının ykseklinden kaynaklı model çıktılarını oluşturan ham data ların doğrudan kullanılması onerilmemektedir. Bu aşamada lineer ölçekleme, varyans ölçekleme, lineer regresyon, delta değişim düzeltmesi, kuadratik (ikinci dereceden) regresyon ve dağılım haritalama gibi yanlılık düzeltme metotları ile model çıktılarındaki belirsizliklerin giderilmesi gereklidir. Her bir toprak derinliğinde modelin gözlem verilerine iyi uyum göstermesini yani modelin tahmin performansının en st düzeyde olmasını sağlamak için yanlılık düzeltme metotlarının performans ölçümlerinin de yapılması onerilmektedir (Araghi, vd., 2019). Buna ilaveten performans testlerinde çoğu durumda lineer lekleme (Araghi, vd., 2019; Lenderink, vd., 2007) en iyi yanlılık düzeltme metodu iken varyans lekleme (Leander ve Buishand, 2007) ikinci sırada gelmektedir (Araghi, vd., 2019). Bu nedenle bu çalışmada yanlılık düzeltmesi için en uygun metodun lineer ölçekleme metodu olduğu kabul edilerek STM^2 model çıktılarına uygulanmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Kavram ve Terimler

Toprak sıcaklığının üç kaynağı vardır: Birincisi güneş enerjisi, ikincisi topraktaki çeşitli olaylar (kimyasal ve mikrobiyolojik) sonucunda oluşan ısı enerjisi ve üçüncüsü yerin derinliklerinden gelen ısı enerjisidir. Yerin derinliklerinden gelen ısı enerjisinin toprak sıcaklığı üzerindeki etkisi minimumdur. Özellikle güneş enerjisi ile gündüz ısınan toprak, gece ışıması ile enerjisinin bir kısmını kaybeder (Kantarıcı, 2000: 181). Hindistan'ın Pune bölgesinde sıcaklık ve ısı depolama değişimlerinde 3 saatlik gözlemlere dayanarak yapılan bir çalışmada güneş enerjisinin, toprak sıcaklık değişimleri üzerinde ana etmen olduğu ortaya konmuştur. Gözlemlere göre termal dalga, yüzey solar ısınmanın sonucu olarak toprak altı tabakalara nüfuz etmiş ve bu dalganın amplitüdü toprak derinliği ile birlikte azalmıştır. Ayrıca toprakta ısı depolanmasının derinlikle birlikte üssel olarak azaldığı tespit edilmiştir. Gözlemlere göre toprağın 10 cm içinde maksimum sıcaklık öğleden sonra, daha derin tabakalarda ise gece yarısına doğru gerçekleşmiştir. En düşük sıcaklık, güneşin doğumundan önceki 1-2 saatte ancak daha derinlerde güneşin doğumundan sonraki 3-4 saatte gerçekleşmiştir (Chowdhury, vd., 1991). Aslında bu durum sürenin güneş enerjisi ya da güneş radyasyon şiddeti ve toprak sıcaklığı üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu günlük sıcaklık değişmelerine *termoperiyot* denilmektedir. Mevsimsel bir periyot da bulunmakta olup güneş enerjisi kışın atmosferde daha uzun yol kat ettiği için kışın toprak sıcaklığı düşmekte yazın ise tam tersi durum gerçekleşmektedir (Boşgelmez, vd., 2001).

Güneş enerjisi ve zamanın etkisi toprak sıcaklık oluşumunda ana etmen olsa da toprak sıcaklık değişimi üzerinde etkili olan başka pek çok etmen bulunmaktadır. Coğrafi etmenler (*enlem, boylam, karasallık ve topoğrafya*), iklimsel etmenler (*hava sıcaklığı, yağış, bulutluluk, güneşlenme süresi, rüzgâr ve açık hava basıncı*), bitki örtüsü, toprak yapısı (*organik madde, tekstür, renk, toprak reaksiyonu, drenaj, toprak işleme*), arazi örtüsü ve arazi kullanımı özellikleri toprak sıcaklığını etkileyen diğer etmenleri oluşturmaktadır (Ekberli ve Sarılar, 2015; Erol, 2016; Kantarıcı, 2000; Kutlu, 2013). Coğrafi etmenler gelen güneş ışınım miktarını, dolayısıyla toprak sıcaklık rejimini

etkilemektedir. Nitekim diğer koşullar sabit olmak kaydıyla kuzey enlemlere doğru gidildikçe gelen güneş enerjisi miktarı azalmaktadır. Denizelliğin etkili olduğu bölgelerde gündüz ve mevsimlik sıcaklık farkı karasallığın etkili olduğu bölgeler kadar fazla değildir. Her 100 m’de hava sıcaklığı yaklaşık 0.5 °C azaldığı için toprak sıcaklığı da azalmaktadır. Güney bakımlı yamaçlar kuzey yamaçlara göre güneş enerjisini daha fazla alır ve daha fazla ısınır. Bakı ve eğim etkisi birlikte değerlendirildiğinde kuzeye bakımlı yamaçlarda eğim arttıkça alınan ısı azalmaktadır. Güney yamaçlarda ise eğim arttıkça önce alınan ısı artmakta fakat dik eğimli yamaçlarda azalmaktadır (Kantarıcı, 2000). İklimsel etmenlere gelince; hava sıcaklığı ile özellikle sığ (0-20 cm) ve orta toprak katman (20-50 cm) sıcaklıkları arasında anlamlı pozitif yönlü kuvvetli bir ilişki olup özellikle de sığ toprak katmanlarında oldukça belirgindir (Bai, 2009; İçel ve Ataol, 2011; İçel ve Ataol, 2013; Kutlu, 2013; Tonkaz, vd., 2007). Yağışın türü ise toprak sıcaklığını farklı derecelerde etkilemektedir. Yağmur suları toprağın ısı geçirgenliğini artırmakta ve toprağın hem geç ısınıp hem de geç soğuma düzeyini yükseltmektedir ve genel olarak toprak üzerinde soğutucu bir etki yapmaktadır. Kar örtüsü ise toprağı ani ısı değişimlerine karşı korumakta ve toprağın donmasını önleyerek bir anlamda yalıtım yani koruyucu katman görevi görmektedir. Karların erime döneminde ise sızan sular toprak sıcaklığını önemli ölçüde etkilemektedir. Bitki örtüsü kar kalınlığını etkileyerek toprağın donma derinliğini belirlemektedir. Örneğin; seyreltilmemiş bir ladin ormanında seyreltilmiş bir ladin ormanına göre daha az kar birikir ve toprağın donma derinliği nispeten ilkbaharda daha derindir (Kantarıcı, 2000). Bulut ve sis tabakaları güneş ışığını tutarak yüzeye gelen ısının azalmasına yol açar ve sıcaklığı düşürür (Boşgelmez, vd., 2001). Samsun/Bafra bölgesinde toprak sıcaklığı ve iklim elemanları arasındaki ilişkiyi inceleyen Kutlu (2013)’ya göre ortalama nem, toplam yağış miktarı, ortalama rüzgâr ve ortalama hava basıncı bütün derinliklerde toprak sıcaklığını azaltırken minimum toprak üstü sıcaklık, toplam güneşlenme süresi ve buhar basıncı toprak sıcaklığını arttırmıştır. Yüzeyin çıplak ya da bitki örtüsü ile kaplı olup olmaması, bitki örtüsünün kapalılık derecesi ve tür bileşimi toprak sıcaklık rejimini kontrol eden bir diğer etmendir. Toprağın yapısal özelliklerine gelindiğinde; toprağın yüzeyindeki ölü örtü ya da organik maddenin ısı iletkenliği düşük olduğu için toprak sıcaklığı üzerinde çok az etkilidir ancak organik madde koyu renginden dolayı gelen güneş enerjisi daha fazla emer. Başka deyişle yüzeydeki ölü örtünün ya da organik maddenin ısınma kapasitesi oldukça yüksektir. Ölü örtü, kar örtüsü gibi toprağın ani ısınma ve soğumasını olumlu anlamda etkilemektedir (Kantarıcı, 2000). Toprağın koyu

renkli ya da açık renkli olması ve ıslak ya da kuru olması toprak yüzeyindeki sıcaklığı kontrol etmektedir. Koyu renkli topraklarda sıcaklık açık renkli topraklara göre 1.7-1.9 °C daha yüksek sıcaklığa sahiptir. Kuru topraklar da yine ıslak topraklara göre 7-8 °C daha sıcak olup nemli topraklarda buharlaşmadan kaynaklı ısı kaybı bunda etkilidir. Kumlu toprakların ısıyı iletme gücü tınlı topraklardan daha fazladır. Tınlı toprakların ise ısıyı iletme gücü killi topraklardan daha yüksektir. Drenajı kötü olan killi toprakların (soğuk toprak) drenajı iyi olan kumlu topraklara (sıcak toprak) göre ısı kapasitesi daha yüksek olup ısı iletkenliği daha düşüktür. Bu durumda geç ısınma geç soğumadan kaynaklı organik maddenin fazla birikmesi süreci gerçekleşse de toprak işlenir ise organik madde azalır. Özellikle ormanlık alanların tarım alanlarına açıldığı alanlarda bu azalma süreci daha hızlıdır. (Boşgelmez, vd., 2001). Bazı antropojenik faaliyetler de toprak sıcaklığını etkilemektedir. İlk akla gelen arazi örtüsü ve arazi kullanımındaki (AÖ/AK) değişikliklerdir. Doğal ya da insan etkisiyle orman örtüsünün kaldırılıp tarım alanlarına ve yerleşim alanlarına dönüştürülmesi, tarım alanlarının yerleşime açılması, otlakların aşırı kullanılması ve yerleşim alanlarına açılması, göllerin kurutulması vb. süreçlerle gelen ve giden radyasyon şiddeti ve topraktaki organik madde miktarı değişebilmektedir. İnsanoğlu toprak idaresi ve su düzenini değiştirerek (*toprak işleme, mikro topoğrafya değişiklikleri, renk değişimleri ve toprak su rejimi değişiklikleri*), rüzgâr ve su erozyonuna karşı malçlama yaparak ve güneş ışığını yapay gölgeleme ile azaltarak dolaylı da olsa toprak sıcaklığını kontrol edebilmektedir. Buna karşılık toprak sıcaklığını optimize etmek için yapılan bu uygulamaların toprak sıcaklığı üzerindeki etkisi çok azdır (Boşgelmez, vd., 2001; Wierenga, vd., 1982).

Toprak altı sıcaklıkların yatay ve dikeydeki dağılışı ve sıcaklık rejimi özellikle tarımsal faaliyetler, ulaşım ve hidrolojik unsurlar (sızma ve taşkın gibi) bakımından özel bir öneme sahiptir (Acaröz, 1960; Erinç ve Bener, 1963). Toprak sıcaklığı doğrudan bitki büyümesini (tohum çimlenmesi, ortaya çıkışı, kök büyümesi ve besin alımı) ve dolaylı olarak toprak suyu ve gaz akışını, toprak yapısını ve besin kullanılabilirliğini etkilemektedir (Wierenga, vd., 1982). Bu nedenledir ki kritik değerlere erişme tarihleri, kritik değerlerin aşıldığı devrenin süresi ve başlangıç ile bitiş tarihleri gibi sürelerin tespiti önemlidir (Erinç, 1965). Bitki türlerinin sıcaklık isteği farklı olsa da genel olarak ≤ 0 °C sıcaklıklar bitki hayatını olumsuz yönde etkiler (Acaröz, 1960; Alpdündar, 1976; Balybina ve Trofimova, 2019; Erinç ve Bener, 1963; Sviličić, vd., 2016). Bu sıcaklık değerlerinde

toprakta don olayı gerçekleşir. Bu süreç yani sıcaklığın donma noktası altına aniden ya da yavaş yavaş düşmesi toprak donunun karakterini ve tarımsal üretimi etkilemektedir. Genelde ilkbahar ve sonbaharda gerçekleşen ani donlara bitkiler direnç gösteremeyince zarar görür ve tarımsal rekolte düşer. Hatta don sürecinde don kabarması ve don kesmesinin gerçekleşmesiyle bitkilerde ölüm olayı gerçekleşebilir. Sıcaklık donma noktası altına hızlı düşerse (ani donmada) toprağın üst katmanları kütle halinde donar. Aksine sıcaklık donma noktası altına yavaş yavaş düşerse toprak yüzeyinde ince bir kat donar. Bu katın alt yüzü, topraktaki suyu kendine çeker ve buzlanma başlar. Aşağı katmanlardan eklenen buzların etkisiyle hacim genişlemesi olur başlangıçta oluşan buz katları toprakla beraber yukarı doğru yükselir ve kabarır ki bu olaya *don kabarması* denir (Boşgelmez, vd., 2001). Doğu Anadolu Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi'nde bazen tarım arazilerinde biriken suyun donması sonucu *don kesmesi* olayı da gerçekleşebilmektedir. Bu donma olayında oluşan buzun bitkiyi kesmesi yoluyla tarımsal zararlar meydana gelebilmektedir (MEB, 2016). Düşük sıcaklıkların bitkiler üzerinde yaptığı başka bir etki daha vardır ki o da donma kuraklığı olarak da ifade edilen fizyolojik kuraklıktır. Fizyolojik kuraklık, topraktaki suyun donmasıyla birlikte bitkinin transpirasyon ile kaybettiği suyu alamaması sonucunda oluşan bir olaydır (Boşgelmez vd., 2001: 34). Kışın görülen bu olay kış kuraklığı olarak da ifade edilmektedir.

Donma (*frost*), dünya veya toprağa bağlı cisimlerin yakınındaki havanın sıcaklığı donma veya daha düşük (0 °C) sıcaklığa düştüğünde ortaya çıkan durumdur (“Government of Canada”, t.y.), (“Glossary”, 2020). Ekstrem hava olaylarında (soğuk hava dalgası ve sıcak hava dalgası gibi) büyüklük (*magnitude*), eşiklerle sınırlanan bir indekse dayalı olarak tanımlanmaktadır (TT-DEWCE WMO, 2016). Hâlihazırda geliştirilmiş bir toprak don indeksi olmadığı için don büyüklüğünün alansal dağılışı, donlu gün sayılarının eşit aralıklara bölünmesi ile olası zayıf, orta, güçlü ve çok güçlü şeklinde yorumlanabilmektedir. Etki alanı (*extent*) kavramı ise etkilenen coğrafi alanı ifade etmekte olup aşırı hava olayının yaygın yönü hakkında bilgi vermektedir (TT-DEWCE WMO, 2016). Dolayısıyla toprak donunun dikeydeki etki alanı, herhangi bir zaman diliminde donun ulaştığı maksimum derinlik yani don tabakasının maksimum kalınlığı olarak ele alınıp alansal dağılışı değerlendirilebilmektedir (Acaröz, 1960; Erinç ve Bener, 1963). Don karakterinin ortaya konulmasında şiddet (*severity*) özelliğinden de faydalanılabilir. Ekstrem hava olaylarında şiddet, ilgili olayın büyüklüğü ve süresini birleştiren bir ölçüyü

tanımlamaktadır (TT-DEWCE WMO, 2016). Geliştirilen indislerle donun şiddet karakteri hafif, orta, şiddetli ve çok şiddetli şeklinde ortaya konulabilmektedir (Koç, 2001).

Günümüzde uluslararası toprak sınıflama sistemi olarak en yaygın kullanılan sınıflama sistemi Toprak Taksonomisi'dir. Bu sınıflama sisteminde toprakların tanımlanmasında ve gruplandırılmasında toprak sıcaklık rejiminin belirlenmesi önemli bir adımdır (Soil Survey Staff, 1999; Soil Survey Staff, 2014). Ts rejimi, özellikle ılıman bölgelerde Toprak Taksonomisi'nde toprak sınıflandırmasını hatta bir toprağın adını bile önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Örneğin; 1998'de oluşturulan yeni Gelisol toprak ordosu, pergelik toprak sıcaklık rejimine (ortalama yıllık Ts 0°C'nin altında) sahip toprakları içermektedir (Soil Survey Staff, 1998; Yli-Halla ve Mokma, 1998). Toprak sıcaklığı, sistemin pratik doğası ve kullanım ve yönetim üzerindeki etkisi düşünüldüğünde, Toprak Taksonomisi'nde toprakların sınıflandırılması için gerekli bir parametredir. Toprak sıcaklık rejimleri, 50 cm derinlikte alınan ölçümler kullanılarak Toprak Taksonomisi'nde tanımlanmıştır. Rejim tiplerinin belirlenmesinde Yengeç ve Oğlak Dönencesi arasında bulunan tropikal bölgelerin toprakları ile diğer enlemlerin toprakları arasında bir ayırım yapılır. İlkinde, ortalama yaz ve ortalama kış toprak sıcaklıkları > 6 °C arasında değişmektedir. Önek *iso*, bu toprak sıcaklığı rejimlerini (isofrigid, isomesic, isothermic ve isohyperthermic) belirtmek için kullanılır. Yüksek enlemlere veya yüksek dağ bölgelerine (gelic, frigid ve cryic) özgü soğuk koşullarla ilişkili sıcaklık rejimleri ve orta enlemlerle ilişkili mesic, thermic ve hyperthermic sıcaklık rejimleri de vardır. Kısacası Toprak Taksonomisi'nde 6 ana toprak sıcaklık rejim tipi Gelic (don), Cryic (çok soğuk), Frigid (soğuk), Mesic (orta), Thermic (sıcak) ve Hyperthermic (çok sıcak) ve 4 ara toprak sıcaklık rejim tipi isofrigid, isomesic, isothermic ve isohyperthermic olarak tanımlanmıştır.

İklim değişikliği çalışmalarında trend (eğilim) kavramı sıklıkla kullanılmaktadır. Eğilim, iklim değişkenlerinin (sıcaklık, yağış, toprak nemi, toprak sıcaklığı vs.) zaman içinde gösterdiği değişimi, iniş ve çıkışları ifade eden bir terimdir. Küresel iklimde değişimlerin ortaya konulmasında trend analizleri sıklıkla yapılmaktadır. Gelecekte iklimin değişimi ve seyri hakkında bir öngöründe bulunulabilmesi için geçmiş iklimsel eğilim örüntüsünün tanımlanmasına ihtiyaç vardır. Bir anlamda trend analizi iklim değişkenlerine ilişkin projeksiyon çalışmalarından bir önceki adımı oluşturmaktadır. Trend analizlerinde parametrik (basit doğrusal regresyon, çoklu regresyon, t testi vs.) ve parametrik olmayan

metodlar yani çeşitli testler (Mann-Kendall testi, Spearman rho testi, Sen'in trend eğim testi vs.) kullanılmaktadır. Hangi metodun kullanılacağını ise zaman dizisine ilişkin çeşitli varsayımların (normal dağılım, otokorelasyon, veri uzunluğu vs.) yerine getirilip getirilmemesi belirlese de iklim değişkenleri genelde parametrik koşulları sağlayamamakta ve bu değişkenlerin eğilim analizinde parametrik olmayan metodlar tercih edilmektedir.

Projeksiyonlar, bir iklim sistemi modelinin varsayılan emisyon, konsantrasyon veya radyasyonda gelecekteki değişikliklere veya senaryolara verdiği yanıtlara karşılık gelmekte olup genellikle iklim senaryolarının hammaddesi niteliğindedir ("ACER", t.y.), ("Models to Scenarios", 2020). Gelecekte toprak sıcaklıklarının projeksiyonu bu çalışmada üç ana aşamada ortaya konulmuştur. *Birinci aşama*, Toprak Sıcaklık ve Nem Modeline (STM²) girdi oluşturacak MarkSim model aşamasıdır. MarkSim, 1980'lerde ve 1990'larda, dünyanın dört bir yanından bilinen aylık iklim data kaynaklarından hava simülasyonu yapmak için geliştirilmiş bir hava üreticisi ve bir projenin adıdır (Jones ve Thornton, 1993; Jones ve Thornton, 2000). MarkSim, dünyayı birbirinden farklı 720 iklim kümesine böler ve yağış verisine üçüncü dereceden bir Markov modeli uydurur. Sıcaklık verileri simülasyonu bir hava jeneratörü olan SIMMETEO'dan türetilmiştir (Geng, vd., 1988). Günlük radyasyon verilerinin yanı sıra maksimum ve minimum sıcaklık verileri Richardson'ın modeline dayanmaktadır (Richardson, 1981). MarkSim, stokastik ölçek küçültme ve iklim tipleme teknikleri kullanarak 17 Küresel Sirkülasyon Modelinin (GCMs) kaba çözünürlük çıktılarında 0.5° x 0.5° grid çözünürlüklü veriler üretir. GCM'ler atmosfer, okyanus, kriyosfer ve kara yüzeyindeki fiziksel süreçleri temsil eden sayısal modeller olup günümüzde küresel iklim sisteminin artan sera gazı konsantrasyonlarına tepkisini simüle etmek için geliştirilmiş mevcut en gelişmiş araçlardır ("IPCC", t.y.), ("What is a GCM?", 2020). İklim modellemelerinde Temsili Konsantrasyon Rotası (RCP), IPCC tarafından kabul edilen bir sera gazı konsantrasyon (emisyon değil) yoludur. 2014 yılında IPCC Beşinci Değerlendirme Raporu (AR5) için iklim modelleme ve araştırma için dört yol kullanılmıştır. Yollar, önümüzdeki yıllarda yayılan sera gazı hacmine bağlı olarak tümü olası kabul edilen farklı iklim geleceklerini tanımlamaktadır. RCP'ler başlangıçta RCP2.6, RCP4.5, RCP6 ve RCP8.5 olarak adlandırılırken 2100 yılında olası bir radyasyon zorlama değerleri aralığının ardından sırasıyla 2.6, 4.5, 6 ve 8.5 W / m² olarak etiketlenmiştir. AR5'ten beri orjinal yollar Paylaşılan Sosyo Ekonomik Yollarla birlikte düşünülmüş RCP1.9, RCP3.4 ve RCP7 gibi yeni RCP'ler üretilmiştir

(Wikipedia, 2020). *İkinci aşama*, STM² modelin çalıştırılması aşamasıdır. STM² Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı Tarımsal Araştırma Servisi (USDA ARS) tarafından geliştirilmiş bir modeldir. Modelde temel toprak fiziksel parametrelerinin tahmin edilmesinde ve gerekli girdilerin minimumda tutarak modelin kullanılabilirliğini artırılmasında ampirik ve fiziksel modeller kullanılmaktadır (Spokas ve Forcella, 2009). Üçüncü aşama STM² model çıktılarındaki belirsizliklerin giderilmesidir. Bu işleme yanlılık düzeltmesi (YD) yaklaşımı denilmektedir. Daha açık ifade ile YD yaklaşımı, bir referans dönemde GCM ve gözlemler arasındaki ortalama ve değişkenlik farklarını kullanılarak öngörülen ham günlük model çıktısını düzeltilmesini ifade etmektedir (“CCAFS”, t.y.), (“Bias-Correction”, 2020).

2.2. Kuramsal Tartışma

Dünyada toprak sıcaklığını odak noktasına alan pek çok çalışma yapılmıştır. Bunları konu, kapsam ve kullanılan metodolojiye göre 9 grupta toplayabiliriz. Burada ilk 5 gruptaki yaklaşımda toprak sıcaklığının güncel karakteri anlaşılmalı. 6. gruptaki yaklaşımda ise gelecekte toprak sıcaklık karakterinin anlaşılması amaç edinmiştir. Bu çalışmada ilk 6 grupta izlenen yaklaşım kullanılarak Türkiye'nin toprak sıcaklık karakteri ortaya konulmuştur. Bu kapsamda yapılmış çalışmaların özü şu şekildedir: *Birinci gruptaki çalışmalar*, toprak sıcaklığının genel karakterini konu edinmekte olup bu çalışmalar çok da güncel değildir (Acaröz, 1960; Alpdündar, 1976; Changnon, 1959; Chowdhury, vd., 1991; Devlet Meteoroloji İşleri Umum Müdürlüğü, 1958; Erinç ve Bener, 1963; Kaučić, 2001; Liu, vd., 2017; Nalbant, 1974; Özdemir, 1974; Yuyi ve Jun, 1999). Bu çalışmalarda bir anlamda toprakların termik değişim kanunlarını ortaya çıkarma hedeflenmiştir. Genellikle ortalama dışında minimum, maksimum ve range (aralık) istatistikleri ele alınmıştır. Bunun dışında değişkenliğin ortaya konmasında standart sapma istatistiğini kullanan çalışmalar da az da olsa bulunmaktadır (Subedi ve Fullen, 2009; Zhang, 1993). *İkinci gruptaki çalışmalar*, toprak sıcaklığı ile coğrafi parametreler (Bai, 2009; Goncharova, vd., 2019; Smith, vd., 1964) ve iklim elemanları arasındaki ilgi ve bağlantıların anlaşılmasını konu edinmektedir (AE ve Al-Dashti, 2017; García-Suárez ve Butler, 2006; Goncharova, vd., 2019; İçel ve Ataol, 2011; İçel ve Ataol, 2013; Jun, vd., 2008; Kutlu, 2013; Liu, vd., 2016; Takata, vd., 2011; Yeşilirmak, 2014; Yüksel, 1985; Zhang vd., 2001). Hava sıcaklığı-toprak sıcaklığı ilişkisi en çok araştırılan konu olup bu grupta kullanılan metodoloji

çoğunlukla korelasyon ve regresyon analizlerine dayanmaktadır. *Üçüncü gruptaki çalışmalar* özellikle tarımsal öneme sahip toprak donuna odaklanmaktadır. Bu amaçla ≤ 0 °C altı ve üstü günlerin sayısındaki aylık değişimlere ve don tabakası kalınlığına ilişkin analizler yapılmıştır (Balybina ve Trofimova, 2019; Erinç ve Bener, 1963; Mazhitova, 2008; Sviličić, vd., 2016; Zhang, vd., 2001). *Dördüncü gruptaki çalışmalarda* toprak sıcaklığı genellikle toprak oluşumunu etkileyen bir etmen olarak ele alınmış olup toprak sıcaklık rejimini ortaya koymayı konu edinmektedir (Bai, 2009; Kyuma, 1985; Mount, vd., 1992; Nullet, vd., 1990; Rodríguez, vd., 2010; Takata, vd., 2011). Kullanılan yaklaşımı, Toprak Taksonomisi ve taksonomide yer alan toprak sıcaklık rejim sınıflaması oluşturmaktadır (USDA Soil Survey Staff, 1999; USDA Soil Survey Staff, 2014). *Beşinci gruptaki çalışmalar*, toprak sıcaklıklarında gözlenen eğilimleri kapsamaktadır. Bu çalışmaların çoğunluğu 21. yüzyılın başlarından bu yana artarak devam etmektedir. Çin, en çok çalışılan bölge olup idari ve jeomorfolojik bölgeler ölçeğinde yapılan çalışmalar oldukça fazladır (Dong-liang, vd., 2005a; Dong-liang, vd., 2005b; Ghahreman, vd., 2010; Jun, vd., 2007a; Jun, vd., 2008; Li, vd., 2010; Subedi ve Fullen, 2009; Wang, vd., 2018; Wentao, vd., 2011; Xing, vd., 2011, Yuzhu, vd., 2013). Bu tür çalışmalarda sıklıkla basit lineer regresyon ve çoklu regresyon analizi gibi parametrik metotlar (Bai, 2009; Dong-liang, vd., 2005a; Dong-liang, vd., 2005b; García-Suárez ve Butler, 2006; Jun, vd., 2007a; Jun vd., 2007; Jun, vd., 2008; Li, vd., 2010; Subedi ve Fullen, 2009; Wentao, vd., 2011) ve Mann-Kendall testi, Mann-Kendall Sıra Korelasyon testi ve Sen'in trend eğim metodu gibi parametrik olmayan yöntemler kullanılmıştır (Aydemir, vd., 2006; Fang, vd., 2019; Öndeş, 2013; Qian, vd., 2011; Tonkaz, vd., 2007; Turkoglu, 2010; Yeşilirmak, 2014; You, vd., 2013). Bu yöntemler aylık ve uzun dönem ortalamasına ilişkin zaman serilerine uygulanmıştır. Son yıllarda tarımsal planlama ve uygulamalardaki öneminden dolayı günlük ortalama toprak sıcaklıklarında gözlenen eğilimler de araştırılmıştır (Araghi, vd., 2017). *Altıncı gruptaki çalışmalar*, toprak sıcaklıklarının gelecek projeksiyonlarını içermektedir (Araghi, vd., 2019; Houle vd., 2012). *Yedinci gruptaki çalışmalar*, toprak sıcaklığının ekosistem tabanlı çalışmalarda kullanımını konu edinmektedir. Toprak sıcaklığı ekosistemlerin, özellikle de otçul ekosistemlerin, kırılganlık, ekolojik esneklik ve ekolojik direnç kategorilerinin oluşturulmasında kullanılmaktadır (Bradford, vd., 2019; Brouwers, vd., 2013). *Sekizinci gruptaki çalışmalar*, toprak altı sıcaklıkların tahmin edilmesine yönelik çalışmaları içermektedir. Son yıllarda toprak altı sıcaklıkların tahmin edilmesine dayalı modeller ve tahminlerin doğruluğuna dayalı modellerin mevcut

meteorolojik veriler ile de karşılaştırılması hız kazanmıştır (Bilgili, 2011; Ekberli, vd., 2017; İş, 2009) ancak GEP-FARIMA (gen anlatım programlaması-otogresif entegre hareketli ortalama) ve FEBPNN-FARIMA (ileri geri yayılma sinir ağları-otogresif entegre hareketli ortalama) adında geliştirilen hibrit modellerin, klasik modellere kıyasla farklı derinliklerde günlük toprak sıcaklık verilerini daha iyi tahminlediği öne sürülmektedir (Mehdizadeh, vd., 2020). *Dokuzuncu gruptaki çalışmalar*, ısı pompası ve toprak ısı eşanjörleri uygulamalarına yönelik toprak sıcaklık tahminleri (Yener, vd., 2016) ve toprak kaynaklı ısı pompası uygulamasında sahaların uygun olup olmadığının tespitinde toprak sıcaklıklarının günlük ve aylık dikey değişimini (özellikle dalga genliğinin) ortaya koyan çalışmaları kapsamaktadır (Sharan ve Jadhav, 2002; Şahin, vd., 2007). Bu çalışmada ilk altı grupta izlenen yaklaşım kullanılarak Türkiye'nin toprak sıcaklık karakteri ortaya konulmuştur. Bu kapsamda yapılmış çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Her bölgenin kendine öz bir toprak sıcaklık karakteri olup yatay ve dikeydeki gecikmeler zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle farklı toprak derinliklerinde toprak sıcaklıklarının ortalama, minimum, maksimum, aralık ve standart sapma değişimlerini incelemek önemli görülmüştür. Bu konuda Callendar ve Mcleod (1895)'un elektrik dirençli termometreler ile toprak sıcaklık gözlemlerini içeren çalışması dünyada yapılmış ilk toprak sıcaklık çalışması niteliğindedir ancak ülkelerdeki çalışmaların genel olarak 1950'li yıllarla birlikte başladığı öne sürülebilir. Changnon (1959) tarafından yapılan çalışmada ABD, Illinois bölgesi Urbana-Champaign'de toprak sıcaklık genel karakteri tanımlanmış şu sonuçlara ulaşılmıştır: Ortalama maksimum toprak sıcaklığı ağustos ayında 20.4 °C, ortalama minimum toprak sıcaklığı şubat ayında 3.8 °C'dir. Başka bir çalışmada Hırvatistan bölgesinde 5 cm-20 cm ve 20 cm-30 cm katlarında sıcaklık derinlikle birlikte azalmaktadır ancak ikinci katmanda karasal ve kıyı bölgeleri arasında farklılıklar küçüktür. Minimum aylık ortalama toprak sıcaklıkları tüm bölgelerde ocak ayında görülmekle birlikte maksimum aylık ortalama toprak sıcaklıkları temmuz ayında 5 ve 20 cm derinliklerde, ağustos ayında 30 cm derinlikte (Adriyatik bölgesinde) tespit edilmiştir (Kaučić, 1989). Çin'in Tibet Platosu'nda 10 cm, 20 cm ve 40 cm toprak derinliklerinde yapılan daha ayrıntılı bir çalışmada en yüksek toprak sıcaklığının haziran ve temmuz aylarında, en düşük sıcaklıkların da ocak ayında görüldüğü ileri sürülmüştür. Yarlung Zangbo Nehri boyunca toprak sıcaklığı farkı en düşük olup, Ngari'de en büyüktür. Yarlung Zangbo Nehri boyunca toprak sıcaklıklarında kış aylarında yaz aylarından daha

büyük bir artış gerçekleştiği tespit edilmiştir. En düşük toprak sıcaklıkları merkezin kuzeybatı bölgesinde ve en yüksek toprak sıcaklıkları merkezin güneydoğu bölgesinde gözlenmiştir. “Ampirik Ortogonal Fonksiyon (EOF)” analiz sonuçlarına göre toprak sıcaklıklarının yıllık ve mevsimsel değişiminin yarı 3 yıllık ve yarı 6 yıllık salınımlar gösterdiği de ileri sürülmüştür (Yuyi ve Du, 1999). Türkiye’de de benzer toprak sıcaklık çalışmaları 1950’li yıllarla birlikte yapılmaya başlanmıştır. Devlet Meteoroloji İşleri Umum Müdürlüğü (1958)’nin 0 cm, 5 cm, 15 cm, 30 cm, 50 cm ve 100 cm derinliklerde 1926-1955 dönemli günlük, aylık ve yıllık ortalama, minimum ve maksimum toprak sıcaklık değerlerine göre Ankara bölgesi toprak termik rejim kanunlarını belirlediği çalışmada dört termik değişim kanunu tanımlanmıştır. Birinci Kanun: Derinlik aritmetik bir dizi halinde arttığı zaman değişme farkı geometrik bir dizi halinde azalır. İkinci Kanun: Günlük minimum ve maksimum sıcaklık değerleri derinlikle orantılı olarak daha geç saatlerde elde edilir. Üçüncü Kanun: Sıcaklığın dikey dağılışı sene içinde pozitif ve negatif olmak üzere iki devre gösterir. 0-5 cm dikkate alınmaksızın mart-ekim arası negatif evreye; kasım-şubat arası pozitif evreye karşılık gelmektedir. Dördüncü Kanun: Yüzeve yakın derinlikteki topraklar, siper içinde elde edilen hava sıcaklığına nazaran, daha sıcak bir çevre oluşturur. Türkiye genelinde 0 cm, 5 cm, 15 cm, 30 cm ve 50 cm derinliklerde aylık, mevsimlik ve yıllık toprak sıcaklıklarının minimum, maksimum, ortalama ve aralık değerlerindeki değişimlerin incelendiği ayrıntılı araştırma sonuçlarına göre mayıs (15-32.5 °C izotermi baskın) ile haziran (20-32.5 °C izotermi baskın) ayları arasında sıcaklık farkı azalmaktadır (Acaröz, 1960: 27). Eylül ayında sıcaklık düşmektedir. Sıcaklık batı ve güneye doğru artmaktadır. Ekimde 12.5-22.5 °C izotermi ülkemizi kaplamaktadır (Acaröz, 1960: 29). 0-5 cm arasında pek büyük fark yoktur ancak yatayda değişiklikler gözlenmiştir. 15 cm ve 30 cm’lerde yüzeydeki duruma bağlı bir mevsim değişikliği görülmüştür. 50 cm’de sıcaklık yavaş yavaş sabit bir noktaya yaklaşma eğilimi göstermiştir. 0-5 cm-15 cm’de toprak sıcaklığı mevsimlerde birbirine benzemekle birlikte 30 cm-50 cm’de sıcaklık durumu değişmiştir (Acaröz, 1960). Türkiye’de toprak altı sıcaklık değerleri genel olarak İç Anadolu’dan batıya ve güneye gidildikçe artmaktadır ve yıllık amplitüd azalmaktadır. Soğuk mevsimde derin kısımlar daha sıcak, sıcak mevsimde ise daha serindir (Erinç ve Bener, 1963; Erinç, 1969). Afyon bölgesinin 1964 yılı 10 cm, 20 cm ve 50 cm derinliklerinde toprak sıcaklıklarının günlük, aylık ve mevsimlik ortalama, minimum, maksimum ve aralık istatistiklerindeki değişimlerin ayrıntılı çözümlenmesinde mevsimlik ortalama derinlere doğru amplitüd azalmaktadır. Minimum ve maksimumlar artmaktadır.

10 cm ve 20 cm’de günlük farklılıklar çok belirgindir. 50 cm’de alçalıp yükselme var ama çok az ve tedricidir. Amplitüd değerleri de bunu göstermiştir. Ulaşılan genel sonuçlara göre Afyon’da 1964 yılında saptanan toprak altı sıcaklıkları düzenli bir gidiş sergilemektedir. Yalnız göze çarpan bir husus mevsimler arası maksimum, minimum ve amplitüd farkı oldukça yüksektir (Alpdündar, 1976).

Toprak sıcaklığı ile coğrafi parametreler ve iklim değişkenleri arasında önemli bir ilişki vardır. Örneğin, ABD-Kaliforniya eyaletinin güneydoğusunda bulunan Mojave Çöl bölgesinde hava sıcaklığı ile 50 cm’deki Ts arasında yüksek derecede pozitif korelasyon; yıllık yağış anomalileri toprak sıcaklığı arasında ise negatif korelasyon bulunmuştur. Araştırma sonuçlarına göre Ts-yükselti arasında önemli bir negatif ilişki tespit edilmiştir. Yapılan regresyon modellerine göre yükselti tek başına yıllık ortalama Ts’deki değişkenliğin %85’ini açıklamaktadır. Yıllık ortalama Ts, eğim ile de önemli ölçüde ilişkilidir ve değişkenliğin yaklaşık %16.5’i eğimdeki değişkenlik tarafından açıklanabilmektedir. Ts-enlem arasında anlamlı bir ilişki yoktur ancak enlemin Ts üzerindeki etkisi yükseklik ile maskelenmiştir. Boylam arasında anlamlı bir korelasyon vardır ancak yıllık ortalama Ts’deki değişkenliğin sadece %9.3’ü boylamdaki değişiklikten sorumludur (Bai, 2009). Japonya için yapılan başka bir çalışmada ise yağış, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi, yükselti, enlem, yıllık ortalama hava sıcaklığı, yıllık ortalama toprak sıcaklığı ve yıllık ortalama hava sıcaklığı farkı arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuçlara göre toprak sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasında önemli bir ilişki tespit edilmiştir. Bu ilişkiyi bir ölçüde rüzgâr hızı etkilemiştir. Yıllık ortalama toprak sıcaklığı ve yıllık ortalama hava sıcaklığı farkı ile yükseklik, en yüksek korelasyonu göstermiştir (Takata, vd., 2011). İklim değişkenleri arasında hava sıcaklığı, yağış ve buharlaşma toprak sıcaklığı ile anlamlı korelasyonlar göstermiştir. Van bölgesinde farklı derinliklerde toprak sıcaklığı-hava sıcaklığını inceleyen Öndeş (2013) tarafından farklı toprak derinliklerindeki toprak sıcaklıkları ile ortalama hava sıcaklıkları arasında özellikle de temmuz ayında yüksek korelasyonlar tespit edilmiştir. Yüksel (1985), Türkiye’nin 10 cm derinlikte toprak sıcaklığı-iklim elemanları arasında da bazı spesifik ilgi ve bağlantılar ortaya koymuştur. Ulaşılan sonuçlara göre yağış ve güneşlenme süresinin bitki köklerinin en fazla gelişim gösterdiği ilkbahar ve sonbahar mevsiminde toprak sıcaklığına etkisi İç ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni olarak bu iki bölgenin diğer bölgeler gibi bitki örtüsüne sahip olmayıp bozkır ve yarı-çöl özelliğinde olmaları öne

sürülmüştür. Bu sonuçlara paralel olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde hava sıcaklığı ile 10 cm toprak sıcaklığı arasında 0.01 anlamlılık düzeyinde ve 1 derecesinde pozitif doğrusal korelasyonlar da bulunmuştur (İçel ve Ataol, 2011). Benzer örüntü Türkiye genelinde 50 cm yıllık ortalama toprak sıcaklıkları ve hava sıcaklıkları arasında da ortaya çıkmıştır (İçel ve Ataol, 2013).

Türkiye'nin güney ve güneydoğusunda hatta İç Anadolu'da yazın kuraklık buna karşılık özellikle kış aylarında İç ve Doğu Anadolu'da düşük sıcaklık yani donma olaylarının gerçekleşmesi toprak tabakalarında, yaklaşık 1 m, sıcaklık değişimlerinin incelenmesini gerektirmektedir (Acaröz, 1960). Bu çalışmalar ağırlıklı olarak Rusya'nın permafrost bölgeleri için yapılmıştır (Balybina ve Trofimova, 2019; Zhang, vd., 2001). Örneğin, Rusya'nın Irkutsk bölgesinde her yıl çayır ile kaplı yüzeyde dokuz aydan fazla mevsimsel donma tespit edilmiş ve donun 40 cm derinlikte yaklaşık 5-6 ay sürdüğü öne sürülmüştür. Mevsimsel olarak donmuş toprakların uzun vadeli ortalama derinliği yaklaşık 177 cm, 91 cm-260 cm arasındadır (Zhang, vd., 2001). Türkiye'de ise don süreleri ve don kalınlığına dair Erinç ve Bener (1963), şu sonuçlara ulaşmıştır: Türkiye'de haziran, temmuz ve ağustos ayları dışında don görülmektedir. Ocak, şubat, mart ve aralık aylarında önemli don olayları görülmüştür. Don şartları daha çok Doğu Anadolu'dadır ki bu bölgede donlu günler sayısının yıllık toplamı 100 günün üstündedir. Ocak ayı toprak sıcaklık değişiminde 0 °C izotermi, Doğu Anadolu'da bulunmaktadır ve bu izoterm 15 cm derinliğe kadar batıya doğru uzanırken 30 cm derinlikte Doğu Anadolu'ya çekilmiştir. Kayseri'de donun nüfuz sahası (etki alanı, don derinliği) ocak ayında 29 cm'ye ulaşmıştır. Donlu gün sayısı 10'dan az olan bölgeler Trabzon, İzmir, Bodrum, Fethiye, Antalya, Adana, Antakya, Mersin, İskenderun, Dört Yol, Kuşadası, Anamur ve Silifke'dir. Akdeniz kıyılarında donlu gün sayıları 1-5 gün, Ege kıyılarında ve Karadeniz sahillerinde ise 10'a yakındır. Bunun ötesinde ekstrem değerler ve kritik sıcaklıklar açısından sadece donlu günler sayısına dayalı don süresi ve don tabakasının kalınlığının alansal değişimini tanımlamak yeterli değildir. Don tabakasının maksimum kalınlığı dışında rasat devresinde yüzeyde kaydedilen minimum sıcaklıklarda, rasat devresinde 15 cm derinlikte kaydedilen minimum sıcaklıklarda, 5 °C ve daha düşük aylık ortalama sıcaklıkların sokulabildiği toprak derinliğinde ve 50 cm derinliğe kadar 5 °C ve daha düşük olduğu devrenin süresinde gözlenen değişimlerin tanımlanması ve izlenmesi bitki hayatı, ulaşım ve hidrolojik koşullar açısından gereklidir. Erinç ve Bener'in çalışma çıktılarına göre ülkemizde yüzeyde

kaydedilen minimum sıcaklıklar açısından en yüksek değerler Akdeniz kıyılarında, en düşük değerler ise İç Anadolu'da (muhtemelen kuzeydoğuda) tespit edilmiştir. 15 cm derinlikte ise minimum değerler nispeten yüksek olup alansal farklılaşmada karasallığın etkisi gözlenmiştir. İç Anadolu ve Doğu Anadolu'da maksimum toprak don tabakasının derinliği 40 cm'yi geçmiştir. İç Anadolu'nun kuzey kesiminde bu değer 60 cm'den Doğu Anadolu'da ise 70 cm'den fazladır. En yüksek değer Sivas çevresinde tespit edilmiş olup don tabakasının kalınlığı 90 cm'den fazladır. 5 °C ve daha düşük aylık ortalama sıcaklıkların sokulabildiği toprak derinlikte ise kıyı ve iç kesimler arasında belirgin farklılıklar vardır: 40 cm derinlik eğrisi bu farklılığın sınırına karşılık gelmektedir. Özellikle 20 cm derinlik altında kalan Akdeniz ve Ege kıyı şeridi tarımsal açıdan çok uygun termik şartlara sahiptir. 50 cm derinliğe kadar 5 °C ve daha düşük olduğu devrenin süresi Akdeniz, Ege, Doğu Karadeniz ve Güney Marmara kıyılarında 40 günün altında olup bu benzer karakter bitki hayatı açısından olumludur.

Dünyada Toprak Taksonomisi'ne dayalı toprak sıcaklık rejimini ele alan pek çok çalışma olsa da Türkiye'de bu kapsamda yapılmış sınırlı sayıda çalışma vardır. Türkiye'de Çan-Altıkulaç Ovası (Çanakkale) topraklarının termik ve mezik sıcaklık rejime sahip olduğu (Ayaz, 2000); Göksun bölgesinin mezik termik rejime sahip olduğu (Başayığı ve Dinç, 2005) öne sürülmüştür. Diğer ülkelerdeki çalışma sonuçlarında volkanik ada Tenerife'de (Kanarya Adaları, İspanya) Toprak Taksonomisi tarafından değerlendirilen dokuz rejimin yedisi tanımlanmıştır: Hipertermik, termik, mezik, izopertermik, izotermik, izomezik ve cryic. Bu kadar küçük bir alandaki (2034 km²) geniş toprak sıcaklık çeşitliliği, yükseklik, dağ sistemlerinin yönelimi ve ticaret rüzgârlarının etkisi gibi bir dizi etmenin değişkenliği ile açıklanmıştır. Bir subtropikal adadaki farklı enlemlerden sıcaklık rejimlerinin varlığını tespit etmenin yanı sıra ilk kez bu enlemde bir cryic rejimi belgelenmiştir (Rodríguez, vd., 2010). Japonya'nın toprak sıcaklık rejimi inceleyen Kyuma (1985)'ya göre Hokkaido'nun doğusu frigid sıcaklık rejimine sahiptir. Mezik ve termik rejim arasındaki sınır yaklaşık 15 °C izopletine; termik ve hipertermik rejim arasındaki sınır ise yaklaşık 22 °C izopletine karşılık gelmektedir. Sadece yengeç dönencesinin kuzeyindeki Ryukyu adaları hipertermik rejime sahiptir (Kyuma, 1985). Japon topraklarının çoğu mezik alana dâhil olup bunu termik, soğuk ve hipermetrik alan izlemektedir. Regresyon kriging yöntemine göre yapılan toprak sıcaklık rejim modelinde toprak sıcaklıkları 3.6-25.8 °C arasında değişmiştir. Ortalama değer 12.8 °C'dir. Sıcaklıklar güney

kıyı bölgelerinde kuzey dağlık bölgelerinden daha yüksek değerlere sahiptir (Takata, vd., 2011). ABD farklı enlemlerde, farklı topoğrafya ve farklı iklim koşullarına sahip olduğu için toprak sıcaklık rejimlerinin karakteri büyük farklılıklar göstermektedir. Nitekim Kaliforniya Mojave Çöl bölgesinin %55'inde genellikle > 1051 m'de bulunan hipertermik toprak en yaygındır. Termik topraklar ise 1051-1983 m arasında bölgenin %39'unu oluşturmaktadır. Frigid ve mezik topraklar ise yalnızca yüksek rakımlı dağlarda bulunmaktadır (Bai, 2009). Aksine Yengeç Dönencesi yakınında tropiklerde yer alan Hawaii adalarında ise 4 sıcaklık rejimi tanımlanmıştır: Hipertermik/izohipertermik, izotermik ve izomeziktir. 13.800 km² alana sahip Porto Riko'da ise 3 tip toprak sıcaklık rejimi belirlenmiştir: < 600 m'de izohipertermik, 610-1066 m'de izotermik ve > 1067 m'de izomezik rejim egemendir (Mount, vd., 1992).

Dünyada toprak sıcaklık eğilimi, en çok araştırılan toprak sıcaklık karakteridir. Yapılmış tüm çalışmalarda birkaç bölge hariç son 70 yılda toprak sıcaklığının yükseldiği ortaya konmuştur. Yüzey hava sıcaklık artışlarının permafrost üzerindeki maksimum etkisi Orta Sibirya Platosu ve Transbaikalia'da gözlenirken, gözlemlenen toprak sıcaklık artışları başka yerlerde permafrost bölgelerini tehdit etmemektedir (Chudinova, vd., 2006). Hem hava hem de toprak yüzey sıcaklıkları göstergelerinin genel ısınma eğilimi, Tibet Platosu hariç, daha yüksek enlemlerdeki bölgeler nispeten daha fazla değişkenlik gösteren benzer alansal kalıpları ortaya koymaktadır (Wang, vd., 2018). Çin'in Tibet bölgesi ve Lhasa'da sıcaklık artışları kışın da güçlüdür (Jun, vd., 2007a; Jun, vd., 2008). Aksine Kuzeydoğu Çin'de ise ağustos ve eylül aylarında tüm derinliklerde önemli bir ısınma gerçekleşmiştir (Liu, vd., 2016). İngiltere/Shropshire Hilton Experimental Site'de 0 cm'de kışın (Subedi ve Fullen, 2009); İrlanda (Kuzey İrlanda) 30 ve 100 cm derinlikte ise yaz toprak sıcaklıklarındaki artış daha kuvvetlidir (García-Suárez ve Butler, 2006). Aylık ortalama toprak sıcaklık trendleri dışında günlük toprak sıcaklıklarındaki eğilimler de incelenmiştir. Toprak sıcaklığını bitki gelişimi üzerinde ölçülebilir bir etkiye sahip temel bir agrometeorolojik değişken olarak gören Araghi, vd. (2017), bu anlamda İran'ın kuzeydoğusunun günlük toprak sıcaklıklarındaki eğilimleri incelemiştir. Ulaşılan sonuçlara göre nisan ayından ağustos ayının sonuna kadar toprak sıcaklık eğilimleri pozitif ve anlamlıdır (veya anlamlıya yakındır). Üstelik bu pozitif eğilimler toprak derinleştikçe daha büyük bir öneme sahiptir. Toprak sıcaklıklarında azalma eğilimi sadece Rusya/Irkutsk ve Doğu Tibet bölgesinde gözlenmiştir. 1898-1995 döneminde Rusya/Irkutsk yaz

sıcaklıklarındaki 4 °C'ye varan azalma eğilimi tespit edilmiştir (Zhang, vd., 2001). Doğu Tibet'de ise çoğu mevsimde toprak sıcaklıklarında azalma gözlenmiştir. On'ar yıllık değişimler açısından yıllık ortalama toprak sıcaklığı, Tibet'in çoğu istasyonunda belirgin biçimde artmıştır ancak Chamdo'da azalmıştır. Yıllık ve mevsimsel toprak sıcaklıklarındaki değişimler incelendiğinde Tibet'in güneyinde 1990'ların ortalarında ve Tibet'in kuzeyinde 1990'ların sonunda anormal yüksek sıcak yıllar meydana gelmiştir. Anormal düşük yıllar Tibet'tin doğusunda baskın olmakla birlikte esasen 1980'lerde görülmüştür (Jun, vd., 2007b). Dünyada toprak sıcaklıkları genel olarak 20. yüzyılın ikinci yarısında artmaya başlamıştır. Trendlerin eğimi (birim zamandaki değişimi) 0.5 °C/10 yıl'ın üstündedir. Örneğin, Rusya'nın Avrupa kesiminde tüm topraklarda ve tüm derinliklerde 1961-2015 döneminde 0.5-1.0 °C/10 yıl artış gerçekleşmiştir. Çin'in kuzeydoğusunda ise 1960-2007 dönemi için bu artışlar hava sıcaklığından daha hızlı olup 0.81-1.0 °C/10 yıl'dır. 0 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm ve 20 cm derinliklerinde, ortalama toprak sıcaklıkları sırasıyla 3.6 °C, 1.9 °C, 1.4 °C, 0.9 °C ve 0.4 °C hava sıcaklığından daha yüksektir (Liu, vd., 2016). Hırvatistan topraklarındaki artışlar ise genel olarak 1 °C/10 yılın üstündedir: Maksimum, minimum ve ortalama sıcaklıklardaki artış oranı 1961–2010 ve 1981–2010 dönemi için sırasıyla 2.3-6.6 °C/10 yıl, –1.0-1.3 °C/10 yıl ve 0.1 ve 2.5 °C/10 yıldır (Sviličić, vd., 2016).

Gelecek toprak sıcaklıklarının projeksiyonu kapsamında Houle vd. (2012) tarafından Kanada'nın doğusundaki ormanlık alanlarda 2040–69 ve 2070-99 dönemi için toprak sıcaklık ve toprak nemi değişimi hakkında öngörülerde bulunulmuş ve 1971–2000 gözlem dönemine göre değişimler değerlendirilmiştir. Bunun için toprak sıcaklığı ve toprak nemi modelleri [Orman Toprak Sıcaklık Modeli (ForSTeM) ve Orman Hidrolojisi Modeli (ForHyM)] kullanılmıştır. Model sonuçlarına göre yıllık ortalama Ts, mevcut 30 yıllık ortalamaya kıyasla (1971-2000) 2040–69 ve 2070-99 dönemlerinde sırasıyla 1.1-1.9 °C arasında ve 1.9-3.3 °C arasında artışlar sergilemiştir. Buna ek olarak büyüme mevsiminde öngörülen daha sıcak ve kuru toprak koşullarının ormanların büyümesi ve biyojeokimyasal döngüleri üzerinde önemli etkiler oluşturması beklenmektedir (Houle, vd., 2012). Araghi vd. (2019) tarafından İran'ın kuzeydoğusu için yapılan bir çalışmada ise 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinliklerde 2025-2035-2045-2055-2075-2085-2095 dönemleri için Ts öngörülmesi yapılmıştır. Temsili Konsantrasyon Rotası (RCP) senaryolarına (4.5, 6.0 ve 8.5) göre 2025-2095 döneminde sıcaklık artışları sırasıyla 0.8 °C-1.5 °C, 1.2 °C-2.3 °C ve

2.4 °C-4.4 °C arasında değişmiştir. Sonuçlara göre toprak sıcaklık artışlarının vejetatif dönemde ürün gelişimini özellikle ürün ortaya çıkışını (crop emergence, filiz çıkışı) artırabileceği ayrıca besin oranı, toprak organik maddesinden CO₂ salınımı ve evaporasyon oranı gibi toprak süreçlerini de etkileyebileceği öne sürülmüştür. Bu olgudan dolayı özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde artan toprak sıcaklığı toprakta daha hızlı ve daha yüksek su açığı yaratabileceği de ifade edilmiştir (Araghi, vd., 2019).



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu araştırma Türkiye’de toprak sıcaklıklarının karakterini konu edinmektedir. Araştırmada 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm için coğrafi bölgeleri ve iklim bölgelerini temsil eden ve alana homojen bir şekilde dağılan meteoroloji istasyonlarına ait günlük toprak sıcaklık (°C) verileri kullanılmıştır. 5, 10, 20, 50 ve 100 cm derinlikler için kullanılan istasyon sayısı sırasıyla 195, 194, 192, 163 ve 159’dur ancak Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden (MGM) temin edilen toprak sıcaklık rasatlarında çeşitli derecelerde eksik veriler tespit edilmiştir.

3.1. Eksik Veri Tamamlama

Analiz öncesinde eksik rasatlar, oluşturulan kıstaslar çerçevesinde tamamlanmıştır. Oluşturulan kıstaslar şunlardır:

- 1) Zaman dizisindeki genel eğilimi bozmamak temel amaçtır.
- 2) Herhangi bir ayın ortalama değerinin hesaplanmasında ya da analizde kullanılmasında o ayda 10’dan fazla eksik günlük ölçümün olmaması gereklidir.
- 3) Aylık ortalamalara ilişkin eksik rasatlar, birbirini takip eden şekilde üçten fazla olmayacaktır.
- 4) Herhangi bir ayın ortalama değerinin hesaplanmasında ya da analizde kullanılmasında o ayda 10’dan fazla eksik günlük ölçümün olmaması şartı aranacaktır.
- 5) Eksik rasatların sayısı bir tane olsa dahi aynı iklim bölgesinde en yakın bir ya da üç istasyon verisi varsa bu verilerden yararlanılarak eksik veriler tamamlanacaktır.
- 6) Eksik rasat sayısı bir tane olduğunda ve iklim bölgesinde komşu bir istasyon olmadığı durumda bu eksik rasat bir önceki ve bir sonraki değerlerin ortalaması alınarak tamamlanacaktır. Denklem 3.1’e göre tahmin denklemi aşağıdaki gibidir:

$$ST_i = \left[\frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^2 (ST_{i-1})}{2} + \frac{\sum_{i=1}^2 (ST_{i+1})}{2} \right)}{2} \right] \quad (3.1)$$

Burada ST_i , eksik rasattır.

Eğer eksik rasat, analizde kullanılacak gözlem döneminin (1975-2018) başı ve sonunda ise sırasıyla eksik rasatın sonrası ve öncesi beş rasatın ortalaması alınarak tamamlanacaktır.

7) Eksik rasat sayısı art arda iki tane olduğunda olduğunda ve iklim bölgesinde komşu bir istasyon olmadığı durumda bu eksik rasatlar bir önceki ve bir sonraki 5 değerinin ortalaması alınarak tamamlanacaktır. Denklem 3.2'ye göre tahmin denklemi aşağıdaki gibidir:

$$ST_i = \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^5 (ST_{i-1})}{5} + \frac{\sum_{i=1}^5 (ST_{i+1})}{5} \right) / 2 \right] \quad (3.2)$$

8) Eğer eksik rasatlar, analizde kullanılacak gözlem döneminin (1975-2018) başı ve sonunda ise bu eksik veriler aynı iklim bölgesinde yer alan bir ya üç istasyon verisinin kullanılması ile tamamlanacaktır. Bu kapsamda kullanılacak üç yöntem aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1. Aritmetik Ortalama Metodu

Aritmetik ortalama metodu iklim normallerinde özellikle yağış verilerinde eksik verilerin tamamlanmasında yaygın olarak kullanılan bir metottür. En az üç komşu istasyon verisi kullanıldığında iyi sonuçlar vermektedir. Eksik gözlemi olan istasyonu (X) çevreleyen istasyonlardaki normal yıllık sıcaklıklar, X istasyonundaki normal yıllık sıcaklığın %10'u aralığında ise X istasyonundaki eksik gözlemi tahmin etmek için aritmetik ortalama metodu benimsenebilir (Paulhus ve Kohler, 1952). Bu yaklaşımın en yakın istasyonlar (mesafeye dayalı) ve en iyi korelasyonlu istasyonlar yöntemi şeklinde iki alt kategorisi vardır (Shabalala, vd., 2019). Bu araştırmada komşu istasyonların seçiminde

her iki kategoride göz önünde bulunduruldu. Denklem 3.3'e göre tahmin denklemi aşağıda verilmiştir:

$$ST_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} ST_i \quad (3.3)$$

Burada ST_x tahmin edilen değeri, ST_i i 'nci komşu istasyonun gözlemlenen sıcaklık değerini ve n , komşu istasyon sayısını ifade etmektedir.

3.1.2. Normal Oran Metodu

Aritmetik ortalamasının uygulanamadığı durumda Normal Oran Metodu kullanılabilir. Bir başka ifade ile eksik gözlemi olan istasyonu (X) çevreleyen istasyonlardaki normal yıllık sıcaklıklar, X istasyonundaki normal yıllık sıcaklığın % 10'unu aştığında X istasyonundaki eksik gözlemi tahmin etmek için normal oran metodu benimsenebilir (Paulhus ve Kohler, 1952; Singh, 1992). Bu methoda eksik değer içeren serinin aritmetik ortalaması komşu istasyonların ortalamasına oranlanarak ağırlık olarak alınır daha sonra komşu istasyon sayısına bölünerek tekrar ortalaması alınır ve eksik değer tahmin edilir (Şen, 2002: 85). Denklem 3.4'e göre tahmin denklemi aşağıda verilmiştir:

$$ST_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \left[\frac{N_x}{N_i} \right] ST_i \quad (3.4)$$

Burada ST_x tahmin edilen değeri, ST_i tahmin için kullanılan komşu istasyonun gözlemlenen sıcaklık değerini, N_x X istasyonunun normal yıllık sıcaklık değerini, N_i komşu istasyonun normal yıllık sıcaklık değerini ve n , komşu istasyon sayısını ifade etmektedir.

3.1.3. Oran-Fark Metodu

Eğer aynı iklim bölge içerisinde eksik verisi olan istasyona komşu üç istasyon verisi bulunmuyor ise komşu bir istasyon verisi kullanılarak eksik veri

tamamlanabilmektedir. Bu kapsamda Erinç (1962) tarafından sıcaklıklardaki uzun dönem ortalamalarına ilişkin eksik rasatların Oran-Fark Metodu kullanılarak tamamlanabileceği ileri sürülmüştür. Bu metodun işlem basamakları aşağıda sunulmuştur:

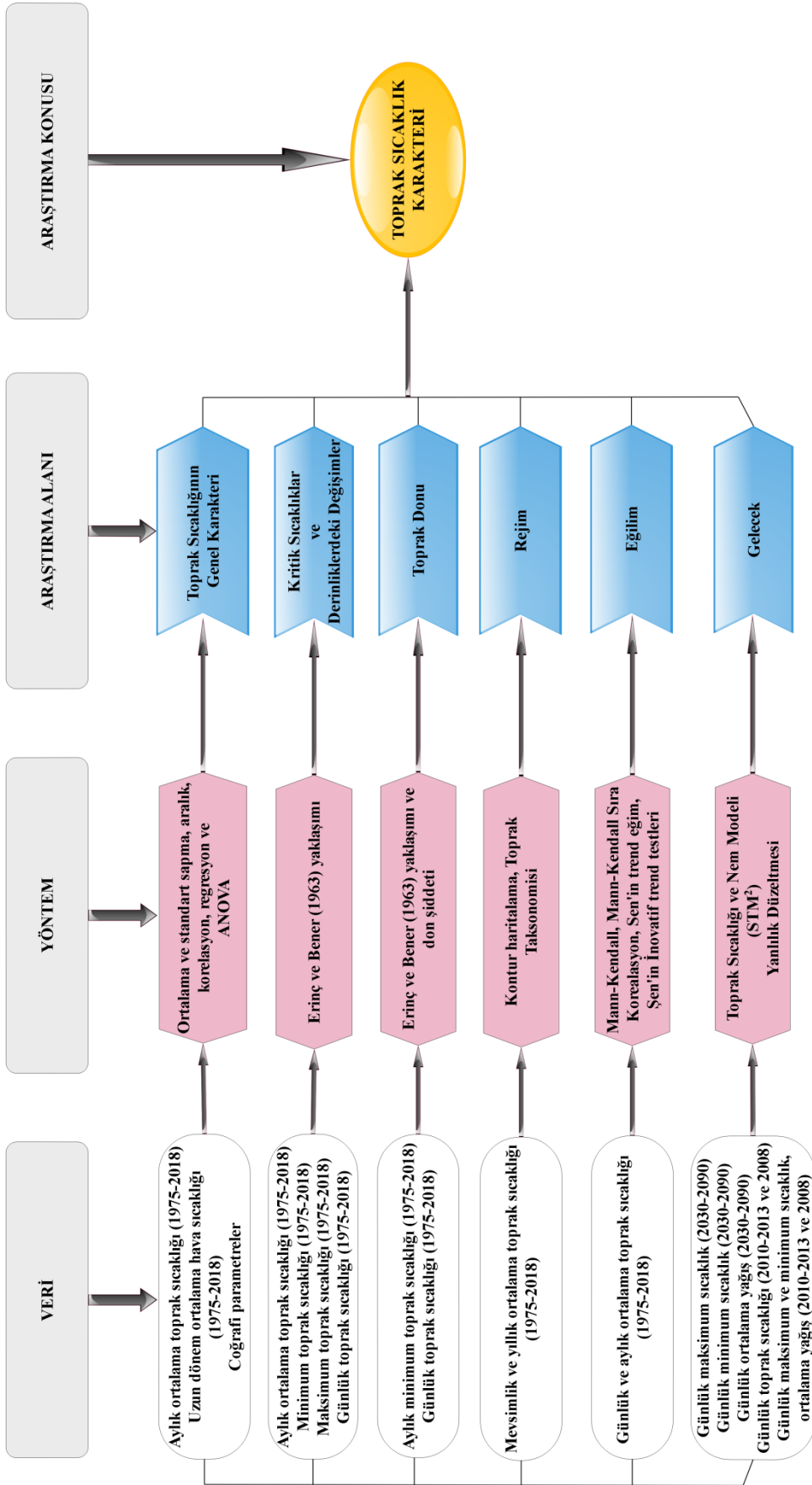
İlk aşamada her iki istasyonun aynı döneme ait genel trendi bozmayacak en az 10 yıllık veri yan yana iki sütun halinde sıralanır.

İkinci aşamada tamamlanacak istasyon verileri karşılaştırma istasyonu verilerinden çıkarılır ve aritmetik ortalaması alınır.

Üçüncü aşamada hesaplanan farkın aritmetik ortalaması işaretine bakılmaksızın karşılaştırma istasyonuna eklenerek yeni hesap değerleri elde edilir.

Son aşamada ise hesap değerlerinden oluşan bu yeni seri değil de eksik rasatlara karşılık gelen hesap değerleri eksik verilerin tamamlanmasında kullanılır (Ardel, vd., 1969; Erinç, 1962).

Eksik veri tamamlama aşamasından sonra Türkiye’de toprak sıcaklıkları alansal ve zamansal nasıl bir değişim göstermektedir? Sorusu, toprak sıcaklığının genel karakteri, kritik sıcaklıklar ve derinliklerdeki değişimler, toprak donu, toprak sıcaklık rejimi, toprak ve hava sıcaklıklarında gözlenen eğilimler ve gelecekteki olası toprak sıcaklık değişimleri alt başlıklarında bir dizi yöntem kullanılarak cevaplandırılmıştır. Anlaşılması adına bir araştırma modeli oluşturulmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Veri, yöntem, araştırma alanı ve araştırma konusunu içeren araştırma modeli.

Analiz aşamasında kullanılan metotlara ilişkin bilgiler aşağıda kısaca özetlenmiştir. Bununla birlikte burada toprak sıcaklığının genel karakteri altında kullanılan ortalama ve standart sapma istatistiği, basit lineer regresyon ve çoklu doğrusal regresyon, Spearman ya da Pearson korelasyon analizi ve Varyans Analizi (ANOVA) gibi temel istatistiksel yaklaşımlar herkesçe bilindiği için yer verilmemiştir.

3.2. Donlu Günler Sayısı ve Don Şiddet Sınıflaması

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından 2 m siper içi sıcaklığına göre bitkiler için bir don sınıflaması oluşturulmuştur. Sınıflandırma, üç sınıftan (hafif, orta ve şiddetli) oluşmaktadır. Bu sınıflamaya daha sonra çok şiddetli basamağı da eklenmiştir (Koç, 2001). Sınıflamada şiddet derecesine göre bitkide oluşabilecek zararlarda yaklaşık olarak tanımlanmıştır (Asar, vd., 2007; Giardina, vd., 2013; Romero, 2002).

3.3. Toprak Taksonomisi Termik Rejim Sınıflaması

Toprak Taksonomisi'nde 50 cm derinlikte yaz ve kış ortalama sıcaklık farkı $> 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve yıllık ortalama sıcaklık eşik kriterleri oluşturularak altı farklı ana sıcaklık rejimi tanımlanmıştır: Gelic (don), Cryic (çok soğuk), Frigid (soğuk), Mesic (orta), Thermic (termik) ve Hyperthermic (hipertermik) (Tablo 7.1). Ayrıca yaz ve kış toprak sıcaklık farkı kriter olarak alınıp iso önekli dört farklı ara/alt sıcaklık rejim sınıfı da tanımlanmıştır. Elli cm derinlikte veya yoğun (densic), litik veya daha sık paralitik bir temasta yaz ve kış toprak sıcaklık farkı $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den daha düşük olduğunda toprak sıcaklık rejimi iso öneki almaktadır. Dört farklı ara/alt sıcaklık rejim sınıfı isofrigid, isomesic, isothermic ve isohyperthermic şeklinde gruplandırılmıştır (USDA Soil Survey Staff, 2014).

3.4. Trend Testleri

Kullanılan trend testleri hakkında kısa bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.4.1. Mann Kendall Testi

Mann-Kendall (MK) testi, Mann (1945) ve Kendall (Kendall, 1975) tarafından geliştirilmiş parametrik olmayan bir testtir. Bu test klimatolojik, meteorolojik ve hidrolojik zaman serilerinde önemli eğilimlerin varlığını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Asikoglu ve Ciftlik, 2015; Kisi ve Ay, 2014; Salmi, vd., 2002).

3.4.2. Sen'in Trend Eğim Metodu

Trendlerin lineer eğimleri yani birim zamandaki değişimleri, Hintli ünlü istatistikçi Sen (1968) tarafından geliştirilen ve parametrik olmayan bir metot kullanılarak hesaplanabilmektedir.

3.4.3. Sneyers (Sıralı Mann-Kendall) Testi

Sneyers (1990) tarafından geliştirilen Sneyers testi, Mann-Kendall test istatistiğinin sıralı versiyonudur. Parametrik olmayan bu test, Mann Kendall Sıra (Mertebe) Korelasyon Testi olarak da bilinmektedir. Uygulanan zaman serilerinde zamana bağlı olarak artma veya azalma olup olmadığını bulmak için kullanılmaktadır. Test, sonuçları grafiksel olarak ifade ederken trendin başlangıç ve bitiş noktasını da belirleyebilmektedir. Bir başka deyişle trendin değişim noktası tanımlanabilmektedir.

3.4.4. Şen'in İnovatif Trend Metodu (İTM)

İTA yöntemi, ilk olarak Şen (2012) tarafından önerilmiştir. Grafiksel bir metot olup hiçbir kabule dayanmamaktadır. Grafikte 1:1(45°) çizgisinin etrafında aşırı değerlerdeki değişimler kolaylıkla izlenebilmektedir (Şen, 2012). Test daha sonra istatistiksel anlamlılığın ölçülebilmesi için geliştirilmiştir (Şen, 2017).

3.5. Toprak Sıcaklık ve Nem Modeli (STM²)

Toprak Sıcaklık Nem Modeli (STM²), Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı Tarımsal Araştırma Servisi (USDA-ARS) tarafından geliştirilmiş bir modeldir. Bu

modelde toprak sıcaklığı ve nem koşullarını simüle edilmektedir. Bunun için geliştirilmiş bir Java programı bulunmaktadır (Spokas ve Forcella, 2009).

3.6. Yanlılık Düzeltme Metotları

Model sonuçlarının tutarlılığının artırılması yani kalibre edilmesinde yanlılık düzeltmesi (YD) adı verilen bir takım metotlar kullanılmaktadır. Daha açık ifade ile YD yaklaşımı, bir referans dönemde Küresel Sirkülasyon Modelleri (GCMs) ve gözlemler arasındaki ortalama ve değişkenlik farklarını kullanarak öngörülen ham günlük model çıktısını düzeltilmesini ifade etmektedir (Navarro-Racines, vd., 2015). YD metotlarından en önemlilerini lineer ölçekleme, varyans ölçekleme, lineer regresyon, delta değişim, kuadratik (ikinci dereceden) regresyon ve dağılım haritalama oluşturmaktadır (Araghi, vd., 2019). Performans testlerinin çoğunda lineer ölçekleme ve varyans ölçeklemenin üstünlükleri ön plana çıkmaktadır (Leander ve Buishand, 2007; Lenderink, vd., 2007).

3.7. Bulgular ve Tartışma

Türkiye’de toprak sıcaklık ölçümlerinde verilerin düzenli tutulmadığı günlük kayıtlarda önemli eksik verilerin olduğu gözlenmiştir. Bazı istasyonların belirli aylara ilişkin çok az ölçüm kaydı içermesinden dolayı bu aylık seriler analizden çıkarılmış ve uzun dönem ortalamaların hesaplanmasında kullanılmamıştır. Eksik verileri olan aylık dizilerin eksik verileri çeşitli metotlar kullanılarak tamamlanmıştır. Kullanılan dört metot normal oran metodu, aritmetik ortalama metodu, oran-fark metodu ve bir önceki ve bir sonraki değerlerin ortalamasıdır. Bu yaklaşımlar Türkiye’de toprak sıcaklıklarının genel karakterini ortaya koymada kullanılan hava sıcaklık değişkenine de uygulanmış ve tüm veriler analiz öncesi kullanılabilir hale getirilmiştir.

Araştırmada kullanılan toprak sıcaklık verisi ve hava sıcaklık verisine ilişkin ayrıntılı veri kalitesinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Hava sıcaklığı verileri yanında toprak derinliklerine göre mevcut sıcaklık verilerindeki eksik verilerin boyutu ve kullanılan eksik veri tamamlama metotlarının boyutu, toplam ve oran (%) gibi ifadeler yanında oluşturulan haritalar ile ortaya konmuştur.

Ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1) 5 cm derinlikte toprak sıcaklıkların klimatolojik analizi için kullanılabilen istasyon sayısı 195'tir ve araştırmada bu istasyonlara ait veriler kullanılmıştır. Bu istasyonlardan sadece Kayseri/Tomarza istasyonunun temmuz-ekim (5 ay) aylık serisi kullanılmayacağı için analizden çıkarılmıştır. Yapılan analizlerde tüm istasyonların 2017 yılı aralık ayı ölçüm değerlerinin olmadığı gözlenmiştir. Bu nedendir ki 5 cm toprak sıcaklık verilerinde tüm istasyonlarda 1044 adet çeşitli büyüklüklerde eksik veriler tespit edilmiştir. Kısacası kullanılan 195 istasyon verisinin (aylık) yaklaşık %1.04'ünde eksik veriler bulunmaktadır. Araştırmada bu eksik verilerin yaklaşık %26, %30, %34 ve %10'u sırasıyla normal oran metodu, aritmetik ortalama metodu, oran-fark metodu ve bir önceki ve bir sonraki değerlerin ortalaması ile tamamlanmıştır.

Türkiye'de 1975-2018 periyotlu 5 cm toprak sıcaklık verisinde eksik veri sayısı (ay) çoğunlukla 1-5 ay arasında olup tüm iklim bölgelerine homojen bir şekilde yayılmıştır. Eksik verilerin önemli bir kısmı karasallığın güçlü olduğu kurak ve soğuk iklim bölgesinde toplanmıştır. Bu bölgede eksik verilerin sayısı 1-11 ay arasında değişkenlik göstermiştir (Ek 1).

Türkiye'de soğuk iklim bölgesindeki 10 cm toprak sıcaklık verisinde eksik verilerin tamamlanmasında genellikle bir önceki ve bir sonraki değerlerin ortalaması metodu ve normal oran metodu kullanılmıştır. Tüm istasyonların tamamında 2017 Aralık ayında ölçüm kaydı olmadığı için bu eksik verilerin tamamlanmasında bir önceki ve bir sonraki değerlerin ortalaması esas alınmıştır. Soğuk iklim bölgesinde 2-11 ay arasında değişkenlik gösteren eksik verilerin (ay) büyük kısmı normal oran metodu kullanılarak tamamlanmıştır. Trakya kesiminde ise eksik verilere değer atamada oran-fark metodu dışında diğer üç metot da kullanılmış olup 2-23 aylık eksik verilerin tamamlanmasında normal oran metodu kullanılmıştır (Ek 2).

Genel olarak değerlendirildiğinde 5 cm derinlikte toprak sıcaklıklarının veri kalitesi diğer derinliklere göre daha iyidir. Bu durum 5 cm derinlikte toprak sıcaklıklarının hem alansal hem de zamansal çözünürlüğünün daha yüksek olması dolayısıyla daha doğru bilgilere ulaşılması anlamına gelmektedir.

2) 10 cm derinlikte toprak sıcaklıkların klimatolojik analizi için kullanılacak istasyon sayısı 194'dır ve araştırmada bu istasyonlara ait veriler kullanılmıştır. Bu istasyonların 71'inde özellikle kış aylarına ilişkin 164 aylık seri analizden çıkarılmıştır. Yapılan analizlerde 167 istasyonda çeşitli büyüklükte eksik veriler olup sadece 22 istasyonda eksik veri bulunmamaktadır. Yani kullanılan istasyon sayısının %11.34'ünde eksik veri bulunmamakta olup 194 istasyon verisinin (aylık) yaklaşık %1,60'ında eksik veriler tespit edilmiştir. Araştırmada bu eksik verilerin yaklaşık %34, %24, %25 ve %17'si sırasıyla normal oran metodu, aritmetik ortalama metodu, oran-fark metodu ve bir önceki ve bir sonraki değerin ortalaması ile tamamlanmıştır.

Türkiye'de 1975-2018 periyotlu 10 cm toprak sıcaklık verisinde eksik veri içermeyen ölçümlerin neredeyse tamamı denizelliğin güçlü olduğu Akdeniz iklimi ile temsil edilen ılıman iklim bölgesinde toplanmıştır. Eksik verilerin önemli bir kısmı karasallığın güçlü olduğu kurak ve soğuk iklim bölgesinde toplanmıştır. Bu bölgede eksik verilerin sayısı 2-23 ay arasında değişkenlik göstermiştir. Aylık serilerdeki önemli eksiklikler soğuk iklim bölgesi ve kurak iklim bölgesi genelinde kış mevsiminde özellikle ocak ve şubat aylarında (OŞ) gözlenmiştir. Bu veri kayıpları Türkiye'nin kuzeydoğusu ve güneydoğusuna doğru gidildikçe artmıştır: Ocak ve şubattan mart ve aralık aylarına doğru artan bir ölçüm eksikliği gözlenmiştir (Ek 3). Özellikle veri kalitesinin iyice bozulduğu ve toprak klimatolojisi analizinde kullanılamayacak durumda olan bu ocak, şubat, mart ve aralık aylarına ilişkin verilerin tamamı soğuk iklim bölgesindeki meteoroloji istasyonlarında tespit edilmiştir.

Türkiye'de soğuk iklim bölgesindeki 10 cm toprak sıcaklık verisinde eksik verilerin tamamlanmasında genellikle normal oran metodu ve bir önceki ve bir sonraki değerlerin ortalaması metodu kullanılmıştır. Türkiye'nin Erzurum-Kars-Ardahan Platosu olarak tanımlanan kuzeydoğu Anadolu bölgesinde 10 cm derinlikteki toprak sıcaklıklarındaki eksik verilerin tamamlanmasında ortalama sapma güçlü olduğu için sadece normal oran metodu kullanılmıştır. Türkiyenin en kuzeybatısındaki Trakya kesiminde ise tespit edilen eksik toprak sıcaklık verilerine değer ataması bir önceki ve bir sonraki değerlerin ortalaması metodu dışında diğer üç metot kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu üç metot arasında en çok ağırlıklı ortalama metodu kullanılmıştır (Ek 4).

Genel olarak değerlendirildiğinde 10 cm derinlikte toprak sıcaklıklarının veri kalitesi diğer derinliklere göre daha düşüktür. Bu durum 10 cm derinlikte toprak sıcaklıkların hem alansal hem de zamansal çözünürlüğünün daha düşük olmasına dolayısıyla daha doğru bilgilere ulaşılamamasının önünde en büyük güçlük olduğu anlamına gelmektedir.

3) 20 cm derinlikte toprak sıcaklıkların klimatolojik analizi için kullanılacak istasyon sayısı 192'dir ve araştırmada bu istasyonlara ait veriler kullanılmıştır. Bu istasyonların 50'sinde özellikle kış aylarına ilişkin 129 aylık seri analizden çıkarılmıştır. Yapılan analizlerde 163 istasyonda çeşitli büyüklükte eksik veriler olup sadece 29 istasyonda eksik veri bulunmamaktadır. Kullanılan istasyon sayısının %15.10'unda eksik veri bulunmamakta olup 192 istasyon verisinin (aylık) yaklaşık %1,79'ünde eksik veriler tespit edilmiştir. Araştırmada bu eksik verilerin yaklaşık %30, %21, %30 ve %19'unda sırasıyla normal oran metodu, aritmetik ortalama metodu, oran-fark metodu ve bir önceki ve bir sonraki değerlerin ortalaması ile tamamlanmıştır.

Türkiye'de 1975-2018 periyotlu 20 cm toprak sıcaklık verisinde eksik veri içermeyen ölçümlerin neredeyse tamamı ve bir aylık eksik veriler ılıman iklim bölgesinde toplanmıştır. Eksik verilerin önemli bir kısmı karasallığın güçlü olduğu kurak ve soğuk iklim bölgesinde yoğunlaşmıştır. Bu bölgelerde eksik verilerin sayısı genellikle 6-23 ay arasında değişkenlik göstermiştir. Aylık serilerdeki önemli eksiklikler, soğuk iklim bölgesi genelinde kış mevsiminde özellikle ocak ve şubat aylarında (OŞ); kurak iklim bölgesinde ise şubat ayında gözlenmiştir. Türkiye'nin doğusu ve kuzeydoğusuna doğru gidildikçe bu veri eksikliğinin boyutu artmıştır ki ocak-şubattan ocak-şubat-mart ve aralık aylarına doğru artan bir ölçüm eksikliği gözlenmiştir. Özellikle veri kalitesinin iyice bozulduğu ve toprak klimatolojisi analizinde kullanılmayacak durumda olan bu ocak, şubat, mart ve aralık aylarına ilişkin verilerin tamamı, soğuk iklim bölgesindeki meteoroloji istasyonlarında tespit edilmiştir. Soğuk iklim bölgesinden farklı olarak kurak iklim bölgesinde yer alan istasyonların sadece şubat ayında önemli veri kayıpları gözlenmiştir. İlıman iklim bölgesinde, Muğla/Yatağan istasyonu ocak, şubat ve aralık ayı hariç, eksik verilerden kaynaklı kullanılmayacak aylık seriler gözlenmemiştir (Ek 5).

Türkiye’de soğuk iklim bölgesindeki 20 cm toprak sıcaklık verisinde eksik verilerin tamamlanmasında ağırlıklı olarak dört metot da kullanılmıştır. Oran-fark metodu 23 ay üzeri eksik veriler için uygulanmamıştır. Türkiye’nin kuzeydoğu Anadolu bölgesinde 20 cm derinlikteki toprak sıcaklıklarındaki eksik verilerin tamamlanmasında normal oran metodu ve bir önceki ve sonraki değerlerin ortalaması birlikte kullanılmıştır. Türkiye’nin en kuzeybatısındaki Trakya kesiminde ise tespit edilen eksik toprak sıcaklık verilerine değer ataması normal oran metodu, aritmetik ortalama metodu ve oran-fark metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Ek 6).

Genel olarak değerlendirildiğinde 20 cm derinlikte toprak sıcaklıklarının veri kalitesi 10 cm verilerine göre biraz daha iyi olsa da hem alansal hem de zamansal tutarlılık açısından benzerdir.

4) 50 cm derinlikte toprak sıcaklıkların klimatolojik analizi için kullanılacak istasyon sayısı 163’tür ve araştırmada bu istasyonlara ait veriler kullanılmıştır. Bu istasyonların 21’inde özellikle kış aylarına ilişkin 57 aylık seri analizden çıkarılmıştır. Yapılan analizlerde 121 istasyonda çeşitli büyüklükte eksik veriler olup sadece 42 istasyonda eksik veri bulunmamaktadır. Yani kullanılan istasyon sayısının %25.77’sinde eksik veri bulunmamakta olup 163 istasyon verisinin (aylık) yaklaşık %1,26’sında eksik veriler tespit edilmiştir. Araştırmada bu eksik verilerin yaklaşık %34, %18, %27 ve %20’sinde sırasıyla normal oran metodu, aritmetik ortalama metodu, oran-fark metodu ve bir önceki ve bir sonraki değerlerin ortalaması ile tamamlanmıştır.

Türkiye’de 1975-2018 periyotlu 50 cm toprak sıcaklık verisinde eksik veri içermeyen ölçümler tüm iklim bölgelerine homojen bir şekilde dağılmıştır. Eksik verilerin önemli bir kısmı soğuk iklim bölgesinde toplanmıştır. Bu bölgede eksik verilerin sayısı oldukça değişkenlik göstermiştir. Aylık serilerdeki önemli eksiklikler soğuk iklim bölgesinde kış mevsiminde özellikle ocak, şubat ve mart aylarında (OŞM) gözlenmiştir. Burada şubat ayındaki veri kayıpları bölge geneline yayılmıştır. Türkiye’nin kuzeydoğusu ve güney doğusuna doğru gidildikçe veri eksikliğinin boyutu artmıştır (Ek 7).

Türkiye’de soğuk iklim bölgesindeki 50 cm toprak sıcaklık verisinde eksik verilerin tamamlanmasında genellikle normal oran metodu ve bir önceki ve bir sonraki değerlerin

ortalaması metodu kullanılmıştır. Türkiye'nin Erzurum-Kars-Ardahan Platosu olarak tanımlanan kuzeydoğu Anadolu bölgesinde 50 cm derinlikteki toprak sıcaklıklarındaki eksik verilerin tamamlanmasında normal oran metodu kullanılmıştır. Türkiye'nin en kuzeybatısındaki Trakya kesiminde ise tespit edilen eksik toprak sıcaklık verilerine değer ataması, bir önceki ve bir sonraki değerlerin ortalaması metodu dışında diğer üç metot kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu üç metot arasında en çok ağırlıklı ortalama metodu kullanılmıştır (Ek 8).

Genel olarak değerlendirildiğinde 50 cm derinlikte toprak sıcaklıklarının veri kalitesi 10 ve 20 cm derinliklere göre daha iyidir. Bu durum 50 cm derinlikte toprak sıcaklıklarının hem alansal hem de zamansal çözünürlüğünün daha yüksek olmasına dolayısıyla daha doğru bilgilere ulaşılmasına önemli bir katkı sunmaktadır.

5) 100 cm derinlikte toprak sıcaklıklarının klimatolojik analizi için kullanılacak istasyon sayısı 159'dur ve araştırmada bu istasyonlara ait veriler kullanılmıştır. Bu istasyonların 5'inde özellikle kış ve yaz aylarına ilişkin 7 aylık seri analizden çıkarılmıştır. Yapılan analizlerde 128 istasyonda çeşitli büyüklükte eksik veriler olup sadece 31 istasyonda eksik veri bulunmamaktadır. Kullanılan istasyon sayısının %19.50'sinde eksik veri bulunmamakta olup 159 istasyon verisinin (aylık) yaklaşık %1,29'unda eksik veriler tespit edilmiştir. Araştırmada bu eksik verilerin yaklaşık %30, %20, %33 ve %17'sinde sırasıyla normal oran metodu, aritmetik ortalama metodu, oran-fark metodu ve bir önceki ve bir sonraki değerlerin ortalaması ile tamamlanmıştır.

Türkiye'de 1975-2018 periyotlu 100 cm toprak sıcaklık verisinde eksik veri içeren ve içermeyen ölçümler tüm iklim bölgelerine homojen bir şekilde dağılmıştır. Bu bölgelerde eksik verilerin sayısı oldukça değişkenlik göstermiştir. Aylık serilerdeki önemli eksiklikler soğuk iklim bölgesinin güneydoğusunda şubat, mart ve aralık ayı (ŞMA) dışında temmuz ve ağustos aylarında gözlenmiştir. Bu veri kayıpları bölge geneline yayılmayıp yereldir (Ek 9).

Türkiye'de soğuk iklim bölgesinde 100 cm derinlikteki toprak sıcaklık verilerinde eksik verilerin tamamlanmasında genellikle normal oran metodu ve oran-fark metodu kullanılmıştır. Türkiye'nin kuzeydoğu Anadolu bölgesinde 100 cm derinlikteki toprak

sıcaklıklarındaki eksik verilerin tamamlanmasında normal oran metodu ve bir önceki ve bir sonraki değerin ortalaması birlikte kullanılmıştır. Türkiyenin en kuzeybatısındaki Trakya kesiminde ise tespit edilen eksik toprak sıcaklık verilerine değer ataması dört metot kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Ek 10).

Genel olarak değerlendirildiğinde 100 cm derinlikte toprak sıcaklıkların veri kalitesi 10 cm, 20 cm ve 50 cm derinliklere göre daha iyidir. Bu durum 100 cm derinlikte toprak sıcaklıkların hem alansal hem de zamansal çözünürlüğünün daha yüksek olmasına dolayısıyla daha doğru bilgilere ulaşılmasına önemli bir katkı sunmaktadır.

6) Hava sıcaklıkların klimatolojik analizi için kullanılacak ve araştırmada kullanılan istasyon sayısı 163'tür. Bu istasyonların hiçbirinde aylık seri analizden çıkarılmamıştır. Yapılan analizlerde 52 istasyonda çeşitli büyüklükte eksik veriler olup 111 istasyonda eksik veri bulunmamaktadır. Yani kullanılan istasyon sayısının %68.10'unda eksik veri bulunmamakta olup 163 istasyon verisinin (aylık) yaklaşık %0.27'sinde eksik veriler tespit edilmiştir. Araştırmada bu eksik verilerin yaklaşık %35, %16, %25 ve %22'sinde sırasıyla normal oran metodu, aritmetik ortalama metodu, oran-fark metodu ve bir önceki ve bir sonraki değerin ortalaması ile tamamlanmıştır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

TOPRAK SICAKLIĞININ GENEL KARAKTERİ

Toprak sıcaklığını etkileyen faktörleri coğrafik ve iklimsel etmenler, edafik etmenler, bitki örtüsü ve antropojenik etmenler şeklinde gruplayabiliriz. Coğrafi etmenleri enlem, boylam, yükselti, eğim ve bakı etmenleri; iklimsel etmenleri başta hava sıcaklığı ve yağış dışında güneşlenme süresi, nem, rüzgâr, atmosfer basıncı gibi meteorolojik etmenler; edafik etmenleri toprağın yapısını oluşturan tekstür, mineraller ve organik madde oluşturmaktadır. Antropojenik etmenler ise toprak sıcaklığı rejimlerini optimize etmek için kullanılan malçlar, toprak işleme, insan kaynaklı mikro topoğrafya değişiklikleri, renk değişimleri ve toprak su rejimi değişikliklerine karşılık gelmektedir (Wierenga, vd., 1982) denilebilir.

Türkiye’de toprak sıcaklığını etkileyen etmenler çeşitli istatistiksel yöntemler ile ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda toprak sıcaklığı ile çeşitli, coğrafik, iklimsel ve edafik parametreler arasındaki ilgi ve bağlantılar korelasyon ve regresyon analizleri ile ortaya konulmaya çalışılmıştır (Tablo 1). Farklı zamansal ve mekânsal ölçeklerde yapılmış 19 çalışmada bu etmenler hakkında şunu söyleyebiliriz ki Türkiye genelinde toprak sıcaklığını etkileyen birincil etmen ya da parametre hava sıcaklığıdır. Türkiye’de hava sıcaklığı dışında özellikle ilkbahar ve sonbahar da yağış ve güneşlenme süresinin de toprak sıcaklığını önemli ölçüde etkilediği ortaya konulmuştur. Bu ilişki, İç Anadolu Bölgesi’nde ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde yüksek olmakla birlikte bu durumun görülmesinde bu bölgelerin bitki örtüsü açısından zayıf olmasının da etkili olduğu öne sürülmektedir.

İklimsel etmenler dışında Türkiye’de toprak sıcaklık dağılışını coğrafi etmenler de etkilemektedir. Türkiye ölçeğinde ve belirli bölgeler özelinde enlem, yükselti ve karasallığın toprak sıcaklık dağılışını etkilediği ortaya konmuştur (Tablo 1). Özellikle Yeşilirmak Havzası özelinde enlem ve yükselti ile toprak sıcaklığı arasında önemli yüksek bir ilişki tespit edilmiştir (Cıba, 2019). Toprak sıcaklığını yerel ölçekte kentleşmenin de etkilediği ileri sürülmektedir ki Ankara bölgesinde kentsel ve kırsal alanları temsil eden istasyonlar arasında günlük (gece-gündüz) toprak sıcaklıklarındaki değişimlerin büyüklüklerinde farklılıklar gözlenmiştir (Turkoglu, 2010). Çukurova bölgesinde toprak

sıcaklıkları ile mikrobiyal aktivite arasında da önemli bir ilişki tespit edilmiştir (Zengin, vd., 2008).

Türkiye’de toprak sıcaklığı ve toprak sıcaklığını etkileyen etmenler hakkında en çok çalışılan alan ve en çok görüş bildirilen bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesi ya da Güneydoğu Anadolu Proje bölgesidir (İçel ve Ataol, 2011; Tonkaz, vd., 2007). Bu bölgede toprak sıcaklığını etkileyen ana etmen hava sıcaklığı olmakla birlikte tarım alanlarındaki sulamanın da toprak sıcaklığını denetlediği denemeler ile test edilmiştir (Çetin, 2020).

Türkiye’de toprak sıcaklığını etkileyen etmenleri odak noktasına alan ve alt amaç edinen araştırmaların ağırlıklı 2000’li yıllarda fen bilimleri altındaki disiplinler tarafından yapıldığı görmekteyiz. Bu çalışmalarda, seçili araziler çıplak arazilerin aksine otlu arazilerdir. İzlenen yaklaşımda, kontrollü saksı ya da parsel deneme yöntemi ile çeşitli malç malzemeleri ve solarizasyon uygulaması ile Ts değişimi izlenmekte ve bu değişimlerin üretim miktarları ile ilişkisi ortaya konmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1

İstatistiksel analizlere dayalı toprak sıcaklığını etkileyen etmenleri inceleyen çalışmaların özeti

Yazarlar	Lokasyon	Teknik	Çalışmanın Amacı	Ts'yi Etkileyen Etmen/ler
Acaröz (1960)	Türkiye	Tanımsal istatistikler	Ts değişimi (aylık ve yıllık)	Enlem, yükselti ve karasalılık
Cıba (2019)	Yeşilirmak Havzası	Tanımsal istatistikler, Pearson korelasyon	Ts-coğrafik, topografik ve bazı toprak değişkenleri ilişkisi*	Enlem ve yükselti
Çetin (2020)	Diyarbakır	Deneme	Pamuk bitkisinde sulama-Ts ve biomass ilişkisi	Sulama
Çolakoğlu (2009)	Aydın	Çoklu regresyon analizi	Zeytin üretimi-iklim ilişkisi	Karasallık
Erinç ve Bener (1963)	Türkiye	Tanımsal istatistikler	Ts değişimi (aylık ve yıllık)	Enlem, yükselti ve karasalılık
Erol (2016)	Konya/Kumar	Katmanlı, Noktasal 1 ve Noktasal 2 yöntemini	Ts-bitki örtüsü ilişkisi, Ts tahmini	Sulama ve bitki örtüsü
İçel ve Ataoğlu (2011)	Güneydoğu Anadolu Bölgesi	En Küçük Kareler, Pearson korelasyon, ANOVA	Ts-hava sıcaklığı trendi	Hava sıcaklığı
İçel ve Ataoğlu (2013)	Türkiye	En Küçük Kareler, Pearson korelasyon	Ts-hava sıcaklığı ilişkisi	Hava sıcaklığı
Koçar, vd. (2006)	İzmir	Deneme uygulaması	Malç malzemesi ve solanizasyon uygulamaları-Ts ve diğer parametrelere etkisi	Malç ve solanizasyon uygulaması
Kutlu (2013)	Samsun/Bafra	Tanımsal istatistikler, Pearson korelasyon	Ts-meteoroloji elemanları ilişkisi	Hava sıcaklığı, nem, yağış, güneşlenme süresi, rüzgâr, açık hava basıncı ve buharlaşma
Öndeş (2013)	Van	Mann-Kendall testi ve Pearson korelasyon	Ts değişimleri, Ts-hava sıcaklığı ilişkisi	Hava sıcaklığı
Özbek, vd. (2014)	Adana	Deneme	Malçlama-Ts değişimleri	Malçlama
Polat, vd. (2017)	Yalova	Deneme uygulaması	Malç malzemesi ve solanizasyon uygulamalarında gövde çürüklüğü ilişkisi	Malç ve solanizasyon uygulaması
Salemdawod (2017)	İstanbul/Silivri/Akören	Yapay Sınır Ağları	Toprak üstü sıcaklıkların (5 cm) modellenmesi	Hava sıcaklığı ve su
Tonkaz, vd. (2007)	Güneydoğu Anadolu Proje Bölgesi	Mann-Kendall testi, Lineer Regresyon	Ts-hava sıcaklığı ilişkisi	Hava sıcaklığı
Turktoğlu (2014)	Ankara	Mann-Kendall testi, Sentin eğim tahmin metodu (1968), Fark istatistiği	Ts-kentleşme ilişkisi	Kentleşme
Yeşilirmak (2014)	Büyük Menderes Havzası	Pearson korelasyon	Ts trendleri	Hava sıcaklığı, yağış ve güneşlenme süresi
Yüksel (1985)	Türkiye	Pearson korelasyon	Ts-meteoroloji elemanları ilişkisi	Hava sıcaklığı, yağış, güneşlenme süresi ve bitki örtüsü
Zengin, vd. (2008)	Adana Çukurova Üniversitesi Kampüsü	CO ₂ respirasyon	Akasya topraklarının karbon mineralizasyonu	Mikrobiyal aktivite

Türkiye, mevsimselliğin güçlü olduğu orta enlemde yer almakta olup yaz ve kış döneminde tropikal ve kutbi hava kütlelerinin etkisindedir. Üç tarafı (batı-kuzey ve güneyi) denizlerle çevrili olup kuzey ve güneyinde kıyıya paralel uzanan 3000 m'yi aşan sıradağlar yer almaktadır. Yükseltisi, çevre kıtaların ortalama yükseltisinden daha fazladır ve ülke arazisinin akarsular tarafından derince yarılması nedeniyle kısa mesafede eğim koşulları değişmekte olup tüm bu etmen ve koşullara bağlı olarak toprağın en önemli fiziki parametresi olan toprak sıcaklığı da değişmektedir.

Türkiye toprak sıcaklığının genel karakterinin belirleneceği bu bölümde amaç toprak sıcaklığının alansal-zamansal değişim örüntüsünü ortaya koymak ve bu kapsamda ülkemiz topraklarının envanterini çıkarmaktır.

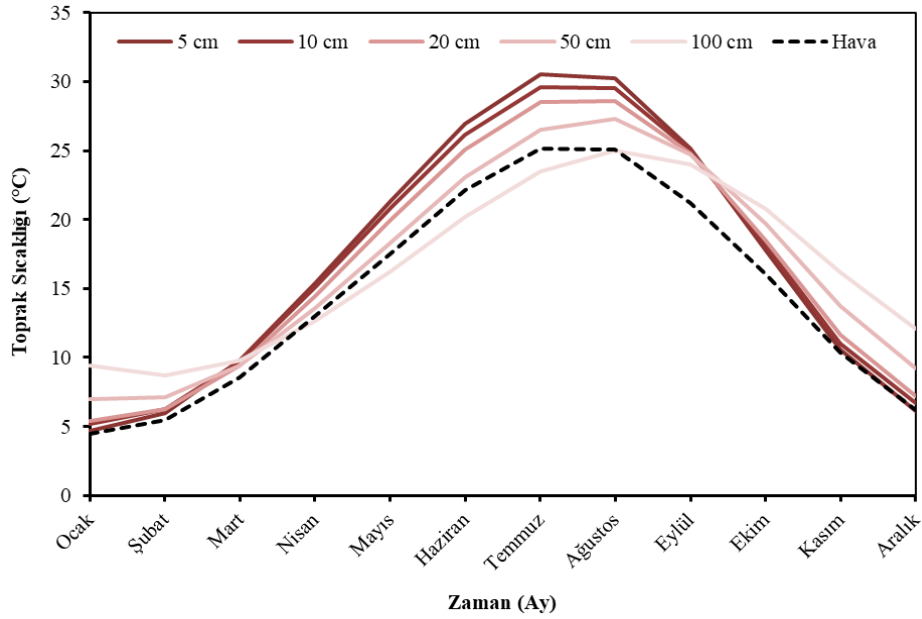
4.1. Veri ve Yöntem

Türkiye topraklarının aylık ve yıllık ortalama sıcaklıklarında gözlemlenen değişimler dört aşamalı bir yaklaşımla ortaya konulmuştur. *İlk aşamada*, toprak sıcaklıklarının aylık ve uzun döneme ilişkin genel karakterinin ortaya konulmasında dünyada en yaygın kullanılan merkezi eğilim ölçüsü *ortalama* ve değişim ölçüsü *standart sapma* ve *aralık* istatistiği kullanılmıştır. *İkinci aşamada*, coğrafi parametrelerin (enlem, boylam, yükselti, eğim ve bakı) 50 cm derinlikteki toprak sıcaklığının alansal-zamansal değişimi üzerindeki etkisinin anlaşılması için bir takım korelasyon analizleri (Pearson ya da Spearman Rank) ve basit regresyon analizleri yapılmıştır. Burada bakı da K ve G yönleri ele alınmıştır. Böylelikle toprak sıcaklığı ile coğrafi etmenler arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. *Üçüncü aşamada*, 50 cm derinlikte hava sıcaklığı ile toprak sıcaklıklarının uzun dönem ortalamaları arasındaki ilişki korelasyon testleri ile analiz edilerek alansal örüntü ortaya konulmuştur. *Son aşamada* ise hangi derinlikler arasında toprak sıcaklıklarında önemli farklılıkların gözlemlendiği ve hava sıcaklığının hangi derinliklerdeki toprak sıcaklıkları ile farklılık gösterdiği Kruskal-Wallis testi ve Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir.

4.1.1. Toprak Sıcaklıklarına İlişkin Tanıtıcı İstatistikler

Bu bölümde toprak sıcaklığının genel karakterini açıklamada toprak sıcaklığının ortalama durumu ve değişimi (standart sapma), açıklanmıştır. Bu kapsamda 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinliklerde olmak üzere aylık ve yıllık ortalama toprak sıcaklıklarının ve hava sıcaklıklarının alansal ve zamansal değişimi grafik ve haritalarla ortaya konulmuştur.

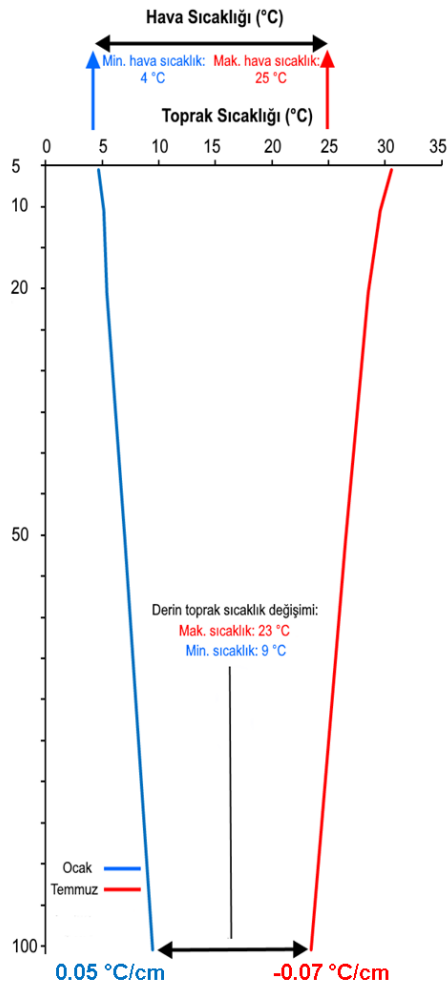
Türkiye’de aylık ortalama toprak ve hava sıcaklıklarının yıl içindeki değişimi birbirine benzer olmasına rağmen sıcaklık büyüklüklerinde ve sıcaklık gecikmelerinde küçük farklılıklar bulunmaktadır. Ortalama toprak sıcaklığı hava sıcaklığından 2 °C daha yüksektir. 100 cm derinlikteki toprak sıcaklıklarının aylık değişkenliği azalmakta ve en düşük sıcaklıklar sığ toprak katmanındakinin aksine ocaktan şubata kaymaktadır. Hava sıcaklıklarında en yüksek sıcaklıklar temmuz ayında iken toprak katmanında 10 cm derinlikten sonra ağustos ayına kaymaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Türkiye’de toprak sıcaklıklarının aylık değişimi.

Türkiye’de ortalama olarak sıcak dönemde (temmuz) hava sıcaklıkları maksimum 25 °C iken, soğuk dönemde (ocak) minimum 4 °C’ye düşmektedir. Bu ekstrem (aşırı) değerler, toprak katmanlarında daha yüksek olup yüzeyin 5 cm altında sıcak dönemde

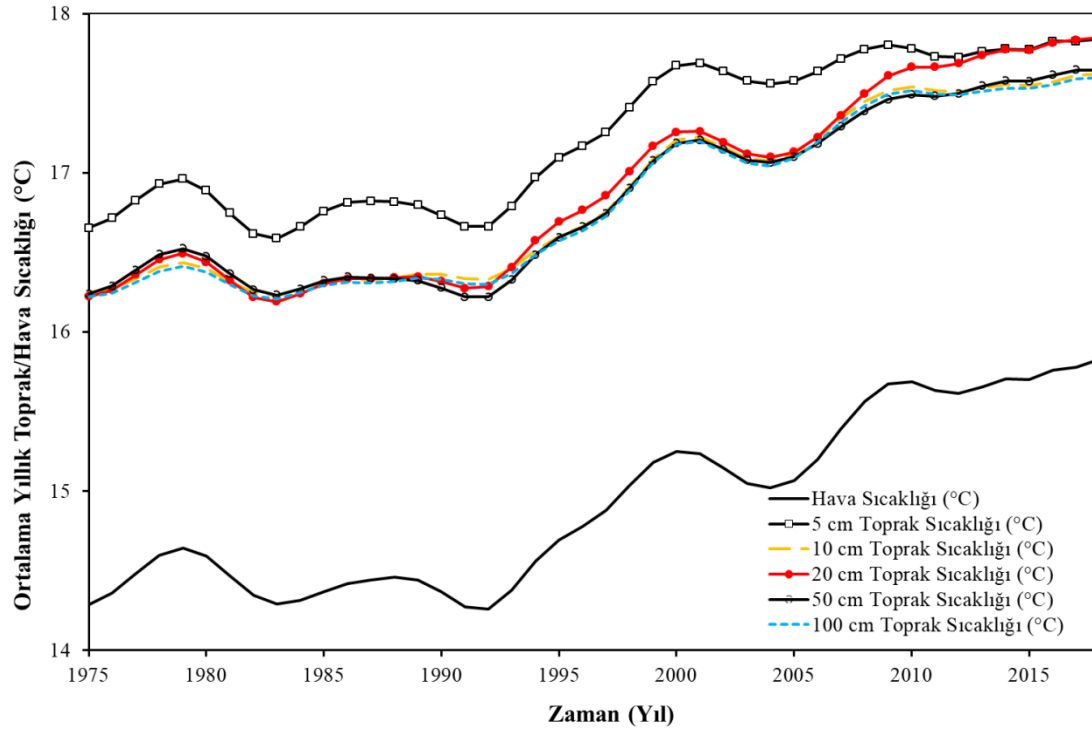
toprak sıcaklıkları 30 °C'nin üstüne çıkmaktadır. Daha derin katmanlara değin, 20 cm'ye kadar, bu değışimler azalmakla birlikte hava sıcaklık değışimlerinden halen yüksektir. Toprak sıcaklık değelerindeki bu değışim 20 cm derinlikten sonra hava sıcaklıklarına nazaran düşmekte olup 100 cm derinlikte ölçülen sıcaklıklar ise sadece 9 °C ile 23 °C arasında değışmektedir. Sonuç olarak, 20 cm derinlikten sonra, atmosferik sıcaklıkların toprak sıcaklıkları üzerindeki etkisi daha zayıftır ve sıcak ve soğuk dönem sıcaklıkları arasındaki fark azalmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Türkiye'de sıcak (temmuz) ve soğuk dönemde (ocak) toprak sıcaklıklarının değışimi.

1975-2015 döneminde yıllık ortalama toprak ve hava sıcaklık örüntüsü birbirine benzemektedir. Bu örüntüde 1990 yılından bu yana, Türkiye genelinde hem yıllık ortalama hava sıcaklığı hem de yıllık ortalama toprak sıcaklığı artmaktadır. Toprak sıcaklıklarındaki

artış tüm toprak katmanlarında gözlenmektedir. Bu dönem boyunca, yıllık ortalama hava sıcaklığı, tüm yıllık ortalama toprak sıcaklıklarından daha düşük kalmıştır. Hava ile 5 cm toprak katmanı arasındaki sıcaklık farkı pozitiftir (Şekil 4).



Şekil 4. Dokuz-noktalı Gauss süzgeci ile düzgünleştirilen ortalama toprak ve hava sıcaklık dizisinin zamansal değişimi (Türkiye).

Türkiye’de karasallığın etkili olduğu bölgelerde kış mevsimi 10 cm ve 20 cm toprak sıcaklıklarında önemli eksikliklerin olmasından kaynaklı haritalar yapılamamıştır. Kapalı eğrilerin oluşabilmesi yani alansal örüntünün anlaşılması bakımından sadece 5 cm derinlikteki toprak sıcaklığının uzun dönem ortalama, minimum, maksimum ve standart sapma değişimleri haritalandırılmıştır. Ulaşılan sonuçlara göre ortalama en yüksek toprak sıcaklık değerleri 22.8 °C ile Mersin/Erdenli başta olmak üzere Akdeniz kıyıları ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde görülmektedir (Şekil 5). 22-23 °C değer aralığının denizelliğin güçlü olduğu Çukurova ve Akdeniz kıyılarına ek olarak karasallığın güçlü olduğu Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde de gözlenmesinde enlem dışında topoğrafya ve basınç sistemlerinin bileşik etkisi vardır. Bölgenin kuzeyinde uzanan Güneydoğu Torosların kışın kuzeyden gelen etkili olan soğuk hava sokulumunu engellemesi ve Muson

Dolaşımı'nın uzantısı olan kuru ve sıcak karakterli Basra Alçak Basıncı'nın bölgede egemen olması bunda etkilidir.

18-21 °C aralığındaki toprak sıcaklıklarının dağılışı alanı yer şekillerin kontrolündedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz ve Ege bölgelerinde geniş alana yayılan 20-21 °C sıcaklık aralığı Akdeniz kıyılarında daha dar şeritlerde uzanmaktadır. Bu yüksek sıcaklıklar Ege Bölgesi'nde iç kesimlere doğuya doğru uzanan grabenler boyunca genişlemiş olup enleme bağlı olarak kuzeye gidildikçe azalmıştır (Şekil 5).

Türkiye'de en geniş yayılışı alanına sahip toprak sıcaklık aralığı 14-15 °C'dir. Bu sıcaklık aralığı İç Anadolu Bölgesi'nde egemen olup ayrıca Batı ve Orta Karadeniz Bölümü ile Marmara Bölgesi'nde Yıldız Dağları Bölümü üzerinde de görülmektedir (Şekil 5).

12-13 °C ve daha düşük toprak sıcaklık basamakları dağların yüksek kesimlerinde ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde yaygınlık göstermektedir. Aynı şekilde Doğu Anadolu'ya doğru gidildikçe karasallık ve yükseltinin etkisiyle yıllık ortalama toprak sıcaklık değerleri düşmektedir. Bölgenin en doğusunda yer alan Iğdır Ovası'nda ise toprak sıcaklığının 17 °C'ye yükseldiği görülmektedir. En düşük sıcaklıklar, 6.6-9 °C sıcaklık basamağı ile kuzeydoğu Anadolu'da Erzurum-Kars-Ardahan Platosu'nda izlenmektedir (Şekil 5).

Ortalama toprak sıcaklıklarının alansal örüntüsü minimum ve maksimum toprak sıcaklıklarının örüntüsü ile tutarlıdır. Ordinary Kriging (OK) interpolasyon sonuçlarına göre ortalama **minimum toprak sıcaklık değerleri** 0.31-20 °C arasında değişiklik göstermektedir. En yüksek yıllık ortalama minimum toprak sıcaklık değerleri 19.7 °C ile Mersin/Erdemli istasyonu başta olmak üzere Akdeniz kıyılarında; en düşük yıllık ortalama minimum toprak sıcaklık değerleri 0.2 °C ile Ardahan istasyonu başta olmak üzere kuzeydoğu Anadolu'da görülmektedir. Ortalama **maksimum toprak sıcaklık değerleri** 10.8-26.5 °C arasında değişiklik göstermektedir. En yüksek yıllık ortalama maksimum toprak sıcaklık değerleri 26.5 °C ile Alanya istasyonu başta olmak üzere Akdeniz kıyılarında; en düşük yıllık ortalama minimum toprak sıcaklık değerleri 10.8 °C ile Kars/Sarıkamış istasyonu başta olmak üzere kuzeydoğu Anadolu'da görülmektedir (Şekil 5).

Toprak sıcaklık değerlerinin normallerinden sapma başka deyişle toprak sıcaklık varyasyonu (değişimi) standart sapma istatistiği ile tanımlanmıştır. 5 cm derinlikteki toprak sıcaklığının interpolasyon sonuçlarına göre standart sapma 1.5-2.0 °C arasında değişmektedir (15.84 ±1.75) (şekil 5). Bu durumda Türkiye arazisinin yarısından fazlasında toprak sıcaklıklarının 15.84 °C ile 17.59 °C arasında olduğu görülmektedir.

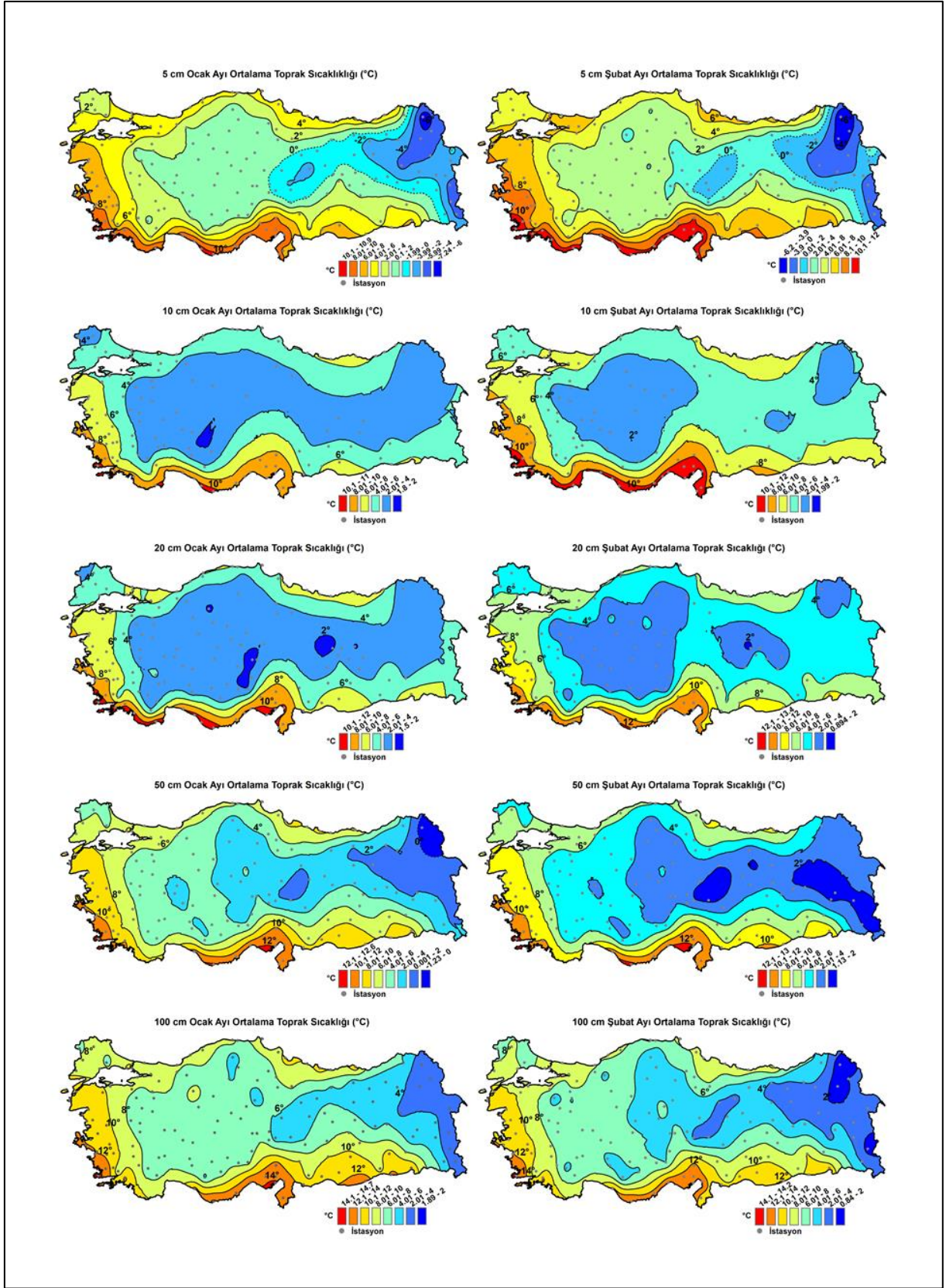
Toprak sıcaklıklarındaki değişimi etkileyen en büyük etmen karasallıktır: İç Anadolu Bölgesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde standart sapmanın 1.70 °C'nin üzerinde olduğu bölgelere karşılık gelmektedir. Toprak sıcaklıklarında en düşük değişim, güneybatı Anadolu ve batı Karadeniz kıyılarında bulunmaktadır. En yüksek değişim, 2.30 °C ile kuzeydoğu Anadolu'da Ardahan istasyonunda; en düşük değişim, 1.32 °C ile Akdeniz kıyısında Manavgat istasyonunda görülmektedir (şekil 5).

Marmara Bölgesi, **KB:** Karadeniz Bölgesi, **İAB:** İç Anadolu Bölgesi, **DAB:** Doğu Anadolu Bölgesi, **GAB:** Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ni gösterir.

Aylık ortalama toprak sıcaklıklarının değişimi şu şekildedir: **Ocak ayında**, 5 cm derinlikte toprak sıcaklıkları Türkiye genelinde -7°C ile 11°C arasında değişkenlik göstermekte olup bu fark derinlik arttıkça azalmaktadır. En yüksek sıcaklıklar güneybatı Akdeniz kıyıları (11°C) ve Ege ($8-10^{\circ}\text{C}$) kıyılarında görülür. Karadeniz kıyılarında toprak sıcaklıkları yaklaşık $5-6^{\circ}\text{C}$ 'dir. İç kesimlere gidildiğinde denizel etkinin kırılması karasallığın artışı ile sıcaklık 0°C 'nin altına düşer ve en düşük değerlere -7°C 'nin altında olmak üzere kuzeydoğu Anadolu'da erişilir. Toprak derinliği arttıkça sıcaklık artmaktadır. Ardahan'da derinliğe bağlı toprak sıcaklığı oldukça değişkendir ki 5 cm ve 50 cm arasında sıcaklık farkı -6°C 'dir. Bu seviyede don olayı, İç Anadolu Bölgesinin doğu kesimi ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde egemendir. 10 ve 20 cm derinlikte sıcaklıklar birbirine benzerdir. 5 cm derinlikte 4°C izotermin yerini 10 ve 20 cm derinliklerde 2°C izoterminin alması ve derinlik arttıkça 2°C izoterminin iç kesimlere çekilmesi 0°C izoterminin İç Anadolu Bölgesi'nden çıkıp Doğu Anadolu Bölgesine kaydığına işaret etmektedir. 5 cm derinlikten 10 cm ve 20 cm derinliklere geçişte yaklaşık 1°C 'lik sıcaklık artışı vardır. Bu artış Akdeniz kıyılarında belirsiz olup Ergene Havzası'nda belirgindir. Grafıksel sonuçlara göre donlu seviyenin 50 cm derinliğe kadar devam etmesi 10 cm ve 20 cm derinliklerde de donlu koşulların görüldüğünü göstermektedir. Bu seviyelerde donun özellikle kuzeydoğu Anadolu'da Erzurum-Kars-Ardahan Platosu'na çekildiği muhtemeldir. 20 cm derinlikte toprak ısınmasının devam ettiği görülmektedir. 50 cm derinliğe gelindiğinde Doğu Karadeniz kıyıları (Bafra ve Çarşamba ovaları hariç) hariç toprak ısınması devam etmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki ovalarda, Akdeniz kıyıları ve Ege kıyıları ile Ergene Havzası'nda bu ısınmalar dikkat çekicidir. 5 cm derinliklere göre bu seviyelerde sıcaklıklar $2-3^{\circ}\text{C}$ daha yüksek olup 100 cm derinliklerde de toprak ısınması devam etmektedir. 100 cm derinlikte Türkiye'nin hiçbir bölgesinde don seviyesi yoktur. Dahası 10 cm, 20 cm ve 50 cm derinliklerde İç Anadolu Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesini kaplayan 4°C izotermi 100 cm derinlikte Doğu Anadolu Bölgesinin doğusuna kadar çekilmektedir. 5 cm ve 50 cm derinliklere göre bu seviyelerde sıcaklıklar sırasıyla yaklaşık 5°C ve 2°C daha yüksektir (Şekil 6).

Şubat ayında, Türkiye genelinde toprak sıcaklıkları ocak ayına göre yükselmiştir ve 5 cm derinlikte şubat ayında toprak sıcaklıkları -6°C ile 12°C arasında değişkenlik

göstermekte olup bu fark derinlik arttıkça azalmaktadır. En yüksek sıcaklıklar Akdeniz kıyıları (11-12 °C) ve Ege (9-11 °C) kıyılarında görülür. Karadeniz kıyılarında sıcaklık 6-7 °C olup Doğu Karadeniz kıyıları daha sıcaktır. İç kesimlere gidildiğinde denizel etkinin kırılması karasallığın artışı ile sıcaklık 0 °C'nin altına düşer ve en düşük değerlere -6 °C'nin altında olmak üzere kuzeydoğu Anadolu'da erişilir. Bu seviyede don olayı, İç Anadolu Bölgesinin doğu kesimi ve Doğu Anadolu Bölgesi'nin doğu yarısında egemendir. 10 ve 20 cm derinlikte sıcaklıklar birbirine benzer ancak 5 cm derinlikten 10 cm ve 20 cm derinliklere geçişte 0.3 °C'lik bir sıcaklık artışı vardır. 50 cm derinlikte Doğu Anadolu'da 2 °C izoterminin iyice doğuya yerleşmesi donlu seviyenin 50 cm derinliğe kadar ulaşamadığını 10 cm ve 20 cm derinliklerde don seviyesinin kuzeydoğu Anadolu'ya çekildiğine işaret etmektedir. 50 cm derinlikte Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki ovalarda, Akdeniz kıyıları ve Ege kıyıları ile Ergene Havzası'nda ısınmalar dikkat çekmektedir. 5 cm derinliklere göre bu seviyelerde sıcaklıklar 1-1.5 °C daha yüksektir. 100 cm derinliklerde de toprak ısınması devam etmektedir. Dahası 10 cm, 20 cm ve 50 cm derinliklerde İç Anadolu Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesini kaplayan 4 °C izotermi 100 cm derinlikte Doğu Anadolu Bölgesine kadar çekilmektedir. 5 cm ve 50 cm derinliklere göre bu seviyelerde sıcaklıklar sırasıyla yaklaşık 3 °C ve 2 °C daha yüksektir (Şekil 6).

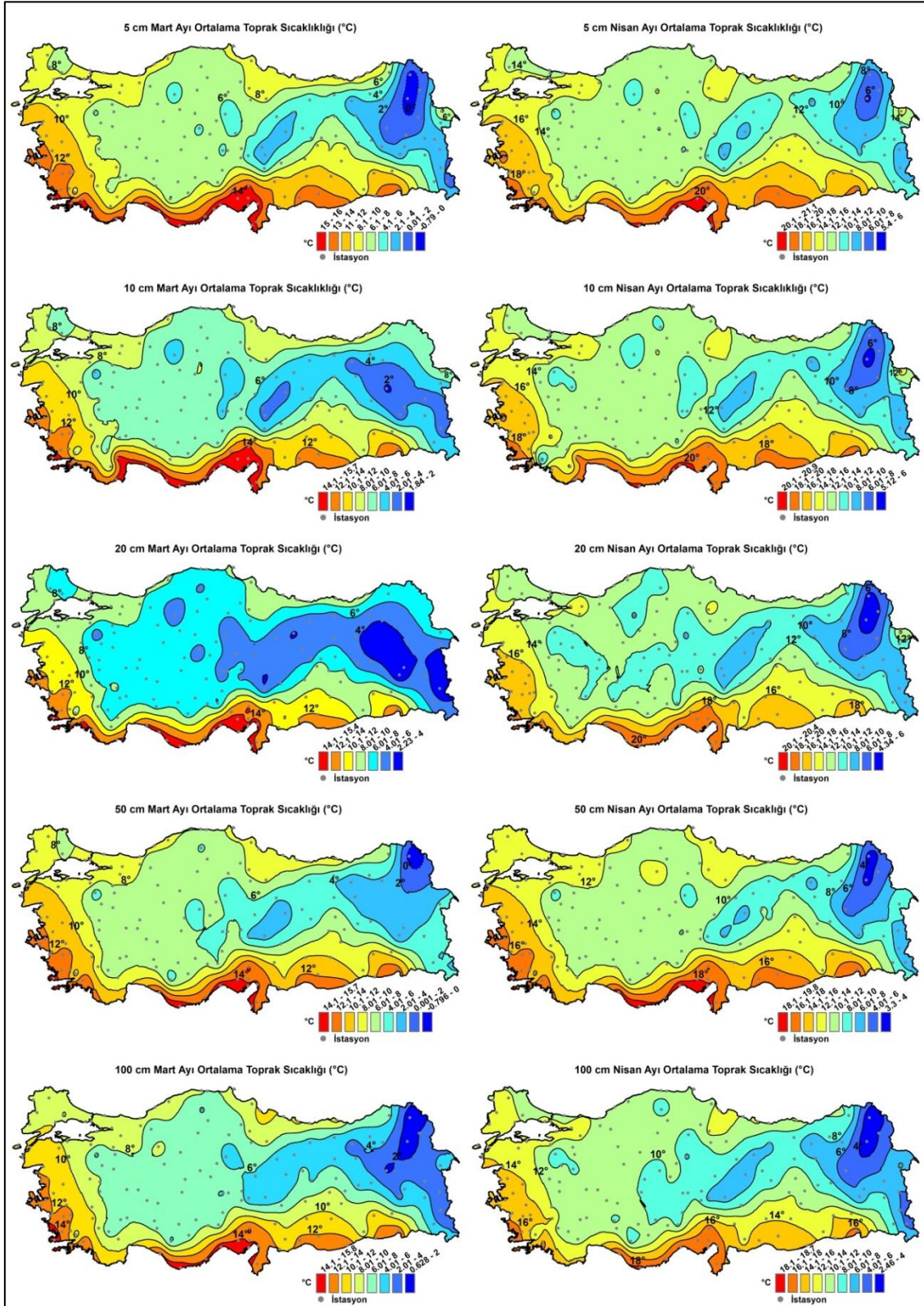


Şekil 6. Türkiye’de ocak ve şubat ayında ortalama toprak sıcaklığı (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinlikte).

Mart ayında, 5 cm derinlikte Türkiye genelinde toprak sıcaklıkları $-0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişkenlik göstermektedir. En yüksek sıcaklıklar Akdeniz kıyıları ($15\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve Ege ($12\text{ }^{\circ}\text{C}$) kıyılarında görülür. Karadeniz kıyılarında sıcaklık yaklaşık $9-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. İç kesimlere gidildiğinde denizel etkinin kırılması karasallığın artışı ile $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşer ve en düşük değerlere $-0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında olmak üzere Ardahan çevresinde erişilir. Bu seviyede don olayı, Ardahan ve Sarıkamış çevresinde egemen olmakla birlikte don 50 cm'ye kadar görülmektedir. 5 cm derinlikten 100 cm derinliğe doğru gidişte genel ortalama önemli bir değişim olmamakla birlikte 50 cm derinliğe kadar sıcaklıklar azalmaktadır. Buna karşın bölgesel değişimlerde vardır: Trakya ve kuzeydoğu Anadolu sığ katmanlara göre (5-20 cm) derin katmanlarda (100 cm) hafif bir ısınma vardır. Kıyılardaki, özellikle Çukurova'daki, soğuma da dikkat çekicidir (Şekil 7).

Nisan ayında, 5 cm derinlikte Türkiye genelinde toprak sıcaklıkları $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişkenlik göstermekte ve bu fark derinlikle birlikte artmaktadır ve en yüksek sıcaklıklar Akdeniz ($21\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve Ege ($17\text{ }^{\circ}\text{C}$) kıyılarında görülür. Karadeniz kıyılarında sıcaklık yaklaşık $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. İç kesimlere gidildiğinde denizel etkinin kırılması karasallığın artışı ile $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar düşer ve en düşük değerlere $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında olmak üzere Sarıkamış çevresinde erişilir. Bu nedenle mart ayından nisan ayına geçişte artık don seviyesine rastlanmaz. 5 cm derinliklere göre 20 cm ve 50 cm seviyelerde sıcaklıklar yaklaşık $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ daha düşüktür. Bu seviyelerdeki soğuma Trakya, güney Marmara kıyıları, Akdeniz kıyılarında (özellikle Çukurova'da) ve Iğdır ovasında belirgindir. 50 cm'den sonra en düşük değerler biraz daha kuzeye kaymakta olup en soğuk bölge Ardahan'dır. Ardahan'da derinliğe bağlı toprak sıcaklığı oldukça değişkendir: 5 cm ve 50 cm arasında sıcaklık farkı $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'yi geçer. Don koşullarının ortadan kalkmasının da etkisiyle ocak ayına göre toprak sıcaklıklarında belirgin bir artış vardır. Isınma kıyılara nispeten karasal bölgelerde özellikle 5 cm derinlikte kuvvetlidir. Şöyleki 5 cm derinlikte Karadeniz kıyılarında ocak ve nisan toprak sıcaklık ortalamaları arasındaki fark $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, Akdeniz kıyılarında $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ karasal iç bölgelerde $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Akdeniz kıyıları ile iç bölgelerde daha derin katmanlarda bu sıcaklık farkı azalmaktadır. Esasen ocak-nisan ayları arasında toprak sıcaklıklarındaki hem yatay hem de dikeydeki bu değişim şunu göstermektedir ki Akdeniz kıyıları-iç bölgeler ile Karadeniz kıyıları iki farklı sıcak sahayı göstermektedir. Tüm kıyılarda 20 cm ve 50 cm toprak sıcaklıkları arasındaki fark $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındadır. Özellikle

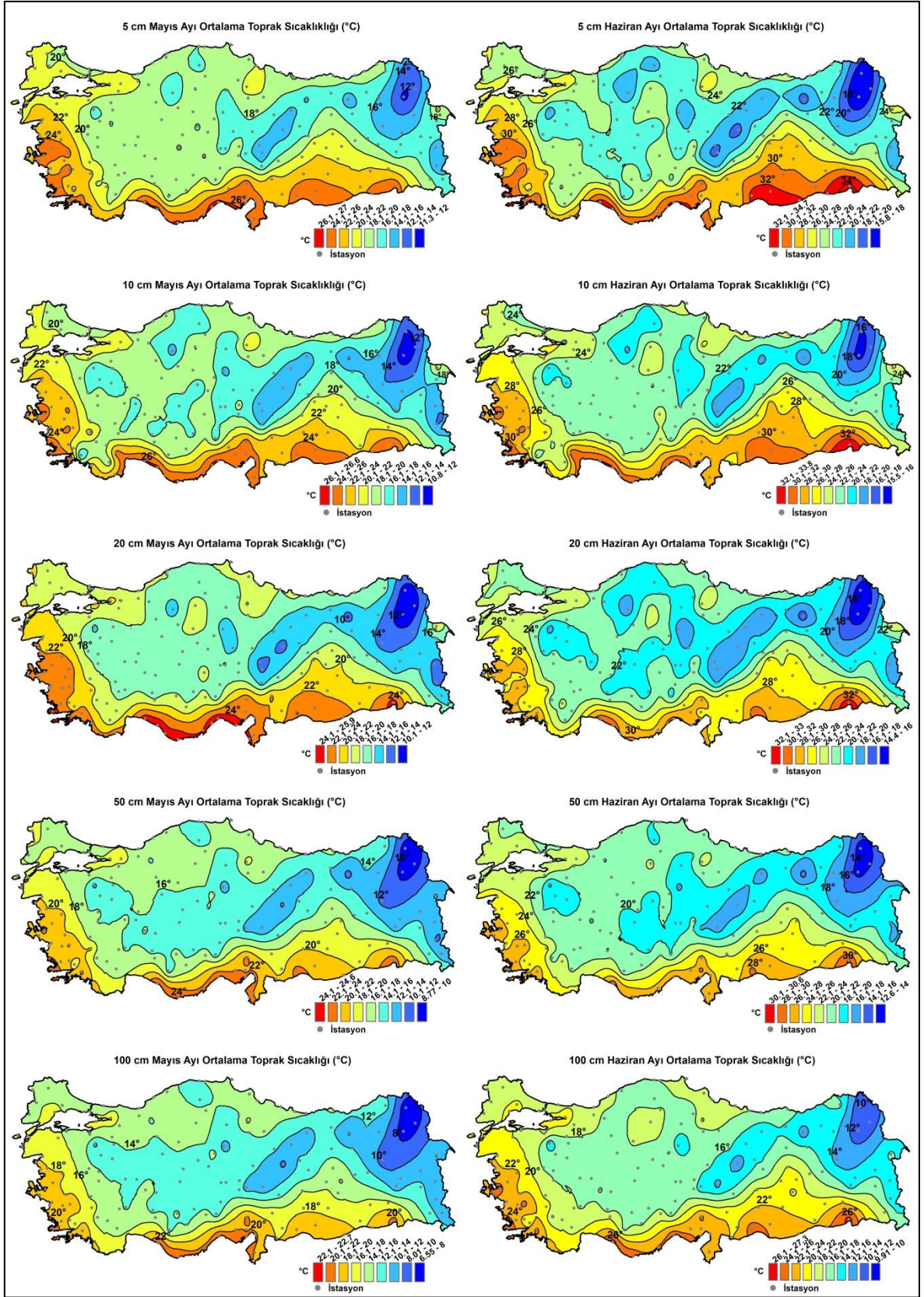
Akdeniz kıyılarında bu seviyelerde toprak sıcaklıkları birbirine benzemekte olup sıcaklık farkı 0.5 °C'dir (Şekil 7).



Şekil 7. Türkiye’de art ve nisan ayında ortalama toprak sıcaklığı (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinlikte).

Mayıs ayında, 5 cm derinlikte Türkiye genelinde toprak sıcaklıkları 11 °C ile 27 °C arasında değişkenlik göstermektedir. Bu fark derinlikle birlikte pek değişmemektedir ve en yüksek sıcaklıklar Çukurova (27 °C) ve Ege (24 °C) kıyılarında görülür. Karadeniz kıyılarında sıcaklık yaklaşık 20 °C'dir. İç Anadolu Bölgesi'ne gidildiğinde Karadeniz kıyılarına nispeten toprak sıcaklıklarında fazla bir düşme gerçekleşmez (1-2 °C). 5 cm derinlikte en düşük değerler Sarıkamış, Ardahan, Kars çevresinde görülmekle birlikte Sarıkamış çevresinde sıcaklıklar 12 °C'nin altındadır. Daha derinlerde 50 cm derinlikte ise sıcaklıklar Ardahan ve Sarıkamış'ta 9 °C'nin altına düşmektedir. 5 cm derinliklere göre 50 cm seviyelerde sıcaklıklar yaklaşık 3 °C daha düşüktür. Bu seviyelerdeki soğuma Trakya, güney Marmara kıyıları ve Iğdır ovasında belirgindir. En düşük toprak sıcaklık değerlerinin görüldüğü kuzeydoğu Anadolu'da her 10 cm'de bir sıcaklıklar yaklaşık 0.5 °C düşmektedir. Sığ katmanlarda toprak sıcaklıklarının değişiminde yükseltinin etkisi görülür iken derin katmanlarda toprak sıcaklıklarının değişiminde birlikte enlemin etkisi ön plana çıkmaktadır ki 50-100 cm derinliklerde en düşük sıcaklıklar Sarıkamış bölgesinden Ardahan bölgesine kaymıştır (Şekil 8). Ardahan'da 5 cm ve 50 cm arasında sıcaklık farkı 3.5 °C'dir. Karasal bölgelerde özellikle 5 cm derinlikte nisan ayında başlayan ve mayıs ayında devam eden ısınma sürmekte olup kıyılar (özellikle Karadeniz kıyıları) ile iç kesimler arasında sıcaklık farklarının azalması kuvvetlenerek devam etmektedir.

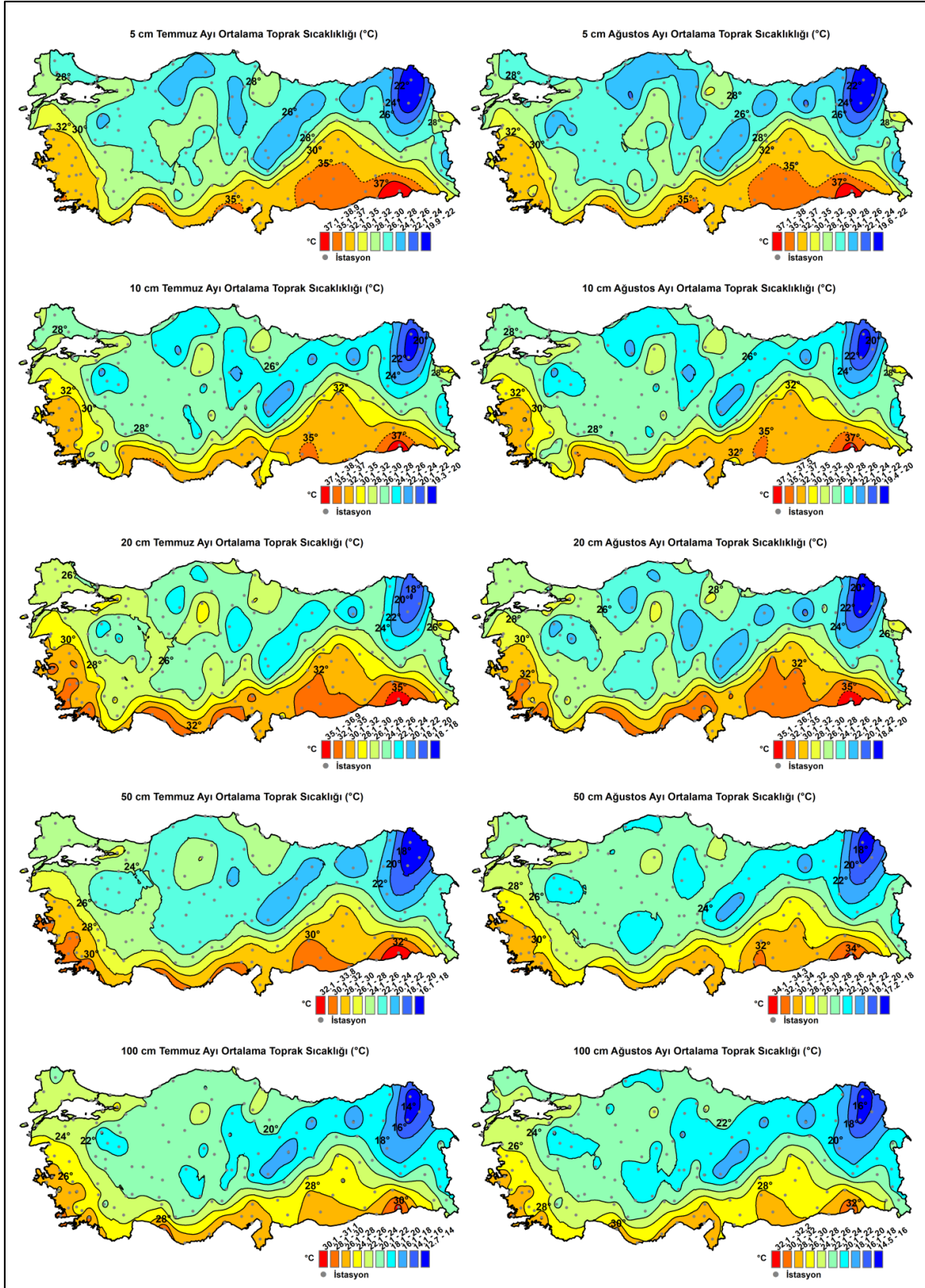
Haziran ayında, 5 cm derinlikte Türkiye genelinde toprak sıcaklıkları 16 °C ile 35 °C arasında değişkenlik göstermektedir. 5 cm derinliklere göre 50 cm seviyelerde sıcaklıklar yaklaşık 4 °C daha düşüktür ve en yüksek sıcaklıklar Güneydoğu Anadolu Bölgesi (33 °C) ve Akdeniz kıyılarında (32 °C) görülür. Cizre'de sıcaklıklar 34 °C'nin üstünde, Karadeniz kıyılarında ise sıcaklık yaklaşık 25 °C olup iç kesimlere gidildiğinde sıcaklıklar 19 °C'ye kadar düşer ve en düşük değerlere 16 °C'nin altında olmak üzere Sarıkamış çevresinde erişilir (Şekil 8). En düşük toprak sıcaklık değerlerinin görüldüğü kuzeydoğu Anadolu'da her 10 cm'de bir sıcaklıklar yaklaşık 0.7 °C düşmektedir. Ardahan'da 5 cm ve 50 cm arasında sıcaklık farkı mayıs ayına göre biraz artmış olup 4 °C'dir.



Şekil 8. Türkiye’de mayıs ve haziran ayında ortalama toprak sıcaklığı (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinlikte)

Temmuz ayında, 5 cm derinlikte Türkiye genelinde toprak sıcaklıkları 20 °C ile 39 °C arasında değişmektedir. Türkiye genelinde 5 cm derinliklere göre 50 cm seviyelerinde sıcaklıklar yaklaşık 4 °C daha düşüktür ve en yüksek sıcaklıklar Güneydoğu Anadolu Bölgesi (37 °C) ve Akdeniz kıyılarında (36 °C) görülürken Cizre’de sıcaklıklar yaklaşık 39 °C’dir. Karadeniz kıyılarında sıcaklık yaklaşık 25 °C olup topoğrafyanın alçaldığı Orta Karadeniz Bölümü’nde sıcaklıkların yükseldiği (29 °C) görülmektedir. Bu bölümde sıcaklık haziran ayına göre 3 °C artmıştır ve ısınma 50 cm’e kadar belirgindir. İç kesimlere gidildiğinde sıcaklıklar yaklaşık 24 °C’ye kadar düşer ve en düşük değerler yaklaşık 20 °C ile Ardahan ve Sarıkamış çevresinde görülür. (Şekil 9). Bitki hayatı açısından olumsuz koşullar yaratan 35 °C ve üstü sıcaklık kuşağı, Güneydoğu Toroslar hariç Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin neredeyse tamamını ve Çukurova’yı kısmen kaplamaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde 35 °C ve üstü olan sıcaklıklar 20 cm derinliğe kadar etkili olabilmektedir. En sıcak bölge ve en soğuk bölge aynı boylam üzerindedir. Kuzeye doğru gidildikçe her 1° enlemde toprak sıcaklıkları 4.7 °C azalmaktadır. En düşük toprak sıcaklık değerlerinin görüldüğü kuzeydoğu Anadolu’da her 10 cm’de bir sıcaklıklar yaklaşık 0.8 °C düşmektedir. Türkiye genelinde olduğu gibi Ardahan’da derinlikle birlikte sıcaklık azalmış olup 5 cm ile 50 cm arasında ki sıcaklık farkı 4 °C’dir.

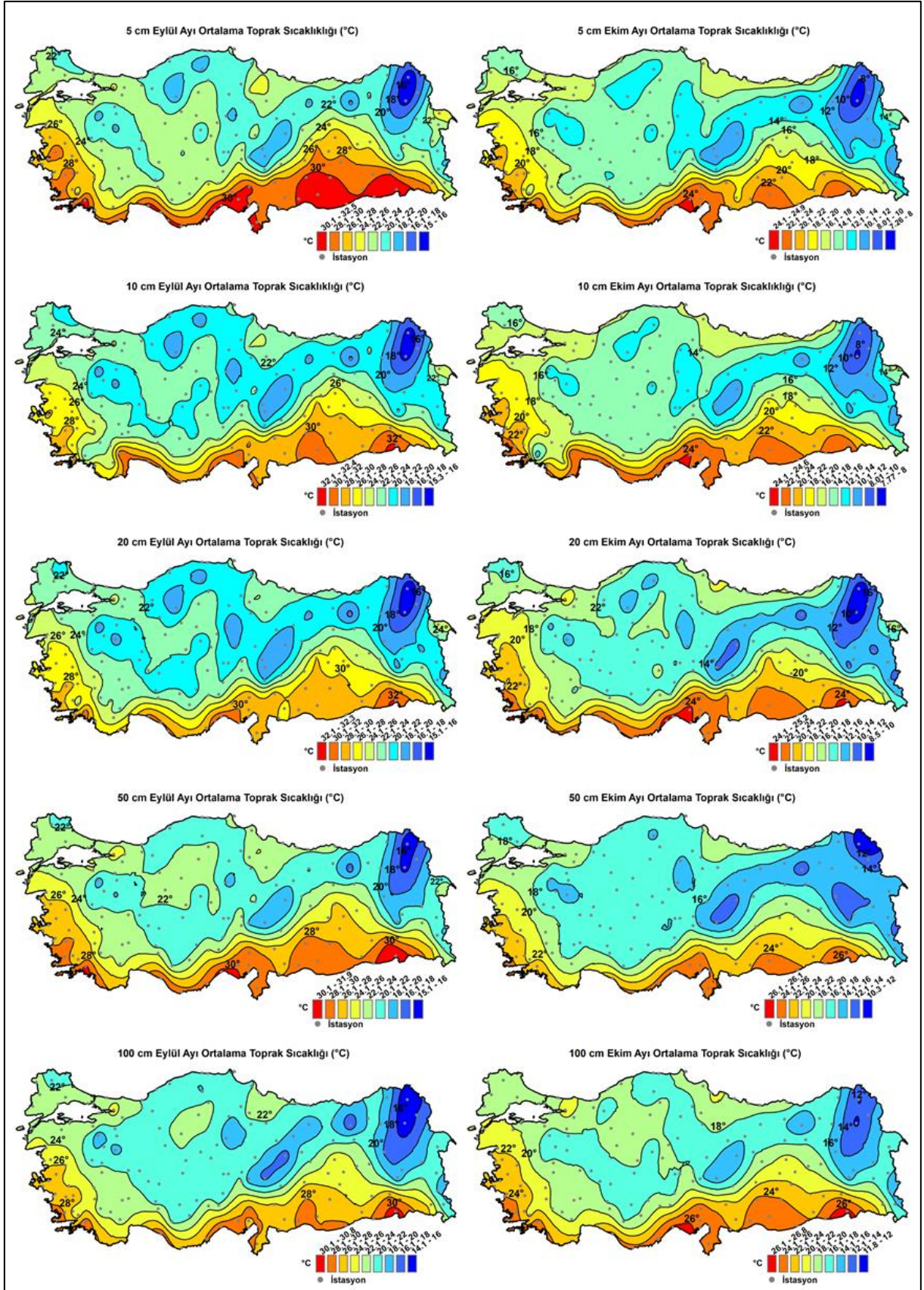
Ağustos ayında, 5 cm derinlikte Türkiye genelinde toprak sıcaklıkları 20 °C ile 38 °C arasında değişmektedir ve Türkiye genelinde 5 cm derinliklere göre 50 cm seviyelerindeki sıcaklıklar yaklaşık 3 °C daha düşüktür. Temmuz ayında olduğu gibi en yüksek sıcaklıklar Güneydoğu Anadolu Bölgesi (35 °C) ve Akdeniz kıyılarında (35 °C) görülür. Cizre’de ise sıcaklıklar en yüksek olup yaklaşık 38 °C’dir. Karadeniz kıyılarında yaklaşık 26 °C olan sıcaklıkların topoğrafyanın alçaldığı Orta Karadeniz Bölümü’nde yükseldiği (29 °C) görülmektedir. Temmuz ayına göre ağustos ayında Türkiye’nin doğu yarısında sığ toprak katmanında hafif bir ısınma vardır. Çukurova ‘da 5 cm derinlikteki toprak katmanında bu ısınma 0.5 °C’dir. Kıyılardan iç kesimlere gidildiğinde sıcaklıklar 24 °C’ye kadar düşer ve en düşük değerler yaklaşık 20 °C ile Ardahan ve Sarıkamış çevresinde görülür. (Şekil 9). Bitki hayatı açısından olumsuz koşullar yaratan 35 °C ve üstü sıcaklık kuşağı, temmuzda olduğu gibi Güneydoğu Toroslar hariç Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin neredeyse tamamını ve Çukurova’yı kısmen kaplamaktadır. Bitki hayatı açısından olumsuz koşullar özellikle yazın etkili olan kuru ve sıcak karakterli Basra Alçak Basıncı’nın kontrolünde oluşmaktadır.



Şekil 9. Türkiye’de temmuz ve ağustos ayında ortalama toprak sıcaklığı (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinlikte).

Eylül ayında, Türkiye genelinde toprak sıcaklıklarında belirgin bir düşüş görülmektedir ki 5 cm derinlikteki toprak sıcaklıkları bir önceki aya göre ortalama 5 °C düşmüştür ve temmuz ayına nispeten eylülde sığ ve derin toprak katmanlarındaki sıcaklıklar sırasıyla ortalama 5 °C ve 1 °C azalmıştır. Türkiye genelinde 5 cm derinlikte toprak sıcaklıkları 15 °C ile 33 °C arasında değişmektedir. Ayrıca bölgesel farklılıklar olmakla birlikte 5 cm derinliklere göre 50 cm seviyelerde sıcaklıklar yaklaşık 0.5 °C daha düşüktür. En yüksek sıcaklıklar Güneydoğu Anadolu Bölgesi (30 °C) ve Akdeniz kıyılarında (30 °C) görülür iken Cizre’de sıcaklıklar yaklaşık 32 °C’yi bulur. Karadeniz kıyılarında sıcaklıklar yaklaşık 23 °C olup coğrafi bölümler arasında bir farklılık görülmemektedir: Topoğrafyanın alçaldığı Orta Karadeniz Bölümü’nde ise sıcaklıklar 24 °C’dir. Kıyılardan iç kesimlere gidildiğinde sıcaklıklar 19 °C’ye kadar düşer ve en düşük değerler yaklaşık 15 °C ile Ardahan ve Sarıkamış çevresinde görülür. (Şekil 10).

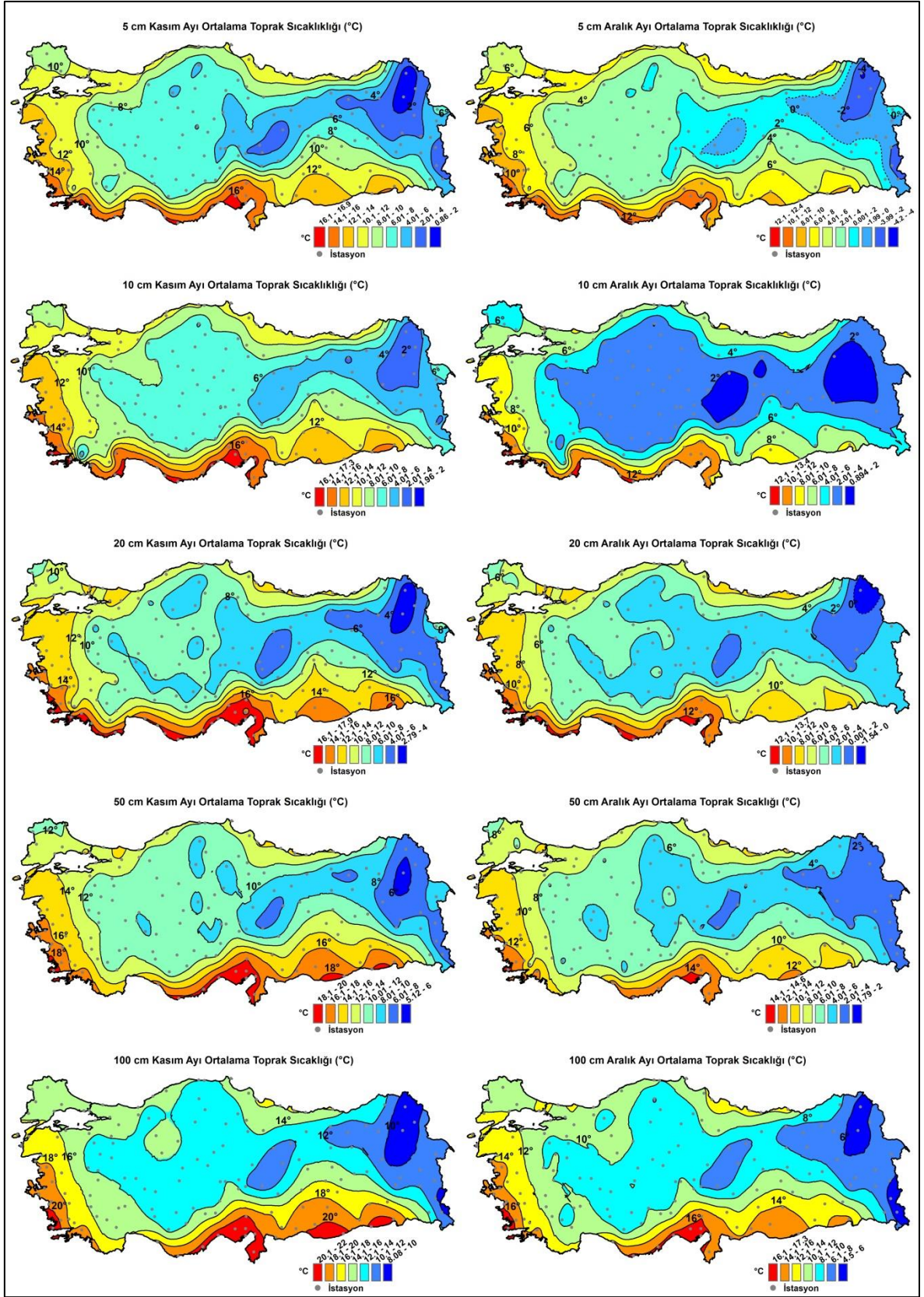
Ekim ayında, Türkiye genelinde toprak sıcaklıklarındaki Türkiye genelindeki düşüş oldukça belirgindir ki 5 cm derinlikteki toprak sıcaklıkları temmuz ayına göre 13 °C, bir önceki aya göre ise ortalama 7 °C düşmüştür. Temmuz ayına göre ekimde sığ ve derin toprak katmanlarındaki sıcaklıklar sırasıyla ortalama 11 °C ve 5 °C azalmıştır. Ekim ayında 5 cm derinlikte toprak sıcaklıkları 7 °C ile 25 °C arasında değişmektedir. Derinlik arttıkça sıcaklıklar düşmektedir ki derin katmanlardaki sıcaklıklar sığ katmanlardaki sıcaklıklardan 2° daha düşüktür. Ekim ayı ile birlikte en yüksek sıcaklıklar Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nden (21 °C) Akdeniz kıyılarına (23 °C) kaymaktadır. Anamur-Samandağ kıyı bölgesi ve Çukurova’da sıcaklıklar 24 °C’dir. Karadeniz kıyılarında ise sıcaklıklar 17 °C olup coğrafi bölümler arasında bir farklılık görülmemektedir ancak topoğrafyanın alçaldığı Orta Karadeniz Bölümü’nde toprak sıcaklıkları nispeten düşmüş olup 16 °C’dir. Kıyılardan iç kesimlere gidildiğinde sıcaklıklar 11 °C’ye kadar düşer ve en düşük değerler 7 °C ile Sarıkamış, 8°C ile Ardahan çevresinde görülür. (Şekil 10). Derinlik arttıkça sıcaklıklar düşmektedir. Bu düşme oranı eylül ayından yüksek olmakla birlikte yaz mevsiminden düşüktür. Türkiye genelinde 5 cm derinliklere göre 50 cm seviyelerde sıcaklıklar yaklaşık 2 °C düşmüştür.



Şekil 10. Türkiye’de eylül ve ekim ayında ortalama toprak sıcaklığı (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinlikte).

Kasım ayında, 5 cm derinlikteki toprak sıcaklıkları bir önceki aya göre ortalama 7 °C düşmüştür. Türkiye genelinde tüm derinliklerde bir don seviyesi görülmemektedir. Ekim ayına göre kasım'da sığ ve derin toprak katmanlarındaki sıcaklıklar sırasıyla ortalama 7 °C ve 5 °C azalmıştır. 5 cm derinlikte toprak sıcaklıkları 1 °C ile 17 °C arasında değişmektedir. Kasım ayı ile birlikte en yüksek sıcaklıklar Akdeniz kıyılarında (16 °C) görülmekte olup Anamur'da sıcaklıklar 17 °C'dir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Karadeniz kıyılarında sıcaklıklar 11 °C'dir. Kıyılardan iç kesimlere gidildiğinde sıcaklıklar 3 °C'ye kadar düşer ve en düşük değerler 0.9 °C ile Sarıkamış, 1 °C ile Ardahan çevresinde görülür. (Şekil 11). Derinlik arttıkça sıcaklıklar düşmektedir: Türkiye genelinde 5 cm derinliklere göre 50 cm seviyelerde sıcaklıklar 3 °C düşmüştür.

Aralık ayında, 5 cm derinlikteki toprak sıcaklıkları bir önceki aya göre ortalama 4 °C düşmüştür. Doğu Anadolu Bölgesinin doğu kesiminde (Iğdır Ovası hariç) 20 cm derinliğe kadar don seviyesi görülmektedir. Kasım ayına göre aralıkta sığ ve derin toprak katmanlarındaki sıcaklıklar ortalama 4 °C azalmıştır. 5 cm derinlikte toprak sıcaklıkları -4 °C ile 12 °C arasında değişmektedir. Aralık ayı ile birlikte en yüksek sıcaklıklar Akdeniz kıyılarında (11 °C) görülmektedir ve Anamur ve Alanya'da sıcaklıklar 12 °C'dir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Karadeniz kıyılarında ise sıcaklıklar sırasıyla 6 °C ve 7 °C'dir. Kıyılardan iç kesimlere gidildiğinde sıcaklıklar -1 °C'ye kadar düşer ve en düşük değerlerler, -4.2 °C ile Ardahan çevresinde görülür. (Şekil 11). Buna ek olarak 50 cm seviyelerinde sıcaklıklar yaklaşık 3 °C düşmüştür.



Şekil 11. Türkiye’de kasım ve aralık ayında ortalama toprak sıcaklığı (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinlikte).

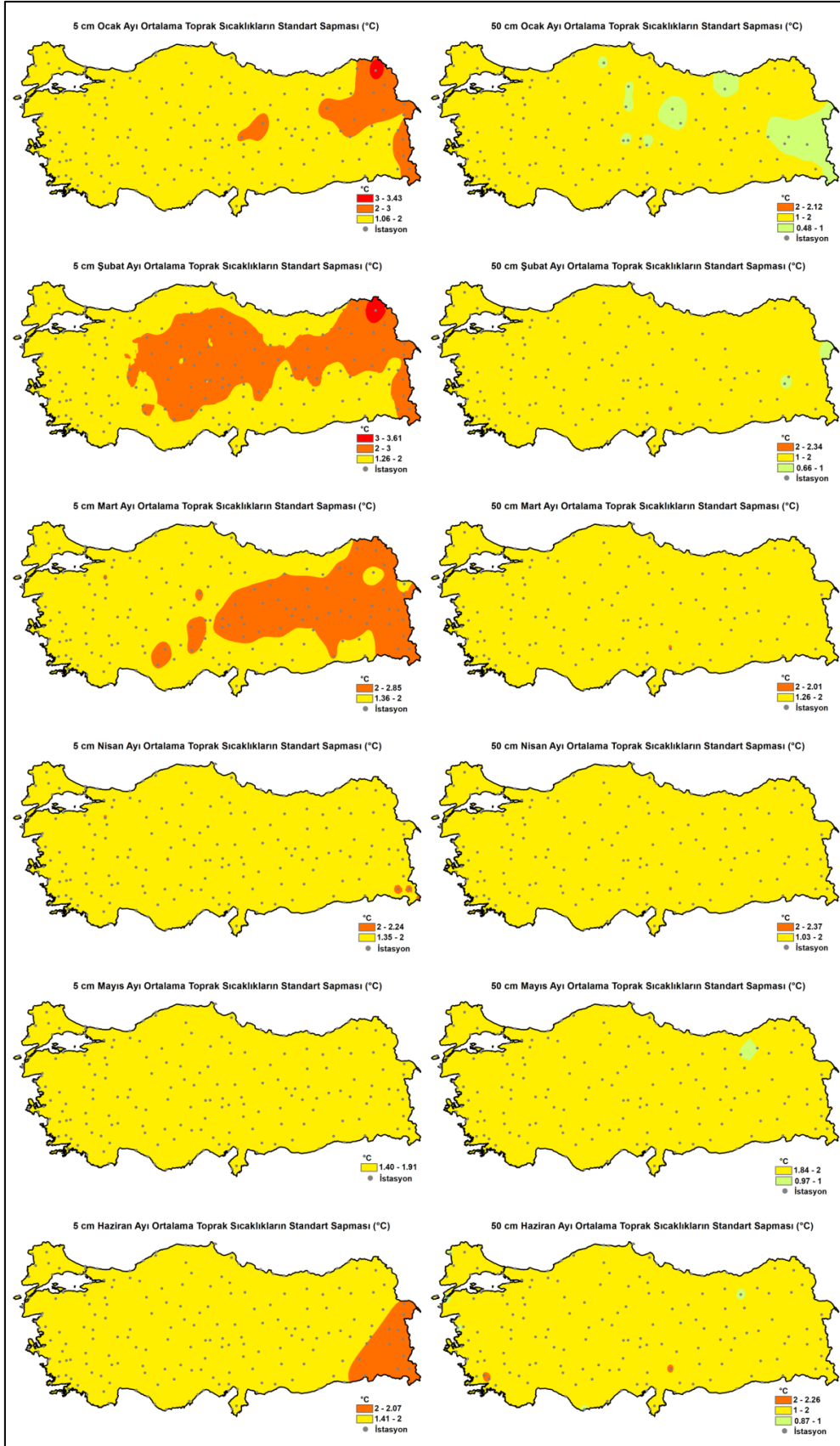
Türkiye’de aylık ortalama toprak sıcaklıklarının değişim/değişkenliği standart sapma istatistiği ile sığ toprak derinliği (5 cm) ve orta derinliğinde (50 cm) ortaya konmuştur.

Sığ toprak katmanında toprak sıcaklıklarındaki değişkenlik mevsimlik bir dalgalanma göstermektedir: Aralık, ocak ve şubat ile birlikte haziran, temmuz ve ağustos aylarında toprak sıcaklık değişimleri artmaktadır (Şekil 12, 13). Sığ toprak katmanında en yüksek değişkenlik, şubat ayında 4.04 °C ile Ardahan bölgesinde; en düşük değişkenlik ise aralık ayında 0.90 °C ile Fethiye bölgesinde gözlenmiştir. Ocak ayında 2-3 °C’lik toprak sıcaklık değişimleri, Doğu Anadolu Bölgesi’nin doğusunda görülürken şubat ayına gelindiğinde batıya doğru İç Anadolu Bölgesi geneline yayılmıştır. Dahası toprak sıcaklık değişimi ortalama 0.22 °C artmıştır. Mart ayına gelindiğinde toprak sıcaklıklarındaki değişim azalmış olup İç Anadolu Bölgesinin doğusu ve Doğu Anadolu Bölgesi’nde 2 °C’lik toprak sıcaklık değişimleri belirlenmiştir. Bu ayda Doğu Anadolu Bölgesi içinde Sarıkamış çevresi ve Iğdır Ovası topraklarının sıcaklık değişimi 2 °C’nin altında olup çevre araziden farklılaşmaktadır. Sığ toprak sıcaklık değişkenliğinde mart ayında başlayan azalma mayıs ayına kadar sürmüştür. Mayıs ayında Türkiye arazisinin tümünde toprak sıcaklık değişimi, 2 °C’nin altında homojen bir örüntü ortaya çıkarmıştır. Haziran ayı ile birlikte Türkiye’nin güneydoğu kesiminde artış eğilimi gösteren toprak sıcaklık değişimleri temmuz ve ağustos ayında da kuvvetlenerek devam etmiş ve karasal bölgelerde geniş alanlara yayılmıştır. Yaz mevsiminde sığ toprak katmanlarında toprak sıcaklıklarında gözlenen bu güçlü değişimler sonraki sezonlarda (eylül, ekim, kasım) azalmıştır. Aralık ayına gelinde toprak sıcaklık değişimleri artmaya başlamış olup Doğu Anadolu Bölgesi’nde özellikle kuzeydoğu Anadolu’da 2 °C ve üstü sıcaklık değişimleri geniş alanlara yayılmıştır (Şekil 12, 13).

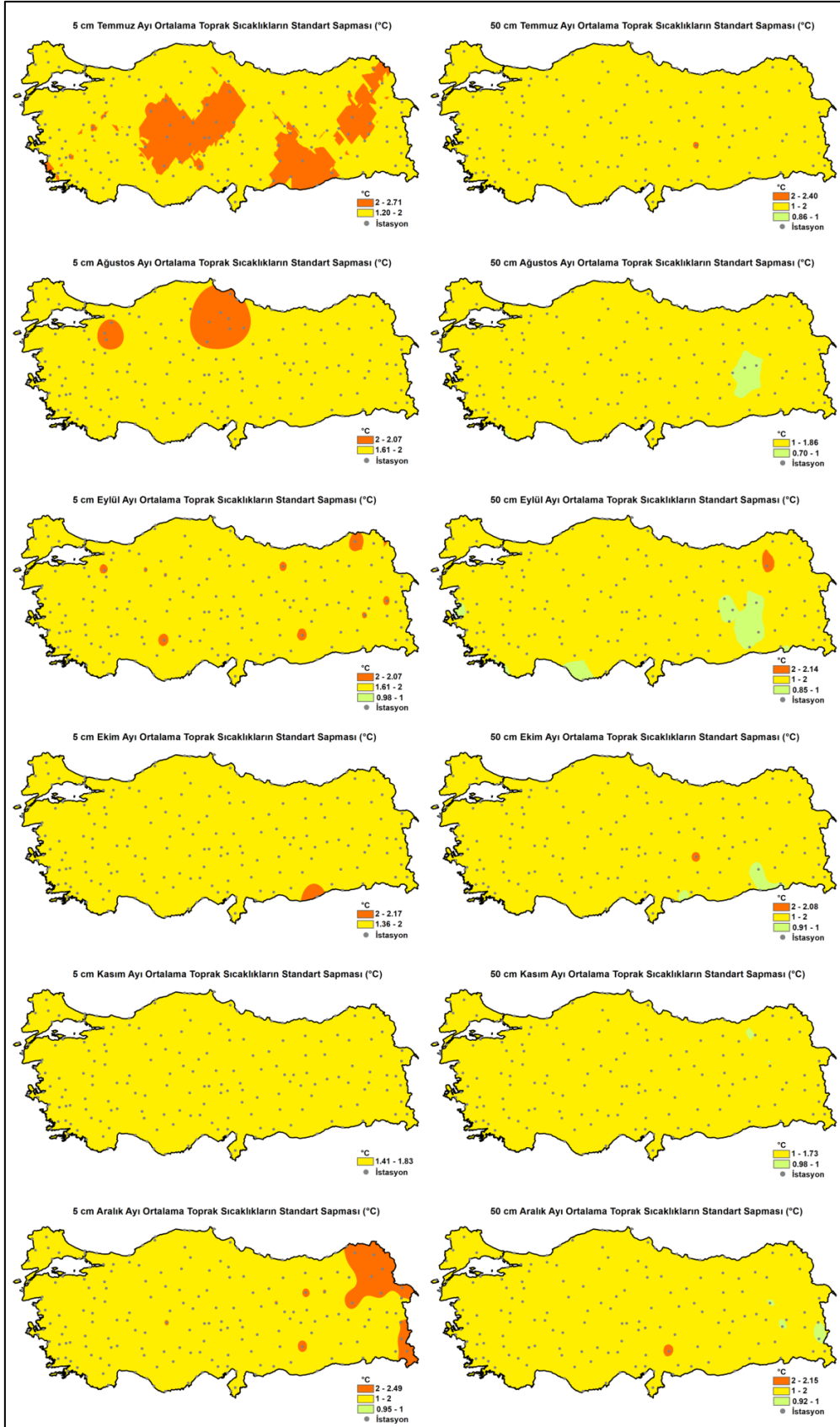
Toprak derinliği arttıkça toprak sıcaklık değişkenliği düşmekte mevsimsel değişim ve alansal değişim belirsizleşmektedir (Şekil 12, 13). Aralık, ocak, şubat, mart ile birlikte haziran, temmuz ve ağustos aylarında toprak sıcaklık değişimleri artmaktadır. Orta derinlik toprak katmanında (50 cm) en yüksek değişkenlik eylül ayında 3.03 °C ile Erzurum/Tortum bölgesinde; en düşük değişkenlik ise ocak ayında 0.47 °C ile Bitlis/Tatvan bölgesinde gözlenmiştir. Genel olarak Türkiye toprakları orta derinlik katmanında 1-2 °C değişimler göstermiştir. Aylık ortalamalarda en yüksek değişkenlik, mart ayında (1.55 °C); en düşük değişkenlik ise ocak ayındadır (1.18 °C). 2 °C ve üstü

değişimler yerel olup ağustos ayında özellikle Şanlıurfa, Adana ve Konya çevresinde gözlenmiştir. Bu yüksek değişimler Kahramanmaraş istasyonunda tüm aylara; Malatya istasyonunda temmuz, eylül ve ekim aylarına yayılmıştır.





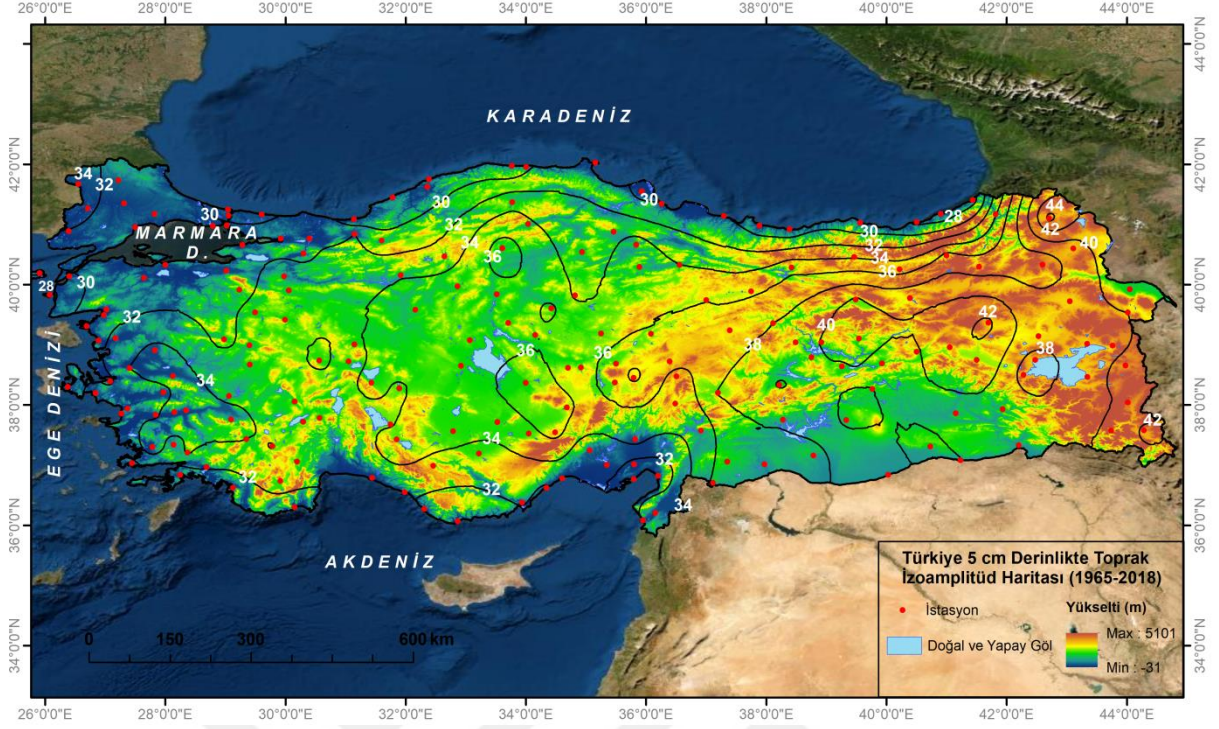
Şekil 12. Türkiye’de ocak-haziran döneminde ortalama toprak sıcaklıklarının standart sapması (5 cm ve 50 cm derinlikte).



Şekil 13. Türkiye’de temmuz-aralık döneminde ortalama toprak sıcaklıklarının standart sapması (5 cm ve 50 cm derinlikte).

Toprak izoamplitüd (sıcaklık farkları) haritası karasal ve denizel etkinin güçlü olduğu bölgelerin değerlendirilmesinde önemlidir. Türkiye sıcaklık farkları haritasına bakıldığında sıcaklık farkları 28-44 °C arasında değişmektedir. Karasal etkilerin fazla olduğu sahalar daha geniş olup 34 °C ve üzeri alanlar karasal etkinin hâkim olduğu alanlara karşılık gelmektedir. En düşük sıcaklık farkları 28 °C ile Doğu Karadeniz kıyıları ve Bozcaada istasyonu başta olmak üzere Karadeniz ve Akdeniz kıyılarında bulunmaktadır (Şekil 14). Deniz hem hava hem de toprak sıcaklıklarını dengeleyici etkisi bunda etkilidir. Yükselti ile birlikte toprak sıcaklık farkları da artmaktadır ve en yüksek fark 44 °C ile Ardahan istasyonu başta olmak üzere kuzeydoğu Anadolu'da görülmekte olup kuzeydoğu Anadolu, Türkiye'de toprak sıcaklık farklarının en belirgin olduğu sahadır. Türkiye'nin kuzey kesimlerinde genel hatları ile fark 30 °C altındadır (Şekil 14). Doğu Karadeniz kıyılarında, özellikle Rize çevresinde, sıcaklık farklarının az olmasında denizin dengeleyici etkisi ve kış döneminde kara içinden kıyıya doğru esen fön rüzgârlarının da etkisi vardır. Kıyı gerisinde uzanan sıradağlar nedeniyle kıyıda iç kesimlere geçişte toprak sıcaklık farkları hızla yükselmektedir.

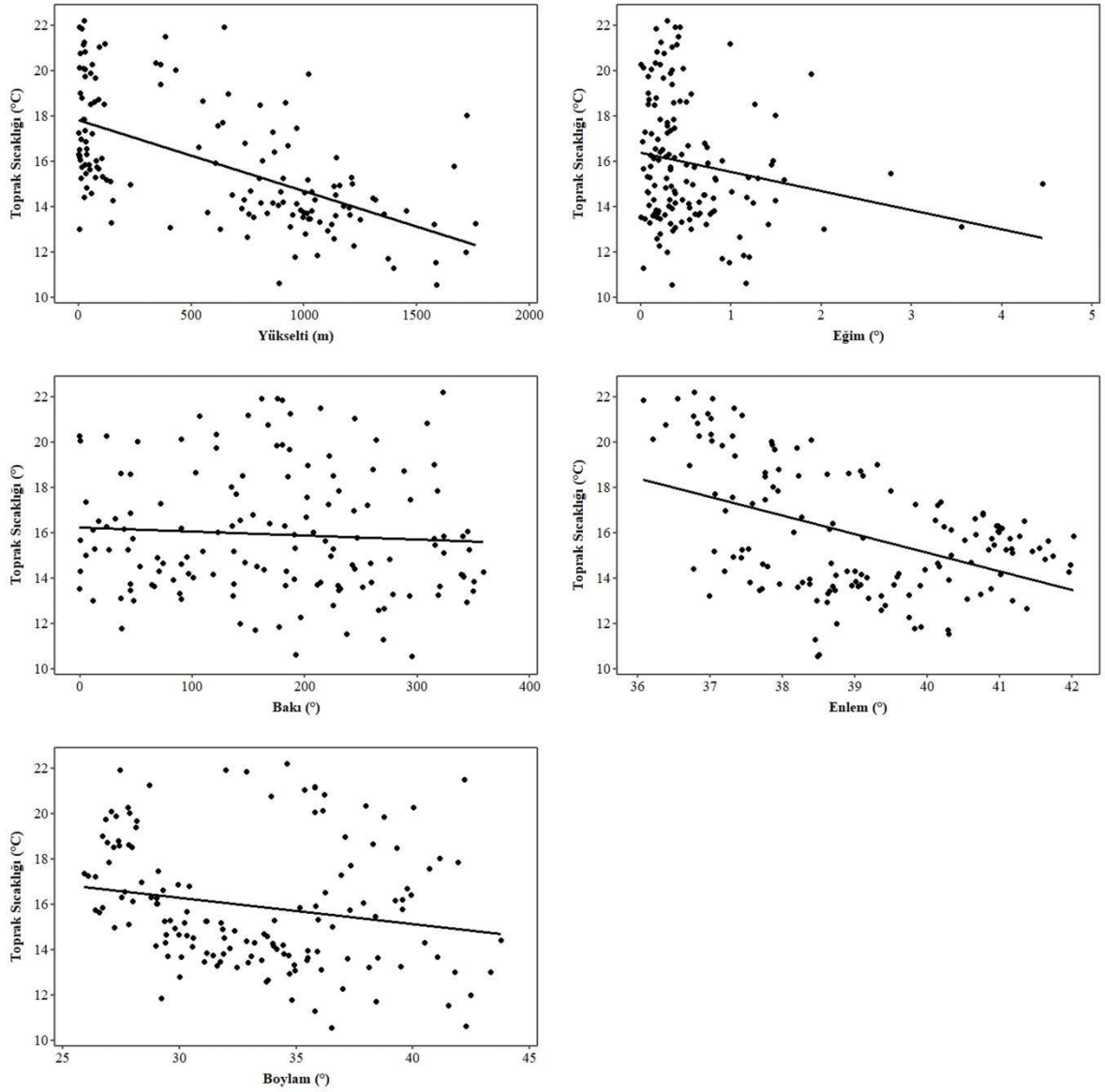
Ege kıyılarından Doğu Anadolu Bölgesi'ne doğru gidildikçe karasallık ve yükseltinin etkisiyle sıcaklık farkları azalır. Ergene Havzasında Balkanlardan gelen soğuk hava etkisi ve karasallık nedeniyle sıcaklık farkları 30 °C'den 34 °C'ye kadar çıkar. Van'da gölün etkisiyle çevresine göre düşük değerler gözlenmektedir: Van Gölü'nün batı kesiminde 38 °C kapalı toprak sıcaklık fark eğrisi oluşmuş olup sıcaklık farkı çevresine göre yaklaşık 2 °C daha düşüktür (Şekil 14).



Şekil 14. Türkiye toprak izoamplitüd (sıcaklık farkları) haritası (1975-2018).

4.1.2. Toprak Sıcaklığı ve Coğrafi Parametreler İlişkisi

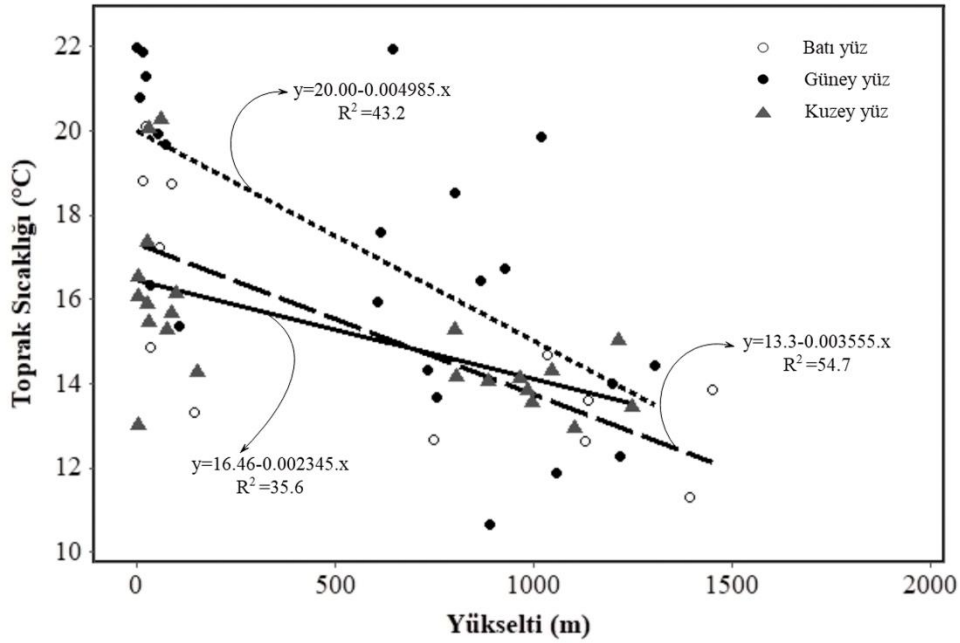
Türkiye’de 50 cm derinlikteki toprak sıcaklığı ile coğrafi enlem, boylam, yükselti (m), eğim (°) ve bakı (°) arasındaki doğrusal ilişki Spearman rho korelasyon katsayısı ile belirlenmiştir. Sonuçlara göre toprak sıcaklığı ile yükselti arasında %95 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli doğrusal negatif yönlü yüksek bir ilişki tespit edilmiştir. Korelasyon katsayısı (ρ), -0.625 ’tir. Diğer coğrafi parametreler (bakı ve boylam hariç) enlem ve eğim ile toprak sıcaklığı arasında istatistiksel açıdan önemli negatif yönlü zayıf bir ilişki vardır. Enlem ve eğim ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişki katsayıları sırasıyla -0.236 ve -0.205 ’tir (Şekil 15).



Şekil 15. Türkiye’de 50 cm derinlikte toprak sıcaklığının yükselti, eğim, bakı, enlem ve boylam ile ilişkisi.

Türkiye’de bakıya göre tüm yönlerde toprak sıcaklığı yükselti ile doğrusal olarak azalmaktadır. Kuzey, güney ve batıya bakan sahaların yıllık toprak sıcaklığının, yükselti ile doğrusal olarak azaldığı Şekil 16’da gösterilmiştir. Güneye bakan alanların toprak sıcaklığı, yükseklik 500-1000 m arasında olduğunda kuzeye bakan alanlardan daha yüksektir ve güneye bakan alanlar ile kuzeye bakan alanlar arasındaki farklar yükselti arttıkça azalmaktadır (Şekil 16). Bunda 500-1000 m arasındaki güney kesimlerin kuzey kesimlere göre birim alana düşen güneş ışığını daha fazla alması etkilidir. Güney

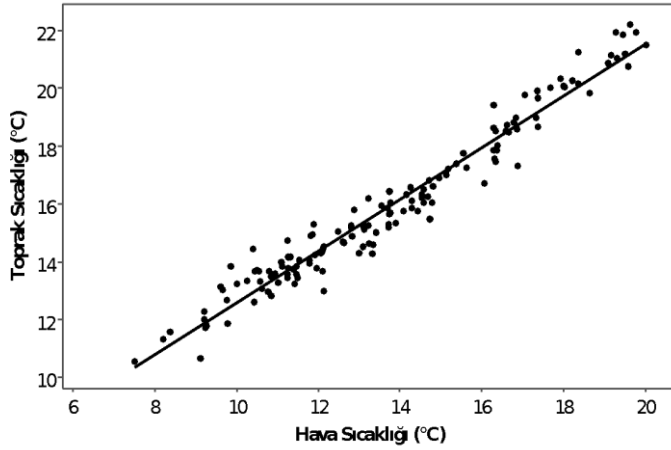
kesimlerde yükselti ile birlikte toprak sıcaklığında gerçekleşen azalma istatistiksel açıdan önemli olmasa da diğer sahalardan daha kuvvetlidir.



Şekil 16. Kuzeye, güneye ve batıya bakan sahalarda toprak sıcaklığının yükselti ile ilişkisi.

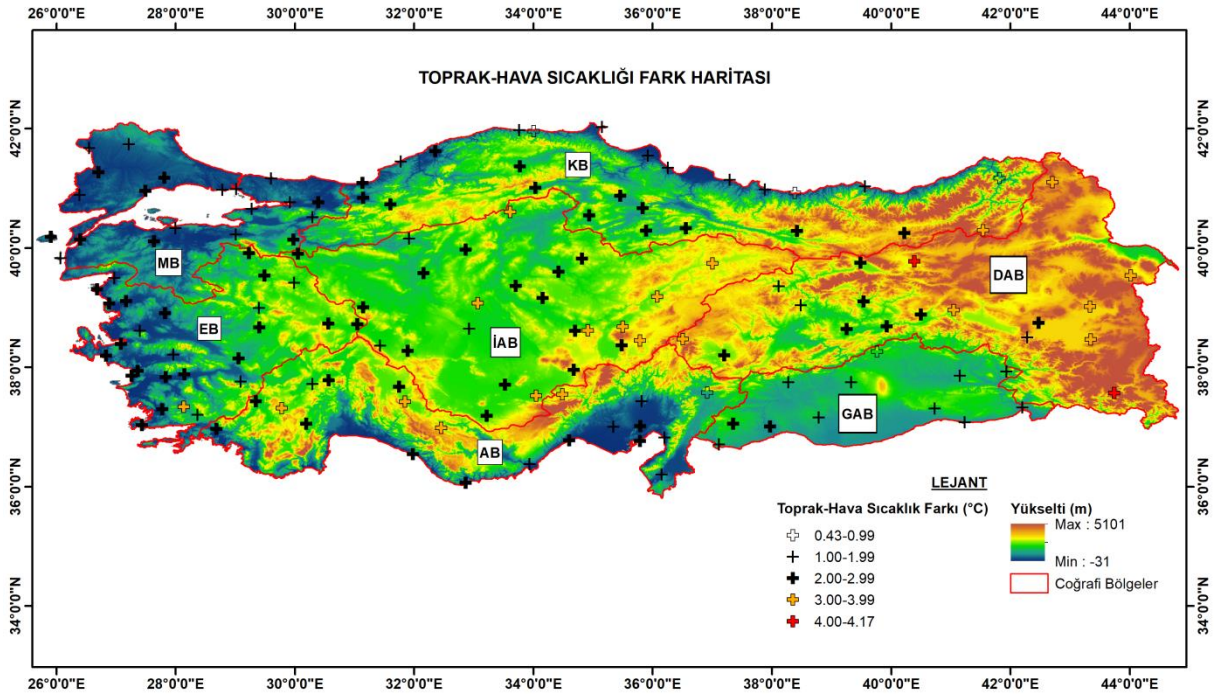
4.1.3. Toprak Sıcaklığı ve Hava Sıcaklığı İlişkisi

1975–2018 verilerine göre, yıllık hava sıcaklığı ile yıllık 50 cm toprak sıcaklığı arasındaki doğrusal ilişkinin korelasyon katsayısı (ρ) 0.971 olarak belirlenmiştir. Hava sıcaklığındaki değişimler toprak sıcaklığındaki değişimlerin %95.6'sını açıklamaktadır. Regresyon denklemi, $T_{50} = 3.615 + 0.896 \times \text{ort. } C$ 'dir (Şekil 17). Son 44 yılda incelenen farklı katmanlardaki (0, 10, 20, 50 ve 100 cm) yıllık hava sıcaklığı ile yıllık toprak sıcaklığı arasındaki korelasyon katsayılarının tümü > 0.900 olup hepsi 0.01 anlamlılık testini geçmiştir. Bu bulgu, hava ve toprak sıcaklığı eğilimlerinin önemli bir tutarlılığa sahip olduğunu göstermektedir.



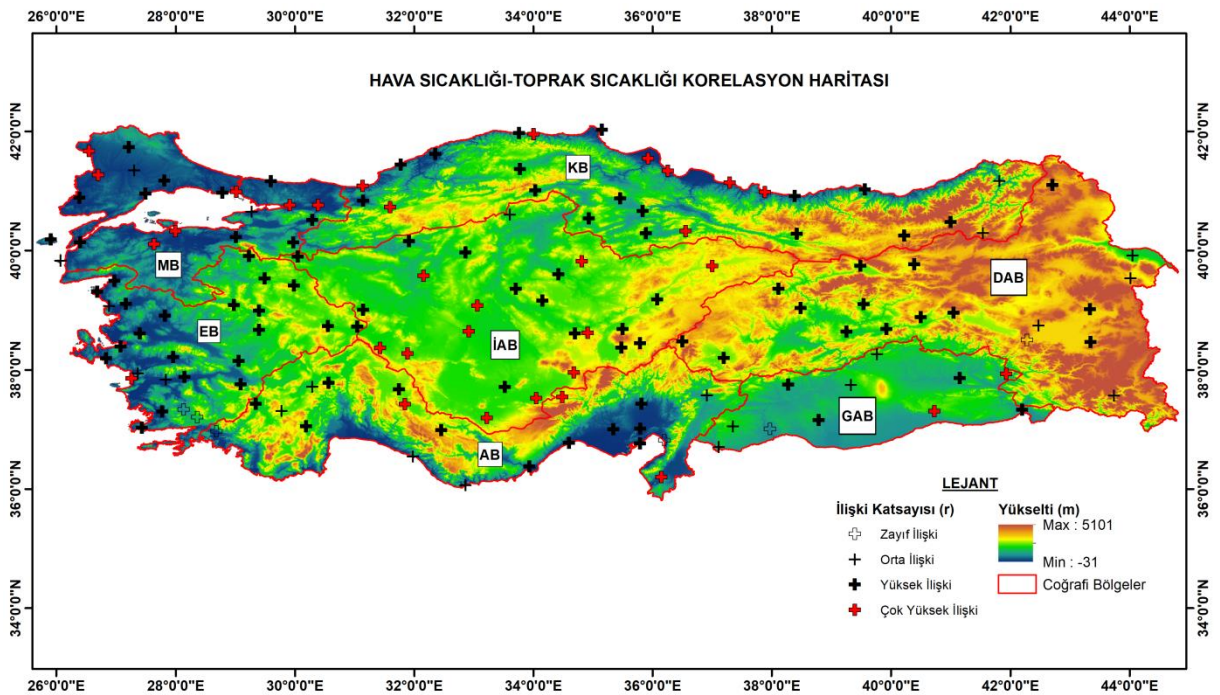
Şekil 17. Toprak sıcaklığı-hava sıcaklığı ilişkisi.

Türkiye’de 50 cm derinlikteki toprak sıcaklığı ile hava sıcaklıkları arasındaki fark 0.43 °C ile 4.17 °C arasında değişmekle birlikte denizelliğin güçlü olduğu kıyılarda bu fark düşüktür. Özellikle Karadeniz kıyılarından iç kesimlere doğru gidildikçe bu fark belirgin bir şekilde artmaktadır. Karasallığın etkili olduğu bölgelerde toprak-hava sıcaklıkları arasındaki fark 2 °C’nin üzerine çıkmakla birlikte Karadeniz kıyıları dışında Çukurova ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi genelinde toprak sıcaklıkları ile hava sıcaklıkları nispeten birbirine yakın olup fark 2 °C’nin altındadır (Şekil 18).



Şekil 18. Toprak-hava sıcaklığı (°C) fark haritası.

50 cm derinlikte istasyonlar arası ortalama toprak sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki **Pearson çarpım-moment korelasyon katsayısı** ve **Spearman rho korelasyon katsayısı** ile belirlenmiş ve sonuçlar haritalandırılmıştır (Şekil 19). Ulaşılan sonuçlara göre Türkiye genelinde toprak sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasında %95 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli yüksek bir ilişki vardır. Çok yüksek ilişki Karadeniz kıyıları, Marmara Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi'nde görülmektedir. İç Anadolu Bölgesi'nin yarı kurak iklime sahip olması, bozkır ve kuru orman-antropojen bozkır örtüsü ile kaplı olması bu güçlü ilişkide etkili olabilir. Zayıf ilişki ise Türkiye'nin güneybatı kesiminde ve Şanlıurfa/Birecik bölgesinde görülmektedir. Diğer Bölgelere kıyasla Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde toprak sıcaklığı-hava sıcaklığı arasında çok yüksek ilişki ile zayıf ilişki arasında farklılık gösteren bir örüntü vardır (Şekil 19). Bu örüntünün oluşmasında iki etmen etkili olabilir. Birincisi, bitki örtüsü etmenidir: Bölge, Türkiye'de orman varlığının en az olduğu bölgedir ve bitki örtüsü kuru orman-bozkır karakterine sahiptir. İkinci etmen ise su ya da topraktaki nemdir. Yarı kurak ve sıcak bir iklime sahip olan bu bölgede toprak neminin kaynağı 1990 yılında açılan dolgu hacmi açısından dünyanın en büyük altıncı barajı olan Atatürk Barajı ve 1977'de temelleri atılmaya başlanan sulama kanalı, baraj inşaatı gibi tesisleşme süreci devam eden Güneydoğu Anadolu Projesi'dir (GAP). GAP ile günümüzde yaklaşık 500.000 ha arazi sulanmaktadır.



Şekil 19. Türkiye'de toprak sıcaklığının hava sıcaklığı ile ilişkisi.

4.1.4. Toprak Sıcaklığı ve Hava Sıcaklığı Arasındaki Farklılıklar

Kruskal Wallis test sonuçlarına göre derinliklere göre 1975-2018 dönemi ortalama toprak sıcaklıklarının medyanları arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark bulunmamıştır (Tablo 2).

Tablo 2

Derinliklere göre toprak sıcaklıklarının Kruskal Wallis test sonuçları

Ts	N	Medyan	Ortalama Sıra	Z
5	107	16.57	281.5	1.01
10	107	16.41	275.2	0.54
20	107	16.21	260.0	-0.60
50	107	16.20	263.6	-0.33
100	107	16.09	259.6	-0.63
Toplam	535		268.0	
H = 1.74		DF = 4	P = 0.783	

Kruskal Wallis test sonuçlarına göre derinliklere göre 1975-2018 dönemi ortalama toprak sıcaklıklar ile hava sıcaklıklarının medyanları arasında 0.01 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir fark bulunmuştur (Tablo 3). Çoklu karşılaştırma testleri gruplar arasında farklılık olduğu zaman genelde kullanılır. Çoklu karşılaştırma testlerinden **Tukey testini** kullandığımızda çıkan sonuç bize iki farklı grubun oluştuğunu doğrulamaktadır. Tabloda tüm toprak altı sıcaklıkların birbirine benzediği hava sıcaklık ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir (Tablo 4).

Tablo 3

Toprak ve hava sıcaklıklarının Kruskal-Wallis test sonuçları

Sıcaklık	N	Medyan	Ortalama Sıra	Z
Hava	107	14.43	210.9	-6.76
5	107	16.57	358.8	2.28
10	107	16.41	351.9	1.86
20	107	16.21	334.6	0.80
50	107	16.20	338.6	1.04
100	107	16.09	334.2	0.78
Toplam	642		321.5	
H = 47.20		DF = 5	P = 0.000	

Tablo 4

Toprak ve hava sıcaklıklarına ait Tukey test sonuçları

Sıcaklık	N	Ortalama	Gruplama
5	107	17.046	A
10	107	16.928	A
50	107	16.739	A
20	107	16.686	A
100	107	16.647	A
Hava	107	14.696	B

4.2. Tartışma

Türkiye toprak sıcaklıklarının ortalama, minimum, maksimum ve standart sapma istatistiklerinde önemli iki alansal örüntü göze çarpmaktadır. Bu örüntüler kuzey-güney ve batı-doğu arasındadır. Yani enlemsel ve yükselti-karasallıktan kaynaklı zayıf boylamsal bir örüntü vardır. Kuzey-güney örüntünün şekillenmesinde; Doğu Karadeniz kıyısı ile kıyı ardı bölgede ve kuzeydoğu Anadolu'da kısa mesafede toprak sıcaklıklarında çevreye göre büyük değişimlerin varlığı ve Ege Bölgesi'nden Marmara Bölgesi'ne geçişte yüksek sıcaklıkların etkisinin azalması hatta Yıldız Dağları Bölümü'nde karasallığa bağlı sıcaklık düşüşleri ve değişkenliğin artması etkili olmuştur. Kabaca Iğdır Ovası'ndan batıya çekilecek bir hat toprak sıcaklıklarının kuzey-güney yapısını göstermektedir. Türkiye'de toprak sıcaklıklarının değişim özelliği açısından ikinci yapı batı-doğu arasında görülmektedir. Batıdan doğuya doğru gidildikçe yükseltinin artması ve engebeli dağlık bir topografyanın varlığı bu yapının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu yapıda batı kesimde denizel etki doğu kesimde ise karasal etki güçlüdür. Batı kesim kıyıdan iç kesimlere doğru sıcaklığın azalması ve değişkenliğin artması ile karakterize edilirken doğu kesim batıdan doğuya-kuzeydoğuya doğru gidildikçe yükseltinin artması, toprak sıcaklığının azalması ve değişkenliğin artması ile karakterize edilmektedir.

Türkiye'de ortalama toprak sıcaklıkları tüm derinliklerde yıl genelinde kıyılardan iç kesimlere ve batıdan doğuya doğru özellikle kuzeydoğuya doğru gidildikçe düşmekte değişkenlik ise artmaktadır. Yıllık maksimum, minimum ve ortalama toprak sıcaklıkları derinlik arttıkça geometrik olarak azalmakta olup değişkenlik de azalmaktadır. Yıl içinde gidişte temmuz ve ağustosta belirgin bir ısınma, ekimde belirgin bir soğuma görülmektedir. Sığ toprak katlarında maksimum sıcaklıklara temmuz ayında erişilirken

derin toprak katlarında bu durum ağustos ayına kaymaktadır. Kış mevsiminde kasım-şubat aylarında da toprak serindir. Toprağın dinamik yapısından dolayı daha yüksek derinliklerde sıcaklık farklarının seyri, tersi yönde ancak genlikler daha küçüktür. Ekim-şubat döneminde derinlik arttıkça sıcaklıkları azalmakta olup derin katmanlarda farklılıklar küçüktür. Orta Karadeniz Bölümü, güneybatı Anadolu kıyıları, Anamur-Samandağ kıyı şeridi ve Çukurova, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Iğdır Ovası çevresine göre sıcak bölgeler olup; Yıldız Dağları Bölümü, Doğu Anadolu Bölgesi özellikle kuzeydoğu Anadolu bölgesi ise çevresine göre soğuk bölgelerdir. Örneğin, güneybatıdan kuzeydoğu yönünde gidildiğinde uzanan en sıcak bölgeden (Mersin) kuş uçuşu 850 km uzaklıktaki en soğuk bölgeye (Ardahan) gidildiğinde ortalama yıllık toprak sıcaklığı 22 °C'den 8 °C'ye ve ortalama yaz toprak sıcaklığı 31 °C'den 15 °C'ye düşer. Toprak sıcaklığını kaydeden tüm istasyonlarda, yıllık ortalama toprak sıcaklığı 0 °C'nin üzerinde ve ortalama yazlık toprak sıcaklığı 27 °C'nin altındadır. Yıllık ortalama en düşük toprak sıcaklıkları (7-9 °C) kuzeydoğu Anadolu'da görülmekle birlikte toprak sıcaklıklarının değişkenliği çok yüksektir ($s = \sim 2 \text{ }^\circ\text{C}$). Güneybatı Akdeniz ve batı Karadeniz kıyı şeridi değişkenliğin en düşük olduğu bölgelerdir ($s = \sim 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$).

Toprak sıcaklıkları daha yüksek enlemlerde nispeten daha fazla değişkenlik gösterse de yükselti ve karasallık nedeniyle bu değişkenlik bozulmaktadır. Yükselti ve karasallık, Türkiye'de toprak sıcaklıklarının dağılışını etkileyen en önemli etmenlerdir. Toprak sıcaklığı ile coğrafi parametreler arasında istatistiksel açıdan önemli ilişkiler olsa da topoğrafyanın kompleks olmasından kaynaklı bu ilişkiler güçlü değildir. Yükselti ile toprak sıcaklığı arasında orta-yüksek düzeyli negatif yönlü önemli bir ilişki vardır ancak sadece yükselti bağımsız değişkeni ile Türkiye'de toprak sıcaklıklarının tahmini yapılamamaktadır. Belirli bölgeler özelinde regresyon denklemleri oluşturulsa da toprak sıcaklıkları hava sıcaklıkları kadar yükseltiye bağlı değildir. Dolayısıyla toprak sıcaklık-yükselti ilişkisinden hareketle bir lapse-rate (*değişim oranı*) tanımlanamamıştır ancak havza ölçeğinde yapılacak çalışmalarda, özellikle kıyı ve iç kesimleri içeren havzalarda, toprak sıcaklığı ile coğrafi parametreler arasında ilişki tespit edilebilir. Nitekim Yeşilirmak Havzası özelinde toprak sıcaklığı ile enlem ve yükselti arasında önemli yüksek bir ilişki tespit edilmiştir (Cıba, 2019).

Türkiye’de ortalama yıllık toprak sıcaklığı, ortalama yıllık hava sıcaklığından 2 °C daha yüksektir. Bu fark, batıdan doğuya doğru gidildikçe ve kıyılardan iç kesimlere doğru gidildikçe artar ve 4 °C’ye ulaşır. Bundan dolayı toprak taksonomisinde karın yaygın olmadığı alanlar için geliştirilen yaygın olarak kullanılan 1 °C farkından belirgin bir şekilde sapmaktadır. Ortalama yıllık hava ve toprak sıcaklıkları arasında yaygın olarak uygulanan 1 °C’lik fark, Finlandiya’da olduğu gibi (Yli-Halla ve Mokma, 1988) Türkiye için de geçerli değildir. Türkiye’de yıllık hava sıcaklığı ile yıllık 50 cm toprak sıcaklığı arasındaki ilişki yazın biraz zayıflasa da ($\rho = 0.704$) yıl genelinde 0.9’un üzerindedir. Bu çok yüksek derecede doğrusal bir ilişkidir. Dahası bu ilişki giderek güçlenmektedir ki daha önce hava sıcaklığı ile 50 cm toprak sıcaklığı arasında 0.01 anlamlılık düzeyinde ve 0.9 derecesinde pozitif doğrusal korelasyon tespit edilmiştir (İçel ve Ataoğlu, 2013). Dolayısıyla hava sıcaklıkları aktif kök bölgesine değin toprak sıcaklıklarını kontrol etmektedir. Özellikle bitki örtüsü açısından zayıf olmasından kaynaklı İç Anadolu Bölgesi’nde bu ilişki çok güçlüdür.

Bitkilerde ısı stresine yol açan 35 °C ve üstü sıcaklıklar Türkiye’nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde haziran ayında 5 cm, temmuz ve ağustos ayında 20 cm derinliklere değin etkili olmaktadır. Dolayısıyla Türkiye’de ısı stresinden kaynaklı en yüksek kırılabilirliğin olduğu bölgenin Güneydoğu Anadolu Bölgesi olduğu iddia edilebilir. Türkiye’de şiddetli karasallığın hâkim olduğu dağlık ve engebeli kuzeydoğu Anadolu, 0 °C’nin altındaki düşük toprak sıcaklığı nedeniyle tehlikeye en açık bölge olarak ön plana çıkmaktadır. Tehlikeye en açık zamanlar ve toprak katmanlar, aralık-mart döneminde sığ katmanlar olup ocak ayında derin katmanlardır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

KRİTİK TOPRAK SICAKLIKLARI VE DERİNLİKLERDEKİ DEĞİŞİMLER

Gerek uygulamalı agrometeoroloji gerekse tarımsal klimatoloji açısından bakıldığında aktif kök zonu için bazı kritik sıcaklıklar ve kritik derinlikler ön plana çıkmaktadır. Günümüzde daha çok fenoloji altında yeni yaklaşımlar geliştirilmeye çalışılsa da geleneksel olarak kritik sıcaklıklar ve derinliklerdeki değişimlerin araştırılması arazinin tarımsal arz potansiyelini değerlendirmede yerini korumaktadır. Biliyoruz ki son yıllarda hızla yükselen küresel sıcaklıklar ürün büyümesi ve gelişimini etkilemektedir. Ayrıca küresel sıcaklıklardaki bu değişim ile birlikte ürünlerin kök bölgesi önemli ölçüde değişmekte ve bu süreç devam etmektedir ancak artan sıcaklıkların bitkilerin toprak altı kısımları üzerindeki etkisi ve tepkileri ve bu etkileşimlerin toprak üstü bitki özelliklerine etkisi hakkında çok az şey bilinmektedir (Xia, vd., 2021). Özetle tarımsal ürünlerin iklim değişikliğinin tetiklediği aşırı hava olaylarına uyumunu artırmaya çalışırsak, toprak altı özellikleri hesaba katmamız gerekiyor. Bunun için öncelikle, artan sıcaklığa karşı kök tepkisini düzenleyen süreçler hakkındaki anlayışımızı geliştirmeliyiz (Calleja-Cabrera, vd., 2020).

Bazı kritik derinliklerdeki kritik sıcaklık eşiklerinin aşılması ve bu değişimlerin tanımlanması tarımsal planlama, yapı ve yol inşaatları, ulaşım faaliyetleri, ayrıca debi, rejim, sızma vb. hidrolojik özellikler açısından ayrı bir öneme sahiptir (Erinç ve Bener, 1963; Özdemir, 1974). Bu kapsamda Erinç ve Bener, Türkiye üzerinde toprak sıcaklıklarının değişimini inceledikleri çalışmada aşağıdaki kritik derinlikleri ve kritik değerleri tanımlamıştır:

- 1) Rasat devresinde yüzeyde kaydedilen minimum sıcaklıklar,
- 2) Rasat devresinde 15 cm derinlikte kaydedilen minimum sıcaklıklar,
- 3) Don tabakasının maksimum kalınlığı,
- 4) 5 °C ve daha düşük aylık ortalama sıcaklıkların sokulabildiği toprak derinliği ve
- 5) 50 cm derinliğe kadar 5 °C ve daha düşük olduğu devrenin süresi

5.1. Veri ve Yöntem

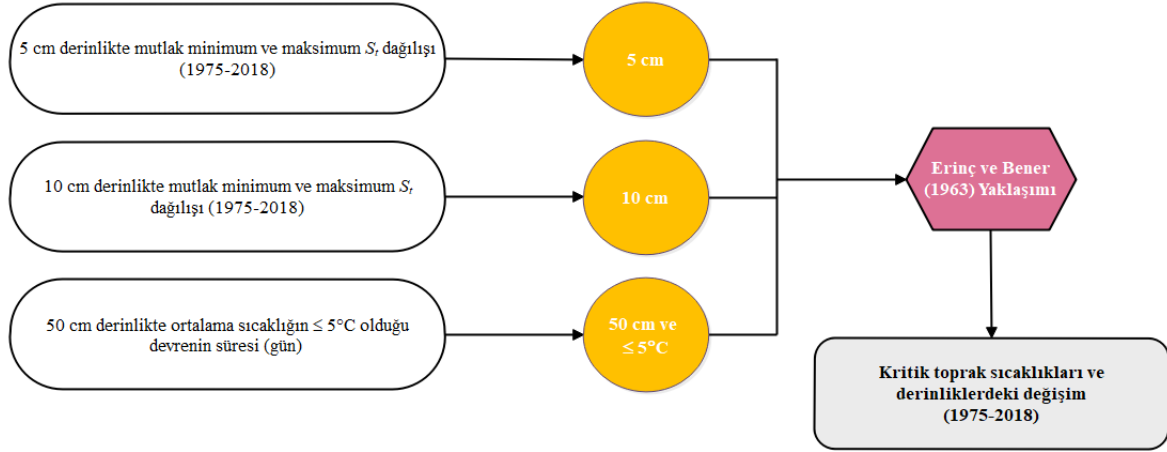
Bu bölümde Erinç ve Bener (1963)'in yaklaşımı izlenmiş olup bazı değişiklikler de yapılmıştır. Günümüzde toprak sıcaklık ölçümleri 0 cm ve 15 cm'de değil de WMO standartlarına göre 5 cm ve 10 cm derinlikte yapılmaktadır. Bu nedenle minimum sıcaklıkların değerlendirilmesinde 5 cm ve 10 cm derinlikler dikkate alınmış bu derinlikler bitki gelişimi için kritik derinlik olarak görülmüştür. Zaten buğday bitkisinde optimum tohum atım derinliği ya da uygun ekim derinliği 5 cm'ye (Aydemir, vd., 2006; Marakoğlu, 2000; Zengin ve Özbahçe, 2010) ve serin iklim tahılları genelinde özellikle de buğday bitkisinde ana kök gelişim zonu 5-10 cm'ye karşılık gelmektedir. Bu derinlikler dışında 50 cm derinlik, Toprak Taksonomisi'nde tüm bitkilerde ortalama ana kök zonunu temsil etmektedir (USDA, 2014). Bu derinlikte vejetasyon devresini sınırlayan eşik sıcaklık değeri + 5 °C'nin altında geçen sürenin belirlenmesi, toprak sıcaklığının bitki gelişimi üzerindeki olumsuz etkisinin ortaya konması açısından önemlidir (Erinç ve Bener, 1963).

Seçilen kritik sıcaklık değerleri iki tanedir: ≤ 0 °C ve ≤ 5 °C. Burada ≤ 0 °C kritik ekstrem sıcaklık değerine ilişkin üretilen don tabakasının maksimum kalınlığı değişkeni bu bölümde değil de don karakterinin incelendiği **7. Bölüm**'de genişletilerek ele alınmıştır. Ortalama 5 °C sıcaklığının şu açıdan önemi vardır ki çoğu bitkinin kök büyümesi ve çoğu tohumun çimlenebilmesi için gereken sıcaklık 0-5.5 °C arasındadır ve sıcaklık 5.5 °C'ye gelene kadar da toprak canlanmamaktadır. Ek olarak sıcaklık 7.2 °C'ye ulaştığında tempo hızlanmaktadır (Smith, vd., 1964). Bitkilerin büyük kısmında günlük ortalama sıcaklığın devamlı olarak 5 °C ve altında seyrettiği dönem, vejetasyon devresinin dışında kalan safhaya karşılık gelmektedir (Kılınç ve Kutbay, 2019).

Serin iklim tahıllarının çimlenmesi için sıcaklıklar (°C) minimum 1-4 °C, fotosentez için ise minimum 5-6 °C'dir (MEB, 2016). Örneğin buğdayda sürgün gelişimi ve kök büyümesi için gereken minimum sıcaklıklar sırasıyla 3.0 °C (± 0.4) ve 2 °C olarak tanımlanmıştır (Porter ve Gawith, 1999).

Buğdayda farklı fenolojik süreçler için önemli derinlik ve sıcaklık eşikleri yukarıda tanımlanmıştır. Bu bölümde amaç kritik toprak katmanlarında bitki büyüme ve gelişme oranlarını –*ağırlıklı olarak buğday bitkisi özelinde*- etkileyen kritik toprak sıcaklıklarındaki

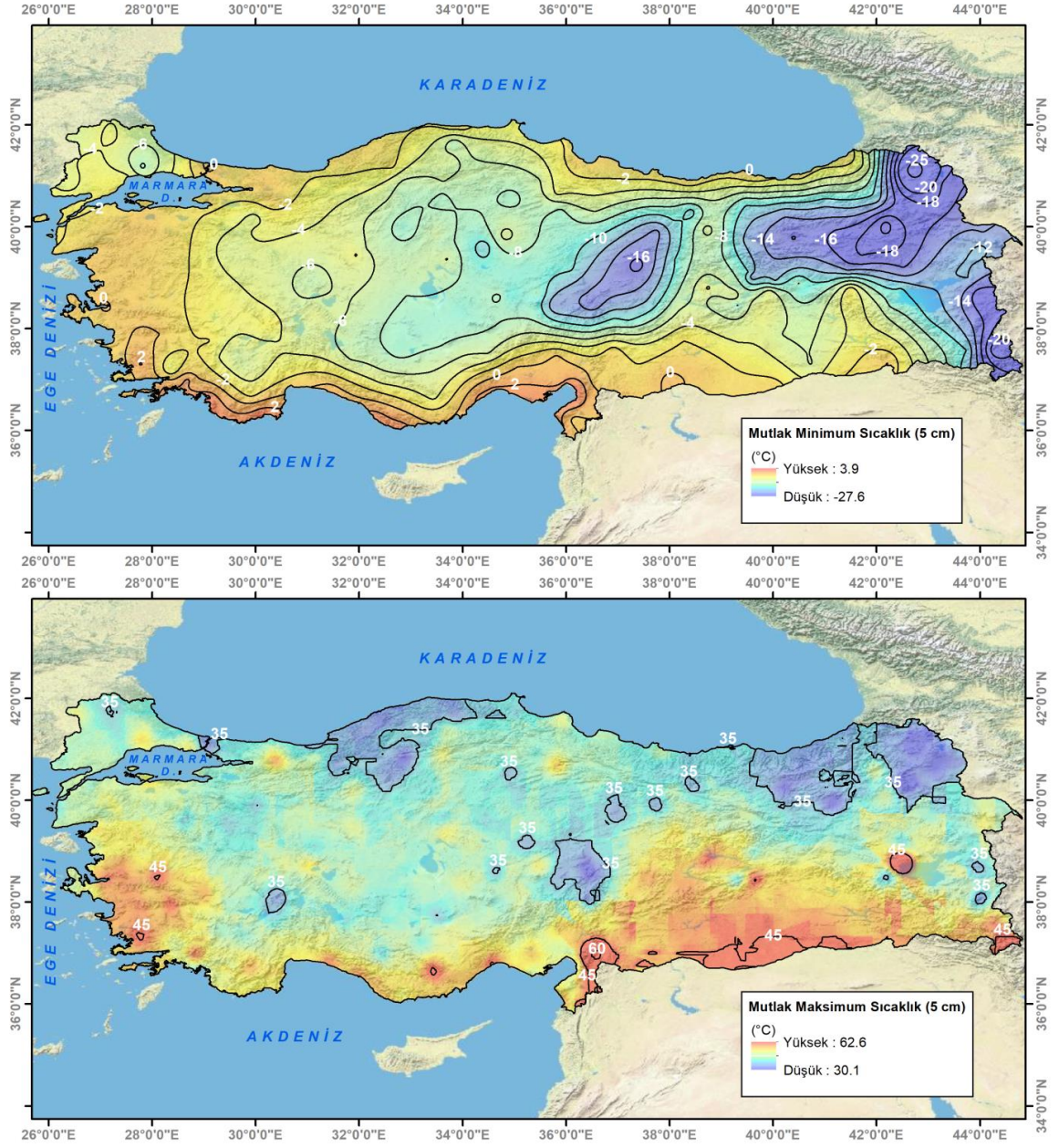
değişimlerin bölgesel dağılışı örüntüsünü ortaya koymak ve dağılışı etkileyen olası faktörler hakkında çıkarımlar yapmaktır. Analiz sonuçlarının bitki hayatı ve tarımsal planlamalara katkı sunacağı düşünülmektedir. Kullanılmış ve analiz edilmiş kritik ekstrem sıcaklık değerlerine ilişkin iş akışı Şekil 20’de gösterilmiştir.



Şekil 20. Kritik toprak sıcaklıkları ve derinliklerdeki değişimler için kullanılan iş akışının şematik diyagramı.

5.2. 5 cm Derinlikte Rasat Devresinde Kaydedilen Mutlak Minimum ve Maksimum Sıcaklıkların Dağılışı (°C)

Ordinary Kriging enterpolasyon sonuçlarına göre Türkiye’de 5 cm derinlikte mutlak minimum toprak sıcaklıkları 3.9 °C ile -27.6 °C; mutlak maksimum toprak sıcaklıkları 30.1 °C ile 62.6 °C arasında değişmektedir. Dolayısıyla mutlak minimum ve maksimum toprak sıcaklıklarında amplitüd 31.5 °C’dir. En düşük minimum toprak sıcaklıkları Ardahan (-27.8 °C), Hakkari/Yüksekova (-21.6 °C) ve Sivas-Kayseri çevresindedir (≤ -14 °C). En yüksek minimum toprak sıcaklıkları ise genellikle Akdeniz kıyılarındadır (≥ 2 °C): Dörtyol, Finike ve İskenderun için değerler sırasıyla 3.9 °C, 3.8 °C ve 3.7 °C’dir. En düşük maksimum toprak sıcaklıkları Sarıkamış (28.7 °C, Ardahan (30.6 °C), Erzurum ve Çankırı/Çerkeş çevresindedir (30.8 °C). En yüksek maksimum toprak sıcaklıkları ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ndedir (≥ 45 °C): Gaziantep/İslahiye (68 °C), Bitlis/Ahlat (60 °C) ve Şanlıurfa çevresi (51 °C) en yüksek maksimum sıcaklıkların gözlemlendiği alanlardır. İkincil en yüksek maksimum toprak sıcaklık alanları ($\cong 45$ °C), Ege ve Akdeniz kıyılarındadır ve Yüksekova’da görülmektedir (Şekil 21).



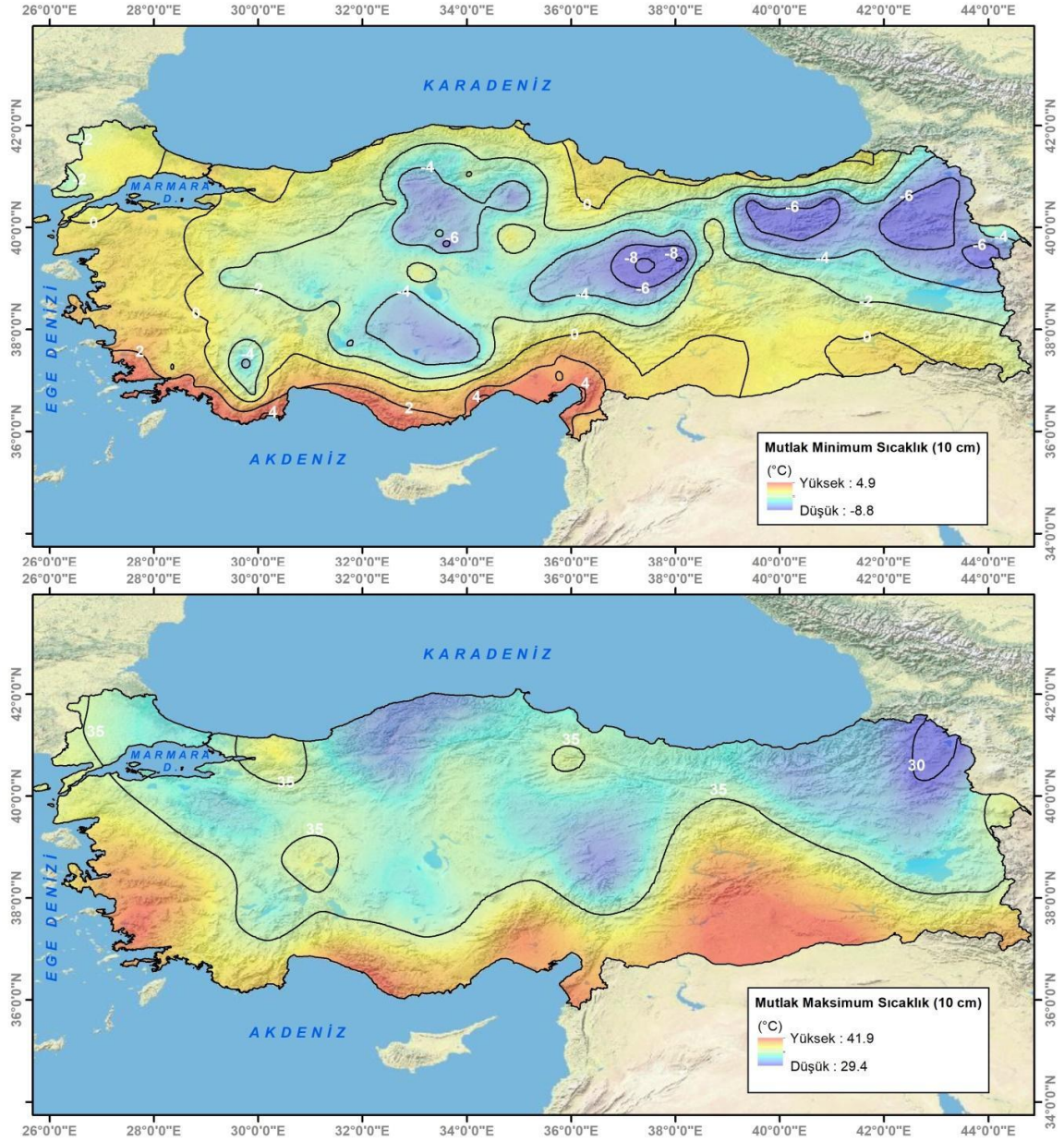
Şekil 21. 5 cm derinlikte kaydedilen mutlak minimum ve maksimum sıcaklıklar (°C).

5.3. 10 cm Derinlikte Rasat Devresinde Kaydedilen Mutlak Minimum ve Maksimum Sıcaklıkların Dağılışı (°C)

Ordinary Kriging enterpolasyon sonuçlarına göre Türkiye’de 10 cm derinlikte mutlak minimum toprak sıcaklıkları 4.9 °C ile -8.8 °C; mutlak maksimum toprak sıcaklıkları 29.4 °C ile 41.9 °C arasında değişmektedir. Dolayısıyla mutlak minimum ve maksimum toprak sıcaklıklarında amplitüd yaklaşık 13 °C’dir. Haritalamada Ardahan istasyonu, veri eksikliği bulunmasından dolayı kullanılmamıştır. En düşük minimum

toprak sıcaklıkları Sivas/Kangal ($-8.9\text{ }^{\circ}\text{C}$), Sivas/Divriği ($-8.4\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve Sarıkamış ($-7.9\text{ }^{\circ}\text{C}$) istasyonlarındadır. En yüksek minimum toprak sıcaklıkları ise genellikle Akdeniz kıyılarındadır ($\geq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$): Erdemli, İskenderun ve Finike için değerler sırasıyla $5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $4.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $4.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. En düşük maksimum toprak sıcaklıkları sırasıyla Sarıkamış ($26.5\text{ }^{\circ}\text{C}$), Arpaçay ($28.4\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve Ardahan (28.6) istasyonlarında gözlenmektedir. En yüksek maksimum toprak sıcaklıkları ise Akdeniz Bölgesi, Ege Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndedir ($\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$): Adana/Karaisalı ($46\text{ }^{\circ}\text{C}$), Muğla/Milas ($45\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve Şanlıurfa/Ceylanpınar ($44\text{ }^{\circ}\text{C}$), en yüksek maksimum sıcaklıkların oluştuğu alanlardır (Şekil 22). Yani 5 cm derinlikte Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde oluşan $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ kapalı izotermi 10 cm derinlikte artık gözlenmemektedir.



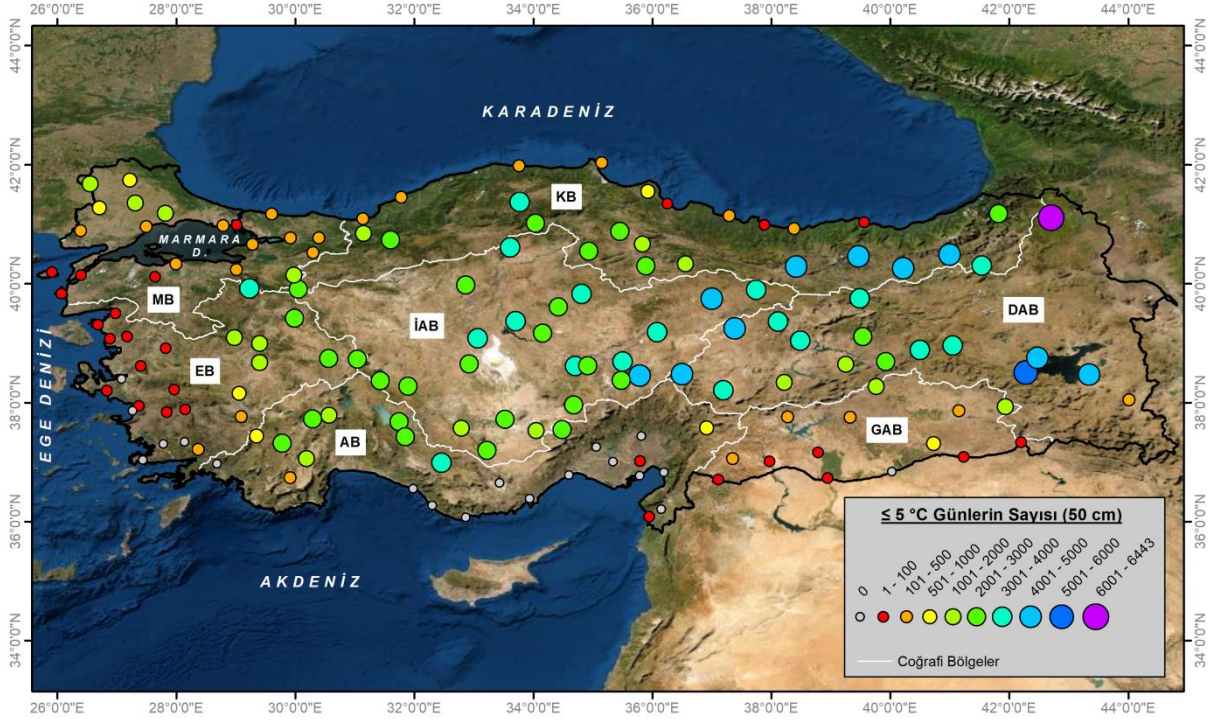


Şekil 22. 10 cm derinlikte kaydedilen mutlak minimum ve maksimum sıcaklıklar (°C).

5.4. 50 cm Derinlikte Ortalama Sıcaklığın ≤ 5 °C Olduğu Devrenin Süresi (gün)

Türkiye’de 1975-2018 döneminde 50 cm derinlikte ortalama toprak sıcaklığının 5 °C’ye eşit ve küçük olduğu günlerin uzunluğu kıyılardan iç kesimlere ve batıdan doğuya doğru gidildikçe artmaktadır. İzmir-İskenderun kıyılarında ve Ceylanpınar TİGEM istasyonunda ≤ 5 °C günlerin sayısı sıfırdır. En uzun devre Ardahan’da (6443 gün, %40) ve Tatvan’dadır (5556 gün, %35). Akdeniz Bölgesi’nde karasallık özelliği gösteren

Konya/Hadim 3469 gün (%22); Marmara Bölgesi'nde Trakya 101-2000 gün ile çevresinden farklılaşmaktadır. Doğu Karadeniz Bölümü'nde kıyı ile iç kesimler arasında denizellik-karasallık ve yükseltiden kaynaklı belirgin bir farklılık vardır. İç Anadolu Bölgesi ≤ 5 °C günlerin sayısı dağlık ve engebeli Yukarı Kızılırmak Bölümü hariç 2001-4000 gün arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 23).



Şekil 23. 50 cm derinlikte ortalama toprak sıcaklığının ≤ 5 °C olduğu devrenin süresi (gün).

5.5. Tartışma

Türkiye’de toprak sıcaklıklarının kritik değerleri ve derinliklerdeki değişimleri, 5 cm ve 10 cm derinliklerde rasat devresinde kaydedilen minimum ve maksimum sıcaklıkların dağılışı ve 50 cm derinlikte ortalama sıcaklığın ≤ 0 °C ve ≤ 5 °C olduğu devrenin süresi (gün) şeklinde ortaya konmuştur.

Ordinary Kriging enterpolasyon sonuçlarına göre Türkiye’de 5 cm derinlikte en düşük minimum toprak sıcaklıkları kuzeydoğu Anadolu, Yüksekova ve İç Anadolu-Doğu Anadolu geçişindeki engebeli dağlık alanlarda gözlenmiştir. Bu alanlar bir anlamda

tarımsal faaliyetlerin zayıf olduğu genelde soğuşa dirençli yem bitkilerinin yetiştirildiği ve hayvancılık faaliyetinin yürütüldüğü yerlere karşılık gelmektedir. En düşük maksimum toprak sıcaklıklarının gözleendiği Sarıkamış, Ardahan, Erzurum ve Çankırı/Çerkeş'de benzer ekonomik faaliyetlerin yürütüldüğü alanlardır.

Türkiye'de 5 cm derinlikte 45 °C ve üstü mutlak maksimum sıcaklıklarının Van Gölü kıyısı (Ahlat çevresi) dışında İslahiye ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi ovalarında gözlenmesi bu sahaların diğer bölgelere göre tarımsal üretimde (buğday ve pamuk başta olmak üzere) kırılmağını artıran bir özelliktir. Bu sıcaklıklar genellikle 2010 yılı ve sonrasında haziran ve temmuz ayının ikinci yarısında ve ağustos başlarında gözlenmiştir. Temmuz ayının ikinci yarısında gözlenen maksimum toprak sıcaklıklarının büyüklüğü ve etki alanı daha geniştir (özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde). Bitlis'in buğday üretim merkezi olan Ahlat bölgesinde ise genellikle 2010, 2011 ve 2012 yıllarının ekim ayında ≥ 45 °C üzeri toprak sıcaklıkları gerçekleşmiştir. Bu anlamda bölgesel ölçekte etkili olan sıcak hava dalgaları (2010 yılı sıcak hava dalgası gibi) ile sığ toprak katmanında gerçekleşen mutlak maksimum sıcaklıklar arasında güçlü bir ilişki olabilir.

10 cm derinlikte mutlak minimum ve maksimum toprak sıcaklıklarının büyüklüğü ve değişkenliği 5 cm derinliğe göre azalmıştır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi hariç 10 cm'lik toprak katmanında özellikle mutlak minimum sıcaklıklardaki yüksek değişim dikkat çekicidir.

50 cm derinlikte ortalama sıcaklığının ≤ 5 °C olduğu en uzun devre, Ardahan bölgesinde (6443 gün, %40) gözlenmiştir. Bu sonuç şaşırtıcı olmamakla birlikte bu sürenin Tatvan'da 44 yıllık dönem 5556 gün (%35) olması dikkat çekicidir. Bu sonuç Tatvan'da vejetasyon devresinin çevre bölgelere göre daha kısa olduğuna işaret etmekte ve bölgenin meyve yetiştiriciliği açısından kısıtlandığını bize göstermektedir. Bu koşulların oluşmasında hava kütlelerin etkisi ön plana çıkmaktadır ki kışın Sibiry'a'dan gelen soğuk ve az nemli polar hava kütleleri bölgede etkindir. Dahası İç Anadolu'daki soğuk hava kütlelerinin de Rahva Ovası üzerinden gelerek Tatvan iklimini şekillendirdiği bilinmektedir (Aksakal, 1998).

ALTINCI BÖLÜM

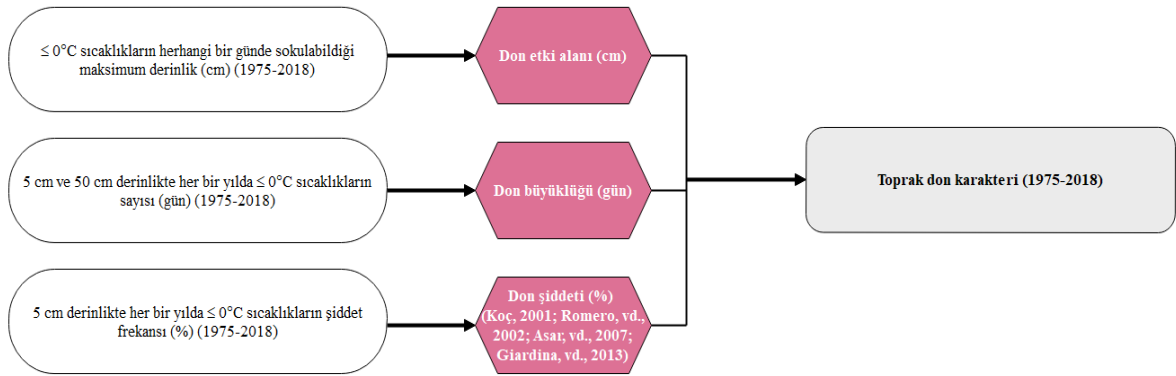
TOPRAK DONU

Snyder ve Abreu (2005)'ya göre don (frost) ya da donma (freezing) teriminin anlamı teknik, halk ve yetiştirici açısından farklı anlamlara karşılık gelmektedir. Teknik açıdan don, çiylerin donması ve buhardan buza faz değişimini; halk açısından don, bitkilerde donmadan kaynaklı yaralanmayı; yetiştiriciler açısından don ise 0 °C'ye eşit veya daha düşük bir hava sıcaklığını ifade etmektedir. Literatürde yapılan tanımlamalara göre don, ya yüzey ya da 1.25-2.0 metre yükseklikte ölçülen 0 °C'ye eşit ve daha düşük ya da 0 °C'den düşük hava sıcaklık değerlerini ifade etmektedir (Snyder ve Abreu, 2005). Agrometeoroloji açısından don, kabaca 0 °C'den düşük; klimatoloji penceresinden ise 0 °C'ye eşit ve daha düşük hava sıcaklık değerlerine karşılık gelmektedir. Burada toprak donu ile bahsedilen genellikle suyun sıvı halden katı hale geçişi ve dolaylı olarak 0 °C veya daha altı sıcaklıklardır.

Bitkilerin köklerinin doğal ortamlarında incelenmesindeki sınırlamalar nedeniyle, köklerin doğal ortamlarında dona karşı dayanıklı mı yoksa kaçınan bir davranış mı sergilediği şu ana kadar bilinmemektedir. Bununla birlikte, doğal ortam dışında (laboratuvarlarda) yapılan deneylere dayanarak ve incelenen türe bağlı olarak bu davranışlardan herhangi biri olabileceği iddia edilmektedir. Donmaya (frost) dayanıklı köklerde kesin buz yayılma yolu nasıldır? Sorusunun cevabı da doğal olarak bilinmemektedir (Ambroise, vd., 2020). Bunların dışında köklerde donma olayı doğada nadir de olsa gözlenmektedir. Bu olay özellikle ağaçlarda kök bölgesi uzun süre donma direnç aralığının dışına çıktığında gerçekleşmektedir. Böyle bir durumda ksilemlerden su iletimi durmakta böylece kabuk dokusu uzun süre güneş ışınlarına maruz kalarak kambiyuma kadar kuruma gerçekleşebilmektedir (Lehmann, 1953). Burada her bitkiye özgü belirli sıcaklık aralıklarında buz çekirdeklenmesini başlatan *Buz Çekirdekleyici Ajanlar*'ın ve yoğunluğunun önemi büyüktür (Ambroise, vd., 2020). Örneğin büyük adaçayı (*Artemisia tridentata*) köklerinin, -5 °C ile -12 °C arasındaki Buz Çekirdekleyici Ajanlar ürettiği ve yaklaşık -12 °C'de sürgün ve köklerde belirgin ve bol miktarda buz çekirdekleyici partiküllerin olduğu bilinmektedir (Hill, vd., 2016). Dahası kışın yapraklarını döken (*Chamaephytes*) ve her daim yeşil yapraklarını dökmeyen bitkilerde (*Hemicryptophytes*) kök bölgesi donma direnç aralıkları sırasıyla -10/-25 ve -7/-20 °C

arasında değişmektedir ve genellikle gövde ve yaprak kesimlerine göre kök bölgesinin donma direnci düşüktür (Sakai ve Larcher, 1987).

Her bitkinin vejetasyon süresince dayanabildiği en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri ile sınırlanmış olması, don olayının şiddet ve süresi, başlama ve bitiş zamanları (Temuçin, 1991: 68) ve don maksimum kalınlığının (Erinç ve Bener, 1963) önem kazanmasına yol açmaktadır. Bu araştırmada 0 °C veya daha düşük sıcaklıkların sokulabildiği maksimum derinlik yani don tabakasının herhangi bir zaman diliminde eriştiği maksimum kalınlığının haritası oluşturularak, don etki alanı ortaya konulmuştur. Ayrıca aylık alansal dağılışı ve genel dağılışı etkili olan coğrafi etmenler de değerlendirilmiştir. Bu bölümde don tabakasının kalınlığı dışında tarımsal planlama ve yönetim açısından önemli olan toprak don süresi (gün) ve şiddeti gibi yeni değişkenler, serin iklim tahıllarında (özellikle de buğdayda) optimum tohum atım derinliği ve tohum çimlenmesi ve kök gelişim açısından önemli kritik derinlikte (5 cm) ele alınarak incelenmiştir. Burada 5 cm ile 50 cm derinlikte don süresinin değişimine de bakılarak değerlendirmeler uzun dönem ortalaması ölçeğinde yapılmıştır (Şekil 24).



Şekil 24. Toprak don karakterini (1975-2018) belirlemede kullanılan iş akışı diyagramı.

6.1. Veri ve Yöntem

Toprak donu ve donma derinliği, bitki gelişimi ve inşaat sektörü için önemlidir. Toprak donunun derinliği, doğrudan toprak don tüpü ile ve dolaylı olarak 0 °C izotermine göre toprak sıcaklığı diyagramlarından tahmin edilebilmektedir. Sonuçlar, toprak donma borusu ile ölçülen toprak donma derinliğinin genellikle toprak sıcaklık diyagramlarından tahmin edilenden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, toprak sıcaklıkları

yalnızca verilen beş derinlikte ölçüldüğünden ve sıfır izoterm derinliğinin bunların interpolasyonu ile belirlendiğinden yani grafik işlemeden kaynaklanabilmektedir (Středová, vd., 2012). Buna rağmen toprak sıcaklığı interpolasyon yönteminin, toprak donma tahmininin zorluk ve zaman alıcı manuel ölçüm olmadan yapılmasına olanak tanımaktadır (Středová, vd., 2012).

Bu araştırmada toprak donu ve donma derinliği, en düşük aylık ortalama minimum toprak sıcaklık değerlerinin interpolasyonu ile hazırlanan toprak sıcaklık diyagramlarından tahmin edilmiştir. Bununla beraber Ardahan, Sarıkamış, Suşehri ve Bayburt istasyonlarında don derinliği, 100 cm'yi geçmesinden dolayı diyagramlar yerine lineer interpolasyon yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir.

Don süresi (gün); 5 cm ve 50 cm derinlikte 0 °C'ye eşit ve daha düşük toprak sıcaklık değerlerinin gözlemlendiği gün sayıları ile hesaplanmıştır. Don şiddeti ise 5 cm derinlikteki don olaylarının oluşum yüzdeleri (%) bir başka deyişle olasılıkları dikkate alınarak ortaya konmuştur.

Amaç, alansal dağılıfta etkili olan coğrafi etmenleri tanımlamaktır. Literatürde toprak donu için geliştirilmiş bir don şiddet sınıflandırmasına rastlanılmamıştır. O nedenle bu araştırmada kullanılan toprak don şiddet sınıflaması, 2 m siper içi sıcaklığına göre bitkilerin gördüğü zarar durumuna göre oluşturulmuş don sınıflandırmasıdır. Sadece eşik değerler dikkate alınarak hafif, orta ve şiddetli don olarak tanımlandığı bu sınıflamaya çok şiddetli sınıfı da eklenmiştir (Asar, vd., 2007; Koç, 2001). Şiddet derecesine göre bitkide oluşabilecek zararlarda yaklaşık olarak tanımlanmıştır (Giardina, vd., 2013; Romero, 2002). Araştırmada kullanılmış don şiddet sınıflandırması Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5

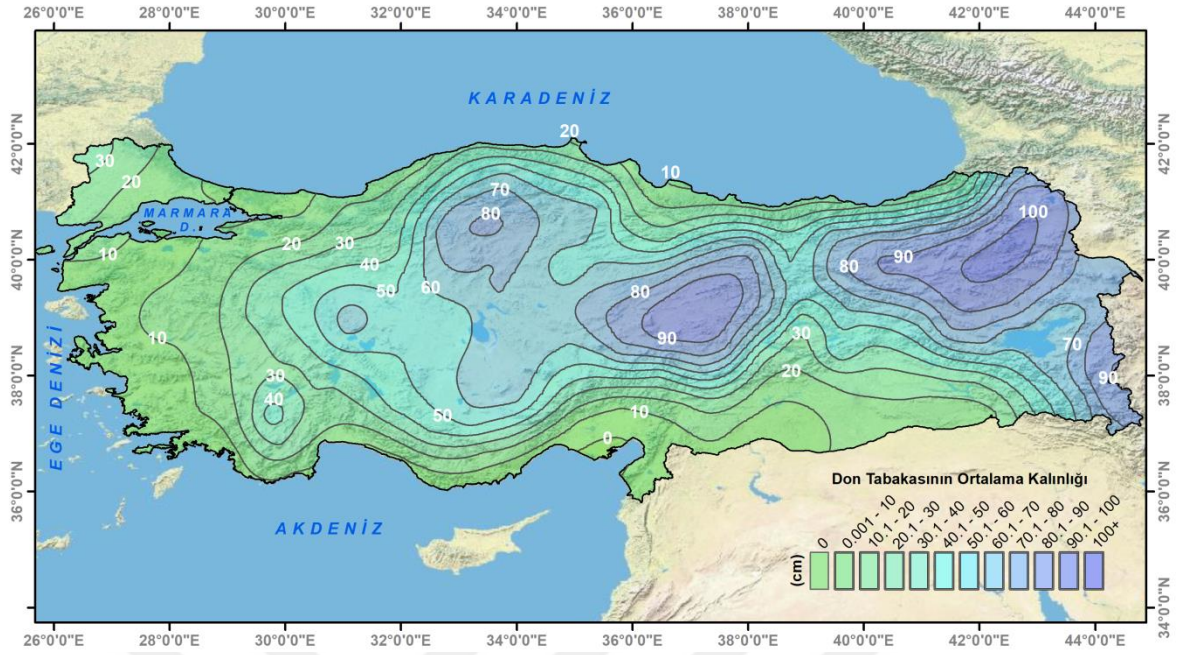
Don şiddet sınıflaması

Don	Şiddet	Yaklaşık Zarar
Hafif	0.0 ile ≥ -2.2 °C	Yapraklarda sararma ve lokal yanıklar
Orta	< -2.2 ile ≥ -4.4 °C	Yapraklar tamamen etkilenir, tepe büyüme noktalarında hasar ve dokuların karaması
Şiddetli	< -4.4 ile ≥ -10.0 °C	Yaprakların ölümü, tepe büyüme noktalarında gövde kısımlarında ve boğumlarda hasar
Çok Şiddetli	< -10.0	Yaprakların ölümü, tepe büyüme noktalarında gövde kısımlarında, boğumlarda ve tomurcuklarda daha fazla hasar

Not. Asar, vd. (2007); Giardina, vd. (2013); Koç (2001) ve Romero (2002)'den uyarlanmıştır.

6.2. Don Etki Alanı (cm)

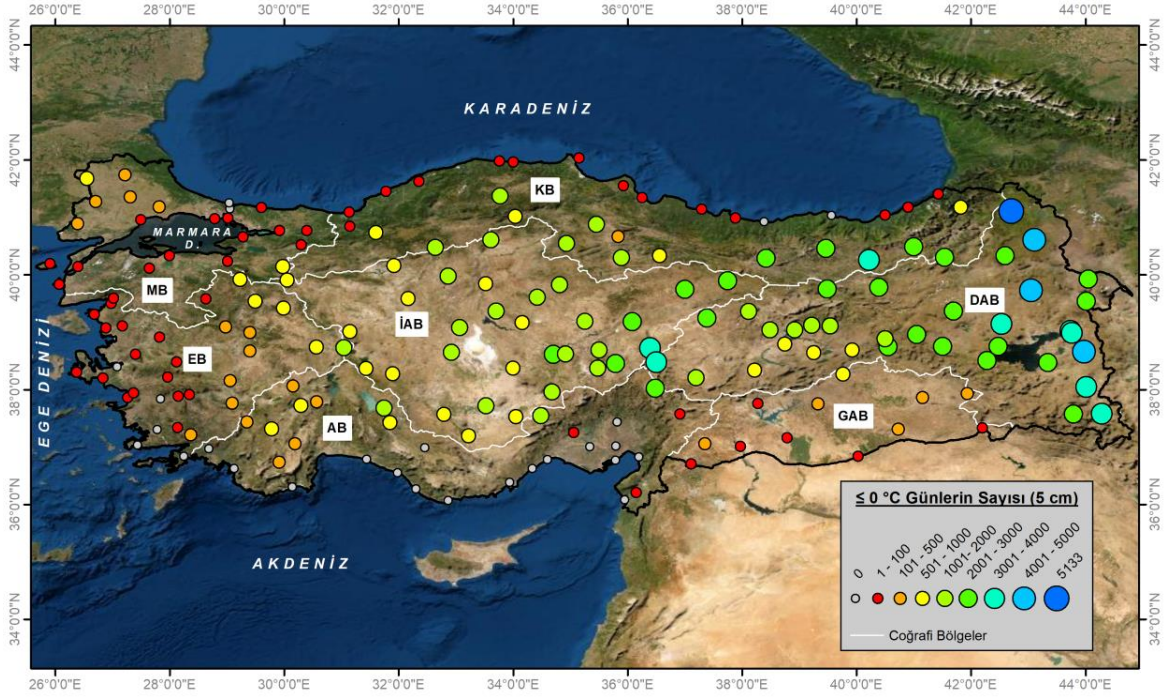
Türkiye’de don tabakasının ortalama derinliği batıdan doğuya doğru ve kıyıda iç kesimlere gidildikçe artmaktadır ancak yerel ölçekte farklılaşmalar da söz konusudur. Enlemsel dağılışı genellikle yükselti ve karasallıktan dolayı bozulmaktadır. İzmir-Samandağ kıyıları (Çukurova dâhil), Giresun ve Akçaabat kıyıları, Sarıyer-Kumköy kıyısı, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde Akçakale ve Birecik’te toprak donu görülmemektedir. Iğdır Ovası ve Van Gölü çevresi hariç Doğu Anadolu Bölgesi genelinde, Sivas ve Kayseri çevresinde ve Bayburt’ta donun 100 cm derinliğe değin etkili olduğu tahmin edilmektedir. Çukurova (0 cm), Çarşamba Ovası (6 cm) ve Iğdır Ovası’nda (50 cm) don penetrasyonu çevresine göre belirgin bir şekilde düşmektedir. Aksine Trakya (0-40 cm), Emirdağ-Bolvadin çevresi (80 cm) ve Çankırı çevresinde (85 cm) don penetrasyonu çevresine göre belirgin bir şekilde artmaktadır (Şekil 25).



Şekil 25. Don tabakasının ortalama kalınlığı (cm).

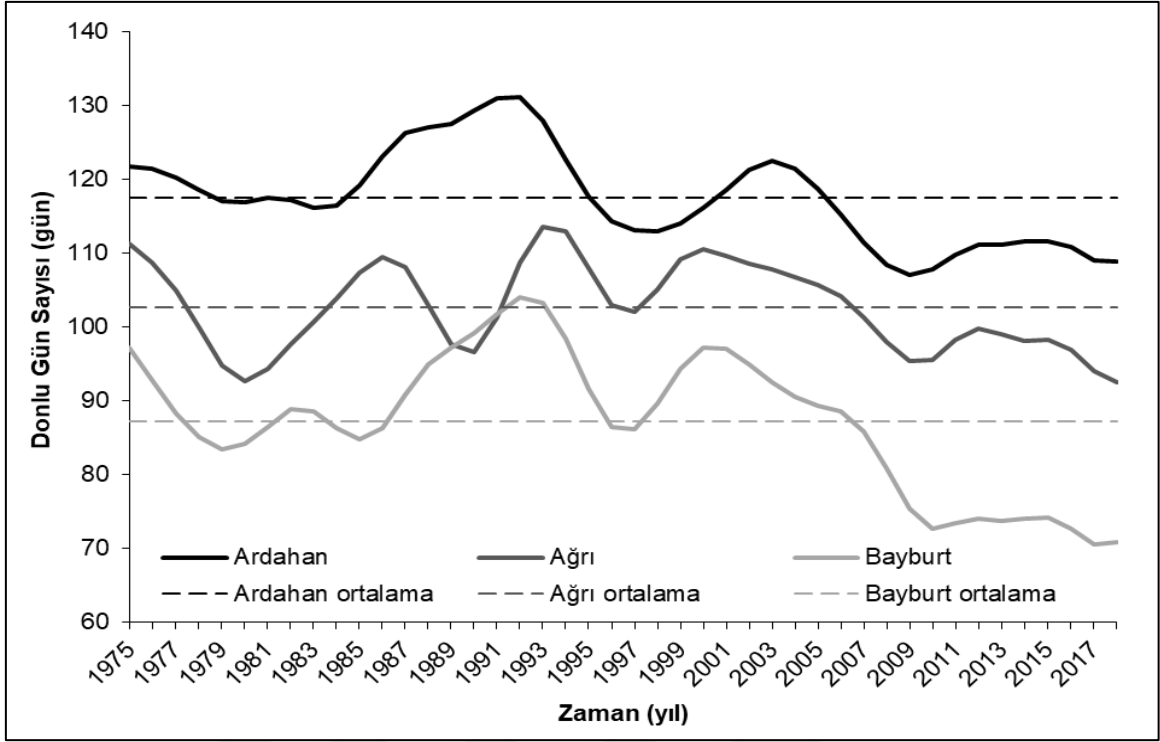
6.3. 5 cm Derinlikte Ortalama Don Büyüklüğü (gün-derecesi)

Türkiye’de 5 cm derinlikte 1975-2018 döneminde ortalama don büyüklüğü (bir anlamda süresi ya da uzunluğu) kıyılardan iç kesimlere ve batıdan doğuya doğru gidildikçe genellikle artmaktadır. Türkiye üzerinde donlu gün sayıları 0-5133 gün (%0-32) arasında değişmektedir. Özellikle plato ve dağlık alanlarda (> 1500 m) donlu gün sayıları 2500 günün (%16-32) üzerine çıkmaktadır. Genellikle İzmir’den başlayarak Samandağ kıyıları (Çukurova dâhil), Giresun ve Akçaabat kıyıları ve Sarıyer-Kumköy kıyısında donlu gün sayısı sıfırdır. Diğer kıyılarda donlu gün sayısı 1-100 gün arasında değişmektedir. Kıyılarda donun en etkili olduğu yer Kastamonu-Bozkurt’tur (94 gün). İç Anadolu Bölgesi’nde donlu gün sayısı genellikle 501-2000 gün; Doğu Anadolu Bölgesinde ise genellikle 1001-3000 gün arasında değişkenlik göstermektedir. Donlu günler Doğu Anadolu Bölgesi’nin en batı ucunda Uzunyayla yöresinde ve en doğu ucunda Kars Ovası, Ağrı Dağı, Kağızman çevresi, Eleşkirt çevresi, Özalp çevresi, Başkale Ovası ve Şemdinli çevresinde 3001-5000 gündür. Don süresi en uzun bölge 5133 gün ile Ardahan çevresidir. Özellikle Bayburt (3818 gün), Yukarı Ceyhan (Dibek-Binboğa Dağları) çevresi (2062 gün), Teke dağlık yöresi (0-1054 gün) ve Trakya kesimi (0-1000 gün) yüksek donlu gün sayısı ile çevresinden farklılaşmaktadır (Şekil 26).



Şekil 26. 5 cm derinlikte ortalama don büyüklüğü (gün-derecesi).

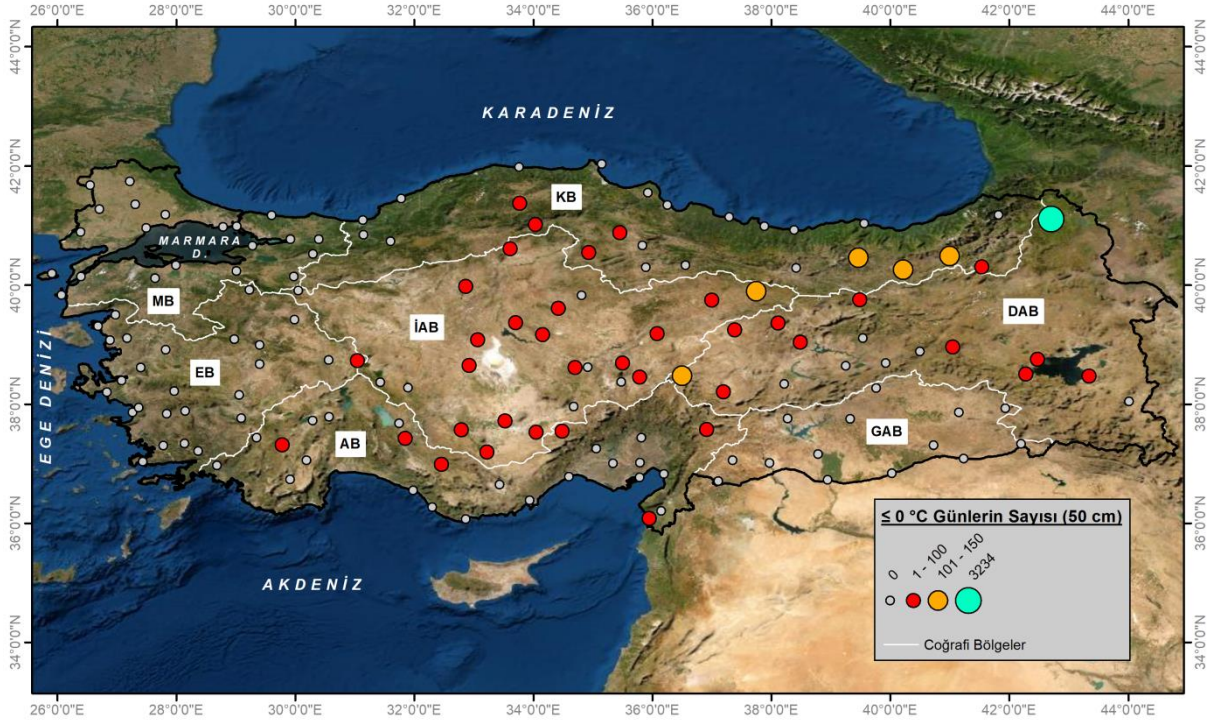
Türkiye’de sığ toprak katmanında donlu gün sayılarının zamansal değişimine bakıldığında 1992-93 yıllarından sonra belirgin bir azalma eğilimi vardır. Son 10 yılda donlu gün sayılarındaki düşüş dikkat çekicidir ki 2010 yılı en az don olayının gözleendiği yıl olmuştur. İkinci en düşük don süresinin gözleendiği yıl 2018’dir. Örnek olarak seçilen üç istasyonda (Ardahan, Bayburt ve Ağrı) donlu gün sayılarındaki bu azalma eğilimi görülmektedir ve uzun dönemli eğilim davranışı birbirine benzemektedir ancak donlu günlerin en uzun yaşandığı Ardahan’da nispeten daha düşük sıklıklı bir dalgalanma ve zayıf bir değişkenlik vardır (Şekil 27).



Şekil 27. Ardahan, Ağrı ve Bayburt istasyonlarında 5 cm derinlikte donlu gün sayısının zamansal değişimi.

6.4. 50 cm Derinlikte Ortalama Don Büyüklüğü (gün-derecesi)

Türkiye’de 1975-2018 döneminde 50 cm derinlikte, ortalama toprak sıcaklığın 0 °C’ye eşit ve küçük olduğu günlerin uzunluğunun dağılışı örüntüsü 5 cm derinlikten farklı olup bölgesel değişkenlik azalmıştır. Marmara, Ege ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde bu derinlikte artık klimatolojik anlamda don olayı gerçekleşmediği için donlu gün sayısı sıfırdır. En yüksek donlu gün sayısı 3234 gün ile Ardahan’dır. İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesi’nin büyük bölümünde donlu gün sayısı 1 ile 100 gün arasında değişkenlik göstermektedir. Buna ek olarak Sivas/Zara ve Kayseri/Sarız’da donlu gün sayısı sırasıyla 123 ve 117’dir. Doğu Karadeniz Bölümünün kuzey yamaçlarında denizellikten dolayı donlu günler yaşanmaz iken güney yamaçlarda yer alan İspir, Gümüşhane ve Bayburt’ta orografik özellikler ve hava kütlelerinden kaynaklı donlu günler dikkati çekmektedir ki donlu gün sayıları 101-150 gün arasında değişmektedir (Şekil 28).

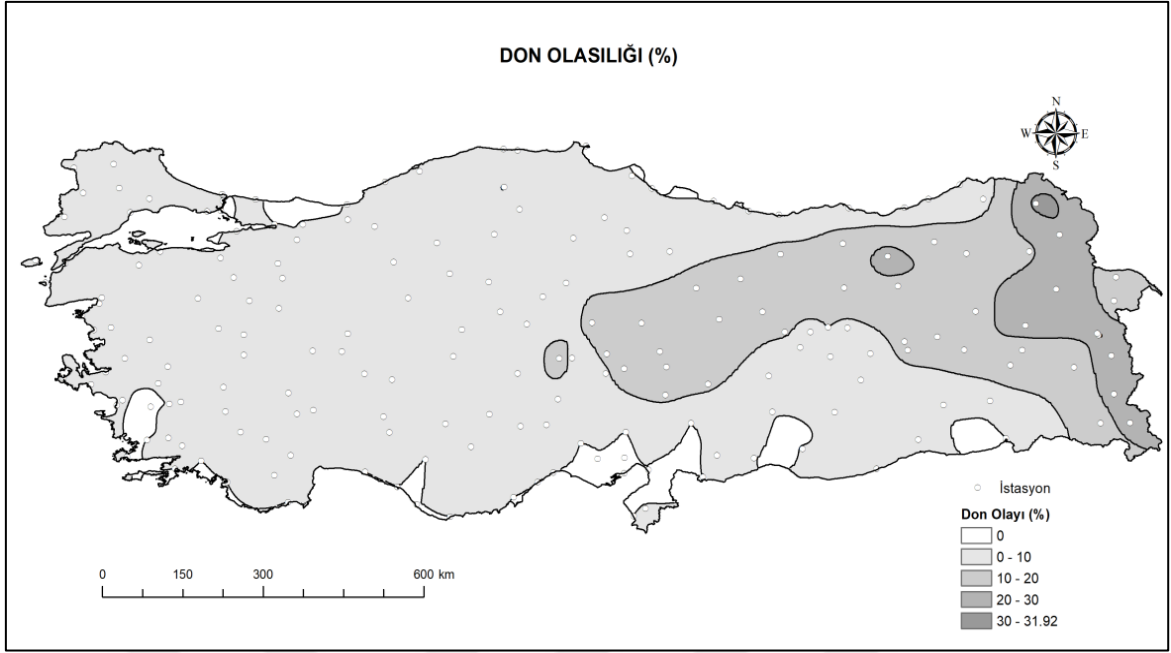


Şekil 28. 50 cm derinlikte ortalama don büyüklüğü (gün-derecesi).

6.5. 5 cm Derinlikte Don Şiddeti (%)

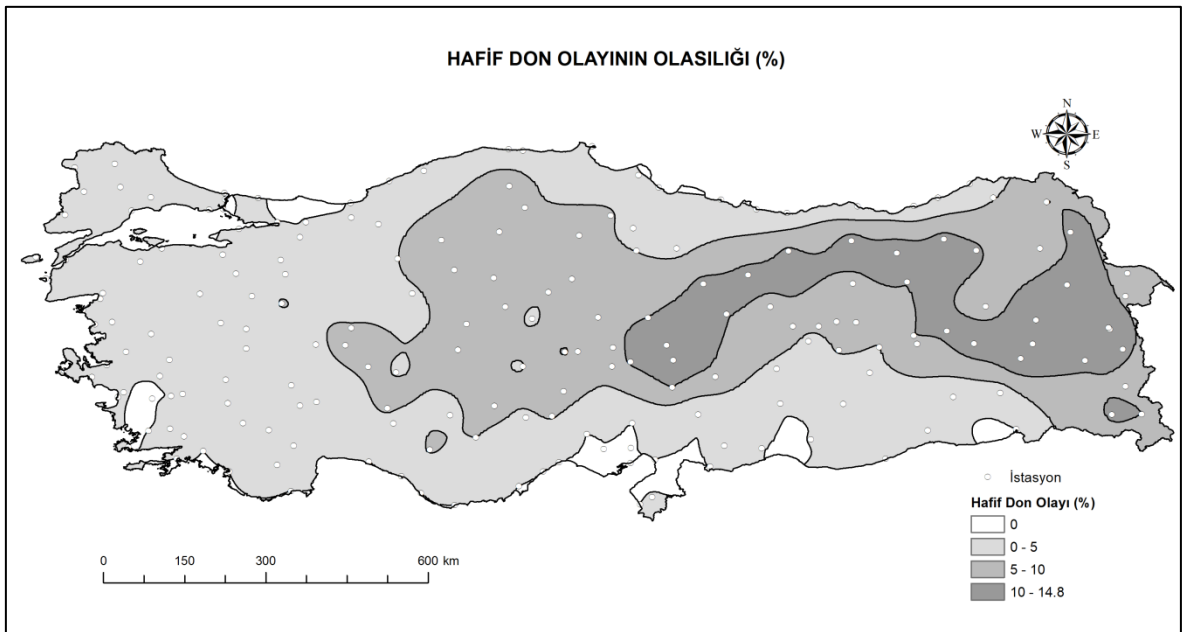
5 cm derinlikte donlu günlerin yüzdesi olarak ifade edilen don olasılığı dağılımını esas olarak karasallık, yükselti ve planetar etmenler (hava kütleleri) kontrol etmektedir. Su kütleleri, (göl ve barajlar) yerel ölçekte don olasılığını azaltıcı bir etmen olarak ön plana çıkmaktadır. Özellikle Doğu Anadolu Bölgesi'nde Van Gölü, Atatürk, Keban, Karakaya ve İlsu barajları, çevresinde don olasılığı örüntüsünü şekillendirmektedir.

Kıyılarda özellikle kıyı ovalarında (Çukurova, Balat Ovası, Dalaman Ovası, Bafra ve Çarşamba Ovası) ve Çatalca Kocaeli platoları yöresinde don görülme olasılığı sıfırdır. Doğu Karadeniz ardı, İç Anadolu Bölgesinin doğu kesimi ve Doğu Anadolu Bölgesinin genelinde don olasılığı %10'un üzerindedir. Özellikle Ardahan-Muş-Hakkâri üçgeninde (Van Gölü ve çevresi hariç) ve Bayburt'ta toprak don olasılığı oldukça yüksektir (> %20). En yüksek don olasılığı yaklaşık %32 ile Ardahan çevresindedir (Şekil 29).



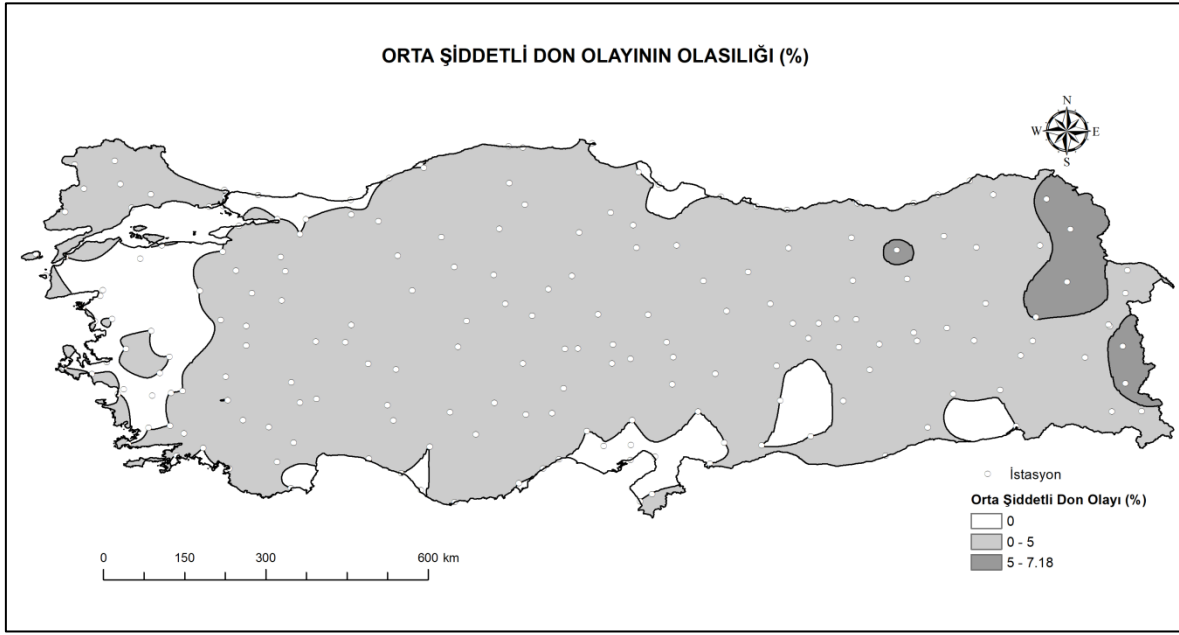
Şekil 29. 5 cm derinlikte don olasılığı (%).

Türkiye topraklarında hafif şiddetli donların dağılışında yükselti ve karasallığın etkisi ön plana çıkmaktadır. Karasal iklimin gözleendiği alanlar dışında Akdeniz iklimin etkili olduğu sahalarda hafif şiddetli toprak donlarının olasılığı %5'in altındadır. Doğu Anadolu Bölgesi'nin iç kısımları ile Hakkâri yöresinde hafif şiddetli donların frekansı artmaktadır ve don olasılığı %10'un üzerindedir. Hafif şiddetli don en sık gözleendiği yer, %15 olasılıkla Tatvan'dır (Şekil 30).



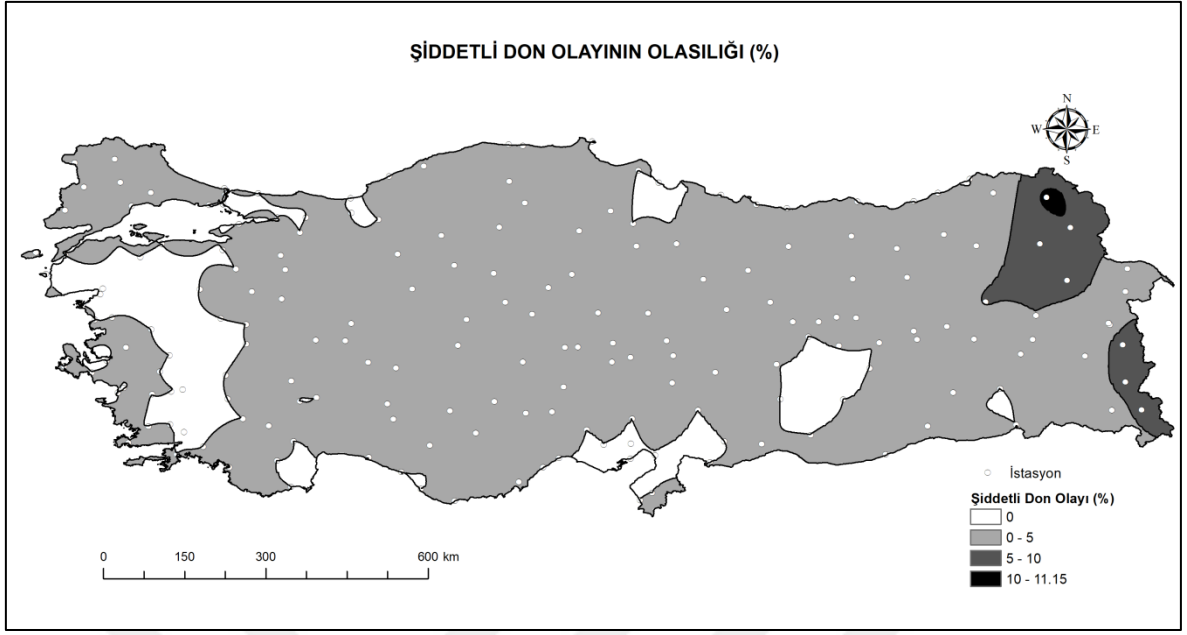
Şekil 30. 5 cm derinlikte hafif şiddetli don olasılığı (%).

Orta şiddetli donların olasılık dağılışında bölgesel değişkenlik düşüktür ve bazı bölgeler dışında tek düze (uniform) bir dağılış mevcuttur. Bu bölgeler, %5 üzeri don olasılığının gözleendiği şiddetli karasal karakterde Ardahan çevresi, Kars Ovası, Pasinler çevresi, Malazgirt çevresi, Özalp çevresi, Çaldıran çevresi ve Bayburt'tur. Buna ek olarak yoğunlukla hafif şiddetli donların gözleendiği Ege Bölgesi'nin önemli bir kısmında donun şiddeti iyice azalmıştır (Şekil 31).



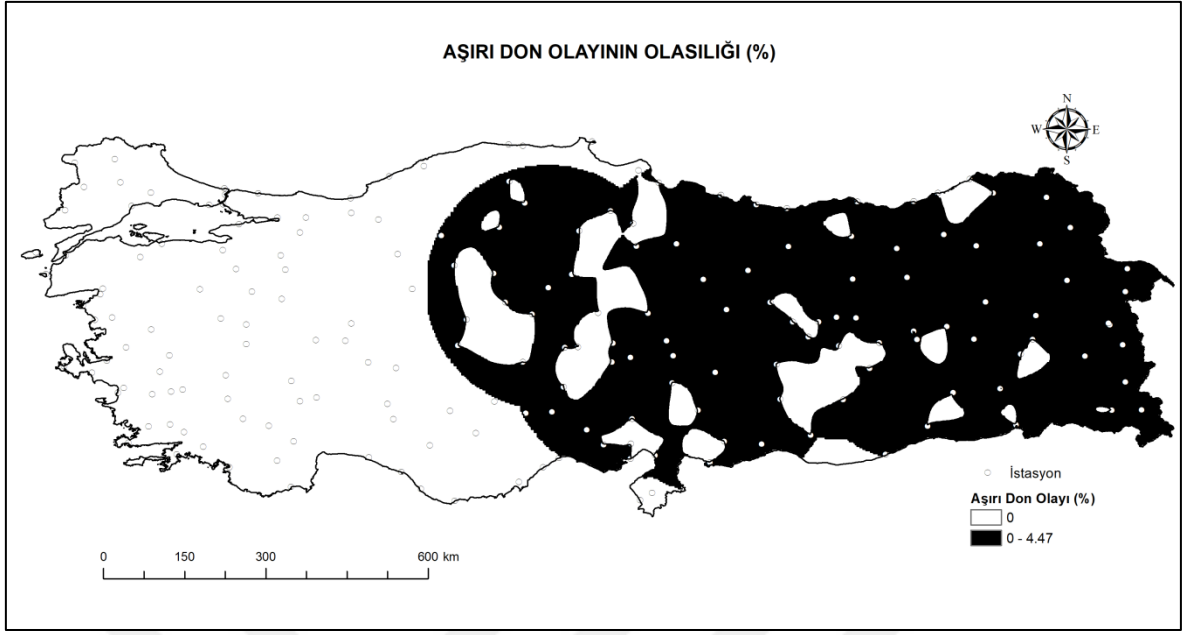
Şekil 31. 5 cm derinlikte orta şiddetli don olasılığı (%).

Şiddetli donların olasılık dağılışı orta şiddetli donların olasılık dağılışına benzemektedir ancak şiddetli karasallığın gözleendiği bölgelerde büyüklük artmıştır ve Bayburt'ta şiddetli donların olasılığı azalmıştır. En yüksek değer %11.15 ile Ardahan'dadır (Şekil 32).



Şekil 32. 5 cm derinlikte şiddetli don olasılığı (%).

Aşırı şiddetli donların olasılık dağılışı diğer don şiddet basamaklarında gözlenen örüntüden tamamen farklıdır. Türkiye'nin batı yarısında aşırı şiddetli donlar etkili değil iken doğu yarısında (*İç Anadolu Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Karadeniz Bölgesi ardı*) etkilidir. Aşırı şiddetli donların dağılışında yükselti, karasallık ve yeryüzü şekillerinin etkisi ön plana çıkmıştır. En yüksek değer %4.5 ile Ardahan'da olup Yüksekova, Özalp, Kars, Hınıs, Ağrı ve Sarıkamış'ta aşırı şiddetli don olasılığı %1-2 arasındadır (Şekil 33).



Şekil 33. 5 cm derinlikte aşırı şiddetli don olasılığı (%).

6.6. Tartışma

Türkiye’de toprak don karakterinin bölgesel değişimi; don etki alanı (cm), 5 cm ve 50 cm derinlikte ortalama don büyüklüğü (gün-derecesi) ve 5 cm derinlikte don şiddeti (%) şeklinde üç başlık altında incelenmiştir.

Türkiye’de toprak donunun etki alanı (don derinliği) araştırma sonucuna göre Ardahan-Tercan-Yüksekova üçgeninde, 1500 metrenin üstünde yer alan alanlarda, tahmin edilen ortalama don derinliği 100 cm’den daha fazladır. Dahası Sivas’ta Kangal ve Suşehri çevresi ile Kayseri-Sarız çevresi ve Bayburt’ta toprak don derinliğinin 1 metreden fazla olması kuvvetle muhtemeldir. Daha önce 0 °C’nin altındaki hava sıcaklık değerlerinin kullanıldığı don indeksine (°C-gün) göre yapılmış don penetrasyon derinliği haritasında özellikle Erzurum ve Kars çevresinde don derinliğinin 1.6 metreye ulaştığı öne sürülmektedir (Sağlık ve Güngör, 2008). Bu anlamda ulaştığımız sonuçlarda da bu bölgede don derinliğinin 1 metreden fazla olduğu tespit edilmiş ancak elimizde daha derin ölçüm bilgisi olmadığı için daha kesin tahmini bir değer verilememiştir. Sağlık ve Güngör (2008) tarafından yapılan çalışmada ayrıca don penetrasyonunun Doğu Anadolu Bölgesi’nin iç kesimlerinden İç Anadolu Bölgesi’nin doğu kesimlerine kadar 80-99 cm’ye kadar ulaştığı, kıyı bölgelerinde ise (Batı Karadeniz hariç) 40 cm’den daha az olduğu ortaya konulmuştur. Dahası Türkiye’nin iç kesimleri ve Yıldız Dağları Bölümü’nde olası don derinliğinin 60-79

cm olduğu ileri sürülmüştür (Sağlık ve Güngör, 2008) ancak bu sonuçlar ile bu araştırmada ulaşılan sonuçlar, İç Anadolu Bölgesi dışında tutarlılık göstermemektedir. Öncelikle hava sıcaklığına dayalı don penetrasyon değerleri toprak sıcaklığına dayalı don penetrasyon değerlerinden bariz bir şekilde büyüktür. Bu nedenle toprak sıcaklıklarından elde edilen don derinliği haritalarının da ulaşım hatlarının planlanmasında kullanılması uygun değildir. Ancak Doğu Anadolu Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesinin doğusunda donun en az 1 metre derinliğe kadar etkili olduğu kabulünden hareketle ortaya koyduğumuz harita ulaşım ağlarının tasarımında yardımcı bir araç olarak kullanılabilir.

Akdeniz, Ege Denizi, Marmara Denizi ve Doğu Karadeniz kıyılarının bazı kesimlerinde toprak donu görülmemektedir. Bu kıyılarda toprak donunun gözlenmemesi ve Van Gölü çevresinde don derinlik eğri değerlerinin azalması (60-70 cm) ve eğrilerin genişlemesi don oluşma olasılığı ve don şiddet olasılığının zayıfladığının bir göstergesidir. Bir başka deyişle bahsedilen bölgelerdeki su kütlelerinin dona karşı koruyucu bir etkisi olduğu görülmektedir.

Donlu günlerin dağılışı örüntüsünde Trakya kesimi, İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesi dışında önemli tarım ürünlerinin yetiştirildiği daha sıcak subtropikal iklim bölgelerinde önemli seviyede kök bölgesi don hasarı riski altında olabilecek bir alan ortaya çıkmamıştır. Özellikle İzmir-Samandağ kıyıları (Çukurova dâhil), Giresun ve Akçaabat kıyılarında donlu günlerin gözlenmemesi dona duyarlı türlerin yetiştirme kabiliyetini artırmaktadır.

Toprak katmanında 5 cm derinlikte donlu gün sayılarındaki zamansal değişim, hava sıcaklığı değişkeni ile açıklanabilmektedir. Nitekim donlu gün sayılarında 1992-93 değişim noktasından sonra gidişlerin azalması ve son on yılda özellikle 2010 ve 2018'de en düşük donlu günlerin gözlenmesi hava sıcaklık değişimleri ile tutarlılık göstermektedir (Çelik ve Özalp, 2011; Erlat ve Türkeş, 2015; Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2016). Bölgesel ölçekte sıcak hava dalgalarının etkili olduğu yıllarda bir önceki yıla göre donlu gün sayılarında %50'den fazla düşüş gerçekleşmiştir. Yıllar arası değişkenlik yüksek olmakla birlikte bir ısrar örüntüsü söz konusudur. Türkiye'de tüm bu değişimler doğal bir durum değildir: Küresel ısınma, sığ toprak katmanında önemli ve atmosferik süreçlerle eş zamanlı değişimlere yol açmaktadır.

Türkiye’de 50 cm derinlikte donlu gün sayılarının örüntüsü üzerinde iklimsel etmenlerin etkisi en aza inmiş ve bölgesel değişkenlik azalmıştır. Sadece karasallığın çok güçlü olduğu alanlar (Ardahan, Zara ve Sarız gibi) ile birlikte orografik özellikleri ile kışın etkili olan soğuk ve kuru/az nemli hava kütlelerinden kaynaklı İspir, Gümüşhane ve Bayburt gibi alanlar donlu gün sayıları ile çevresinden ayrılmaktadır.

Türkiye’de sığ toprak katında (5 cm) don olasılığı dağılışının etkileyen ana etmenler sırasıyla enlem, karasallık, yükseltidir. Akdeniz ve Ege kıyılarındaki bölgelerde ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ndeki bazı alanlarda don olasılığının olmamasında enlemin etkisi ön plana çıkarken Doğu Anadolu Bölgesi’nde kuzeye doğru gidildikçe don olasılığının artmasında yükseltinin etkisi ön plana çıkmıştır. Ayrıca bir su kütesine (Van Gölü, Atatürk ve Keban Barajı) yakınlık, şiddetli don olasılığını biraz azaltmıştır.

Don şiddet olasılıkları ile yükselti arasında pozitif yönlü ilişki dikkati çekmektedir ki yükselti arttıkça don şiddet olasılıkları artmaktadır. Kısacası yüksekliğin don oluşumu üzerinde büyük etkisi vardır.

Aşırı şiddetli don olasılığında karasal iklim özelliğinde olan Yıldız Dağları ve Göller Yöresi’nin çevresinden bir farkı yoktur. Iğdır Ovası da sadece hafif şiddetli don olasılığında düşük değerleri ile çevresinden farklılaşmaktadır. Aşırı şiddetli donlar Ardahan’da çok yüksek orandadır. Yine Yüksekova, Özalp, Kars, Hınıs, Ağrı ve Sarıkamış’ta da aşırı şiddetli don olasılığı yüksektir. Bu bölgeler bir anlamda don tehdidine açıktır denilebilir. Bu da ilgili bölgelerde tarımı, kış soğuşuna dayanıklı türlerle veya soğuk mevsimin dışındaki dönemlerle sınırlamaktadır.

Sonuç olarak sadece bölgesel değişimler dikkate alınarak Türkiye’nin önemli tarım havzalarında bitki kök sistemlerini etkileyecek don riski, çok düşüktür ancak daha net şeyler söyleyebilmek için sığ toprak katmanında kritik değerler olan < 0 °C ve ≤ -5 °C değerlerinde tekerrür sürelerinin bilinmesi kırılganlığın dolayısıyla tarımsal riskin daha iyi tanımlanmasına ihtiyaç vardır.

YEDİNCİ BÖLÜM

TOPRAK SICAKLIK REJİMİ

7.1. Veri ve Yöntem

Türkiye’de toprak sıcaklıklarının rejim özelliği, klasik grafiksel yaklaşım ve toprak taksonomisine dayalı toprak sıcaklık rejim yaklaşımı ile ortaya konulmuştur. Klasik yaklaşımda belirli aralıklar ile enlemsel ve boylamsal hatlardaki değişimleri temsil eden 14 istasyon (Tekirdağ, Aydın, Tefenni, Adana, Giresun, Rize, Ankara, Kayseri, Malatya, Erzincan, Ardahan, Iğdır, Siirt ve Şanlıurfa) verisinden faydalanılmıştır. Dikeyde toprak sıcaklık rejim karakteri ve alansal değişimler, kontur haritalama yöntemiyle tanımlanmış olup rejim karakteri ve alansal değişimler yorumlanmıştır. Toprak Taksonomisi yaklaşımında Türkiye’nin toprak sıcaklık rejimi, Toprak Taksonomisi’nde yer alan toprak sıcaklık ölçütlerine göre tanımlanmıştır (USDA, 2014). Bu kapsamda 153 meteoroloji istasyon verisinden faydalanılmıştır.

Toprak Taksonomisi’nde 50 cm derinlikte yaz ve kış ortalama sıcaklık farkı $> 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve yıllık ortalama sıcaklık eşik ölçütleri oluşturularak 6 farklı ana sıcaklık rejimi tanımlanmıştır: Gelic (don), Cryic (çok soğuk), Frigid (soğuk), Mesic (orta), Thermic (termik ya da sıcak) ve Hyperthermic (hipertermik ya da çok sıcak) (Tablo 6). Araştırmada ayrıca yaz ve kış toprak sıcaklık farkı ölçüt olarak alınıp “iso” önekli dört farklı ara/alt sıcaklık rejim sınıfı da tanımlanmıştır. 50 cm derinlikte veya yoğun (densic), litik veya daha sığ paralitik bir temasta yaz ve kış toprak sıcaklık farkı $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’den daha düşük olduğunda, toprak sıcaklık rejimi iso ön eki almaktadır. Dört farklı ara/alt sıcaklık rejim sınıfı; isofrigid, isomesic, isothermic ve isohyperthermic şeklinde gruplandırılmaktadır (Tablo 7) (USDA, 2014).

Tablo 6

Toprak sıcaklık ana rejim aralıkları

Toprak sıcaklık rejimi (yaz ve kış arasında > 6 °C fark)	Yıllık ortalama sıcaklık (°C)
Hyperthermic (hipertermik ya da çok sıcak)	$\geq + 22$
Thermic (termik ya da sıcak)	+ 15 - + 22
Mesic (orta)	+ 8 - + 15
Frigid (soğuk)	+ 0 - + 8
Cryic (çok soğuk)	+ 0 - + 8
Gelic (don)	$\leq + 0$

Not. USDA Soil Survey Staff (2014)'ten uyarlanmıştır.

Tablo 7

Toprak sıcaklık ara sıcaklık rejim aralıkları

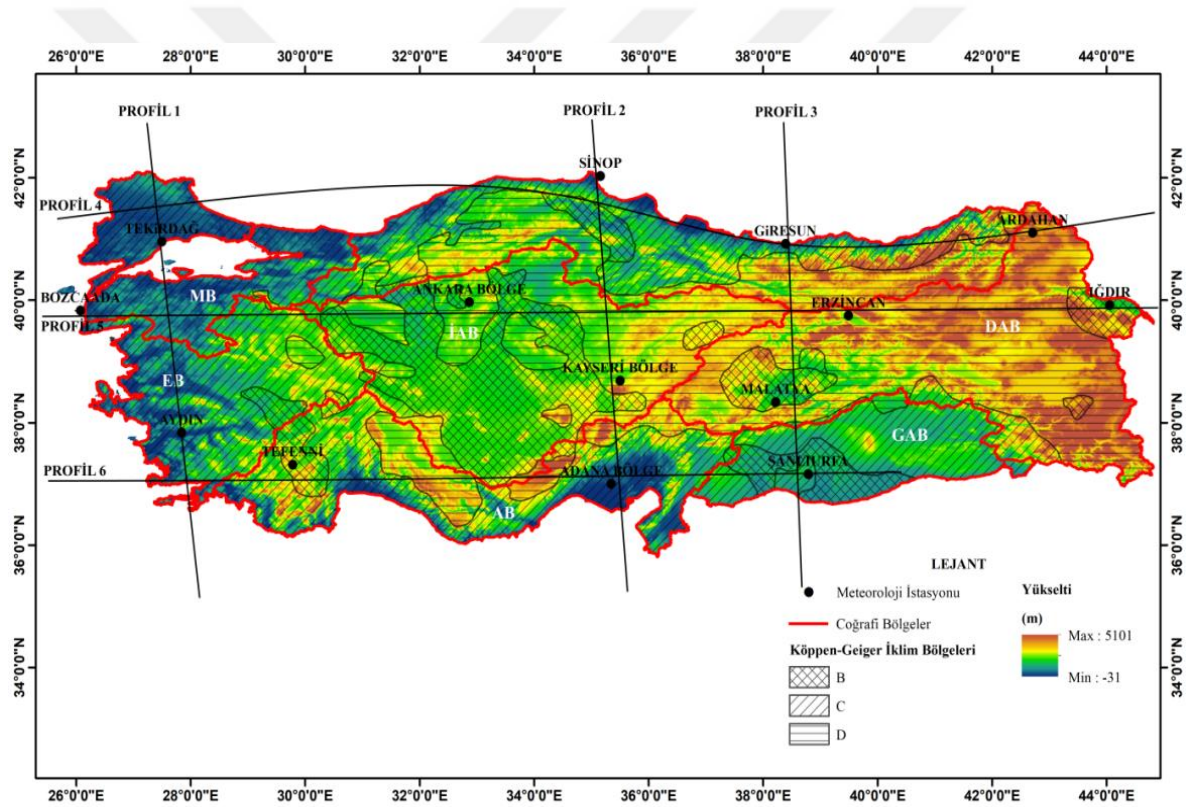
Toprak sıcaklık rejimi (yaz ve kış arasında ≥ 6 °C fark)	Yıllık ortalama sıcaklık (°C)
Isofrigid	$\geq +22$
Isomesic	+15 - +22
Isothermic	+8 - +15
Isohyperthermic	+0 - +8

Not. USDA Soil Survey Staff (2014)'ten uyarlanmıştır.

7.2. Toprak Sıcaklık Rejimi (Yıl İçindeki Değişim)

Toprak sıcaklıklarının yıl içindeki değişimi (gidişi) aylık ortalamaları gösteren haritalarla ortaya konulsa da belirli derinliklerde belirli zamanlarda toprak sıcaklıklarının eriştiği değerlerin takibi zordur. Hem yatay hem de dikeydeki değişimlerin daha ayrıntılı çözümlenebilmesi için belirli aralıklarla rastgele hem enlemsel hem boylamsal 6 profil ve 14 istasyon verisi dikkate alınarak toprak sıcaklığının yıllık gidişi tanımlanmıştır (Şekil 34). Bu kapsamda kontur grafikler hazırlanmıştır. Ara değerler karasal bölgeler için *Akima'nın polinomial metodu* ve kıyı bölgeler için *uzaklık metodu* ile tahmin edilmiştir. Profil 1'de Tekirdağ ve Aydın istasyonları; Profil 2'de Sinop, Kayseri ve Adana Bölge istasyonu; Profil 3'te Giresun, Erzincan, Malatya ve Şanlıurfa istasyonu; Profil 4'te

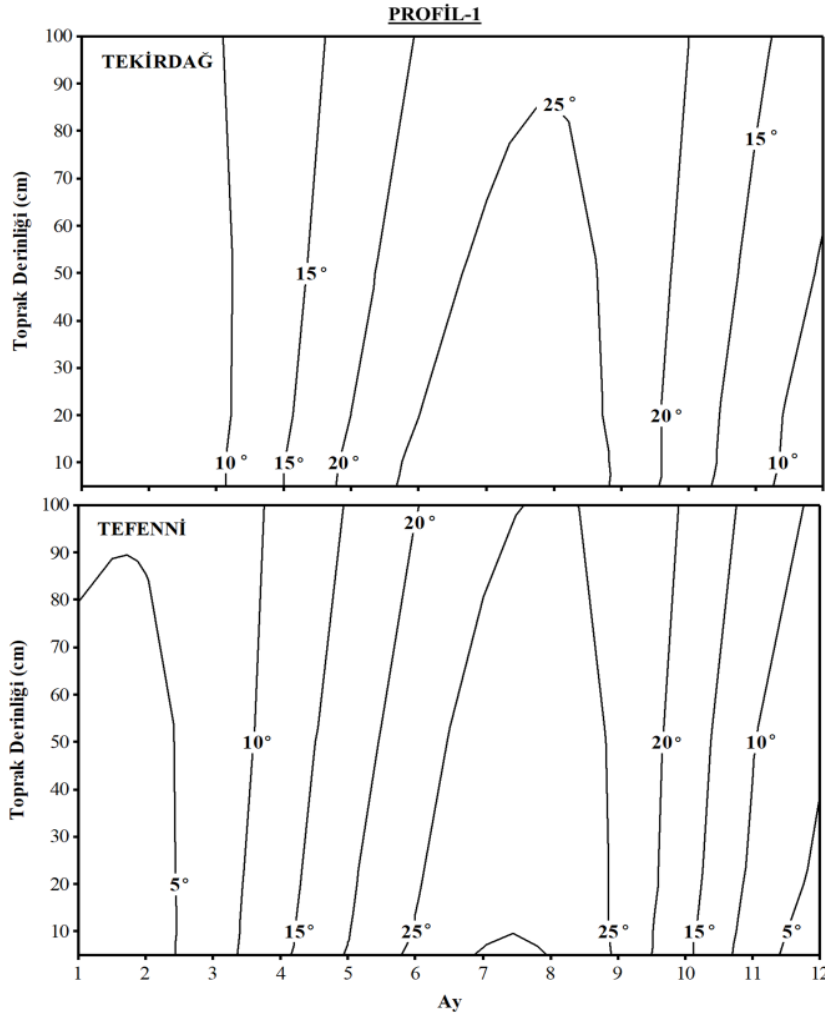
Tekirdağ, Sinop, Giresun ve Ardahan istasyonu; Profil 5'te Bozcaada, Ankara Bölge, Erzincan ve Iğdır isyasyonu; Profil 6'da Tefenni, Adana Bölge ve Şanlıurfa istasyonları kullanılmıştır. Ondört istasyonun altısında bazı aylardaki rasat eksikliğinden dolayı grafiklere dâhil edilmemiştir. Iğdır istasyonunda sadece 5 cm, 10 cm ve 20 cm verileri kullanılmış olup 10 cm ve 20 cm verilerinde ocak ve şubat ayı analiz dışı bırakılmıştır. Buna ek olarak grafiklerde Malatya istasyonunun da 50 cm verilerinde ocak-nisan ve kasım-aralık ayı verileri yoktur. Ardahan istasyonunda 10 cm'de ocak, şubat, mart ve aralık; 20 cm'de ocak, şubat ve mart, 50 cm'de ise şubat verileri yoktur. Kayseri istasyonunda 10 cm ve 20 cm ocak ve şubat verileri; Erzincan istasyonunda ocak, şubat ve aralık ayı verileri de grafiklerde rasat eksikliklerinden kaynaklı bulunmamaktadır.



Şekil 34. Belirli aralıklarla geçirilen profil hatlarını temsil eden 14 istasyonun lokasyonu, coğrafi bölgeler ve Köppen-Geiger ana iklim bölgeleri. B, C ve D sırasıyla kurak iklim, kışları ılıman nemli orta enlem ve kışları soğuk nemli orta enlem iklim bölgeleri (Öztürk, vd., 2017).

Profil-1 sonuçlarına göre kuzey-güney arasında bazı farklılıklar vardır. Tefenni'de ortalama toprak sıcaklığı tüm derinliklerde Tekirdağ'dan daha düşüktür ki coğrafi konum ve karasallık bunda etkilidir. Grafikte eğrilerin çok sık geçmesi, başka deyişle yıllık

sıcaklık farkının artması, buna işaretir. Tekirdağ'da kış mevsiminde toprak sıcaklıkları vejetasyon açısından önemli kritik sıcaklık olan 5 °C'nin altına inmemektedir. Genel ortalamanın ve kış mevsiminin aksine aylık değişimde özellikle yazın tersi bir durum görülmektedir ki temmuz, ağustos ve eylül aylarında 25 °C üstü sıcaklıklar Tekirdağ bölgesine göre Tefenni Ovası'nda 100 m derinliğe kadar ulaşabilmektedir (Şekil 35).

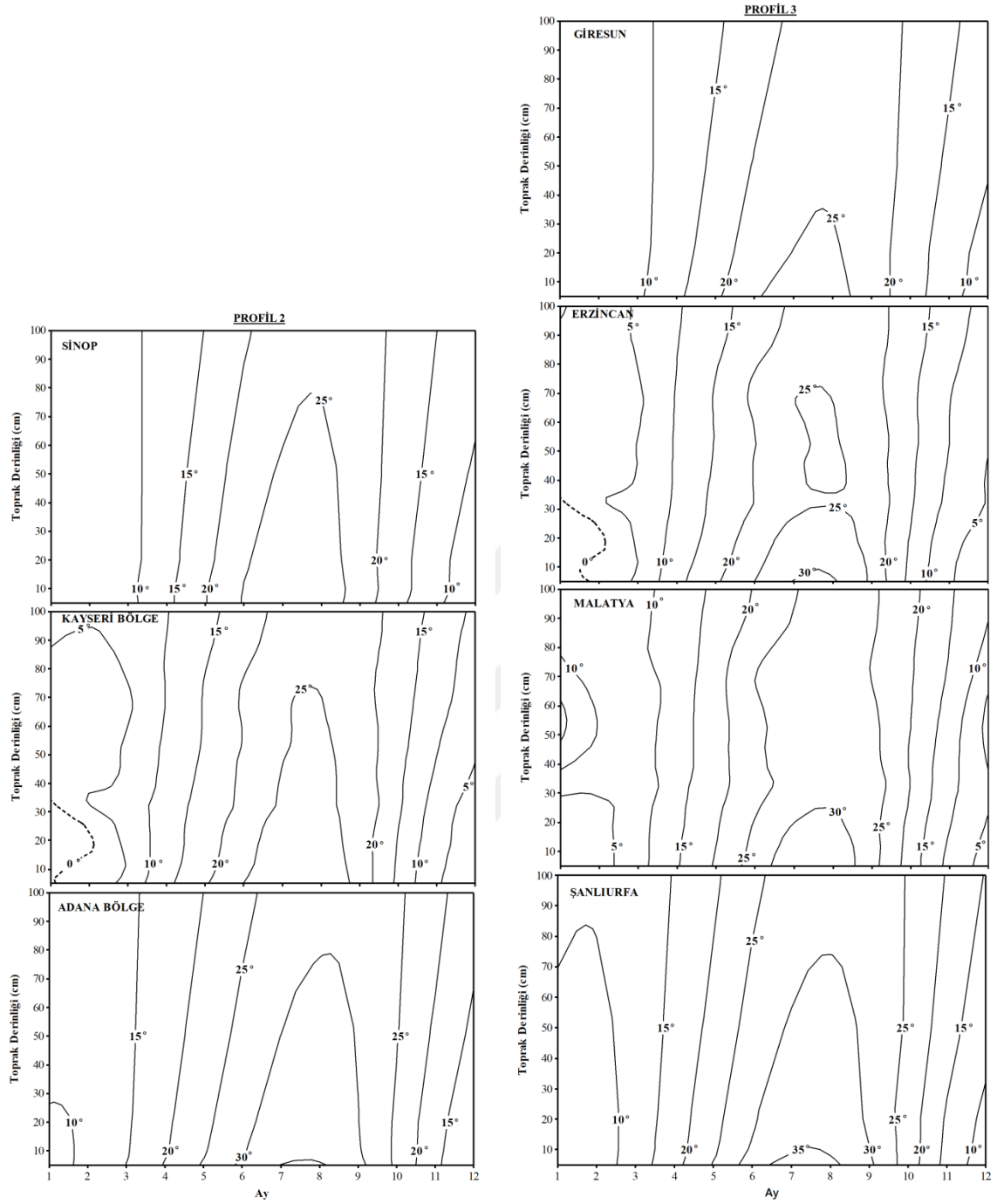


Şekil 35. Profil-1 hattında 5-100 cm derinlikte toprak sıcaklığının gidişi.

Profil-2 sonuçlarına göre toprak sıcaklıklarının aylık değişiminde enlem ve karasallığın etkili olduğu görülür. Kıyılarda yıllık sıcaklık farkı (amplitüd) birbirine yakın iken iç kesimlerde yıllık sıcaklık farkı kıyılardan yüksektir. Türkiye'nin en kuzey (Sinop) ve en güney kıyıları (Adana) yaz ve kış sıcaklıkları arasında farklılıklar vardır. Güney kıyıları kuzey kıyılarından yıl boyunca daha sıcak olmakla birlikte bu durum yazın daha belirgindir. Adana bölgesinde yaz mevsiminde 30 °C ve üstü sıcaklıklar 78 cm'ye kadar

çıkabilirken Sinop kıyılarında 25 °C ve üstü sıcaklıklar bu derinliklere kadar çıkabilmektedir. Kıyılarda tüm sezonda toprak sıcaklıkları vejetasyon açısından önemli 5 °C'nin altına inmemektedir. Aksine iç kesimlerde (Kayseri) toprak sıcaklıkları yılın 5 ayı (kasım-mart) 5 °C'nin altındadır. Hatta ocak ve şubat ayları don devresi olup bu aylarda ocak ve şubatta ortalama 29 cm'ye kadar don görülmekle birlikte toprak sıcaklıklarının en düşük olduğu ocakta don tabakası 34 cm'ye kadar sokulabilmektedir (Şekil 36). Bununla birlikte mutlak don evresinde 0 °C izoterminin Doğu Anadolu Bölgesi'nden İç Anadolu Bölgesi'nin iç kısımlarına kadar sokulduğu düşünüldüğünde ocak ayında 5 cm derinlikte don olduğu göz ardı edilmemelidir.

Profil-3'e göre toprak sıcaklıklarının aylık değişiminde yükselti ve karasallığın etkisi ön plandadır. Kıyıların (Giresun) sığ toprak katmanlarında amplitüd değeri 13 °C iken iç kesimlerde (Erzincan) 4 °C'dir. Kıyı ile iç kesimlerin sığ toprak katmanlardaki 9 °C'lik bu fark, derinlikle azalmakta olup derin katmanlarda 5 °C'ye kadar inmektedir. En yüksek sıcaklıklar derinlik arttıkça temmuzdan ağustosa kaymaktadır. Toprak sıcaklıkları Karadeniz kıyılarında 30 cm'den sonra, iç kesimlerde 20 cm'den sonra, Şanlıurfa'da 70 cm'den sonra temmuzdan ağustosa kaydığı görülmekte olup toprak sıcaklıkları Şanlıurfa'da daha yüksektir. Diğer sahalara kıyasla Şanlıurfa'da yaz sıcaklıklarının derin katmanlara kadar devam etmesi bölgenin bitki örtüsü açısından zayıf olması ve yazın çok sıcak ve kuru hava kütlesi getiren Basra Alçak Basıncı'nın bireşik etkisinden kaynaklanmaktadır. Bölgede yazın sıcaklıklar temmuz ve ağustosta 11 cm'lik toprak katmanında bitki hayatını olumsuz etkilemesi açısından önemi olan 35 °C'yi aşmaktadır. Bu durum esasen bölge iklimini denetleyen Basra Alçak Basıncı'nın yaz etkinliği ile açıklanabilir. Giresun ve Şanlıurfa'da yıl boyunca toprak sıcaklıkları vejetasyon açısından kritik bir değer olan 5 °C'nin altına inmemektedir. Aksine iç kesimlerde (Erzincan) toprak sıcaklıkları yılın kasımdan-mart sonuna kadar 5 °C'nin altındadır. Hatta ocak ve şubat ayları don devresi olup bu aylarda ortalama 29 cm derinliğe kadar don görülmekle birlikte don tabakası, toprak sıcaklıklarının en düşük olduğu ocakta 40 cm derinliğe sokulabilmektedir (Şekil 36).



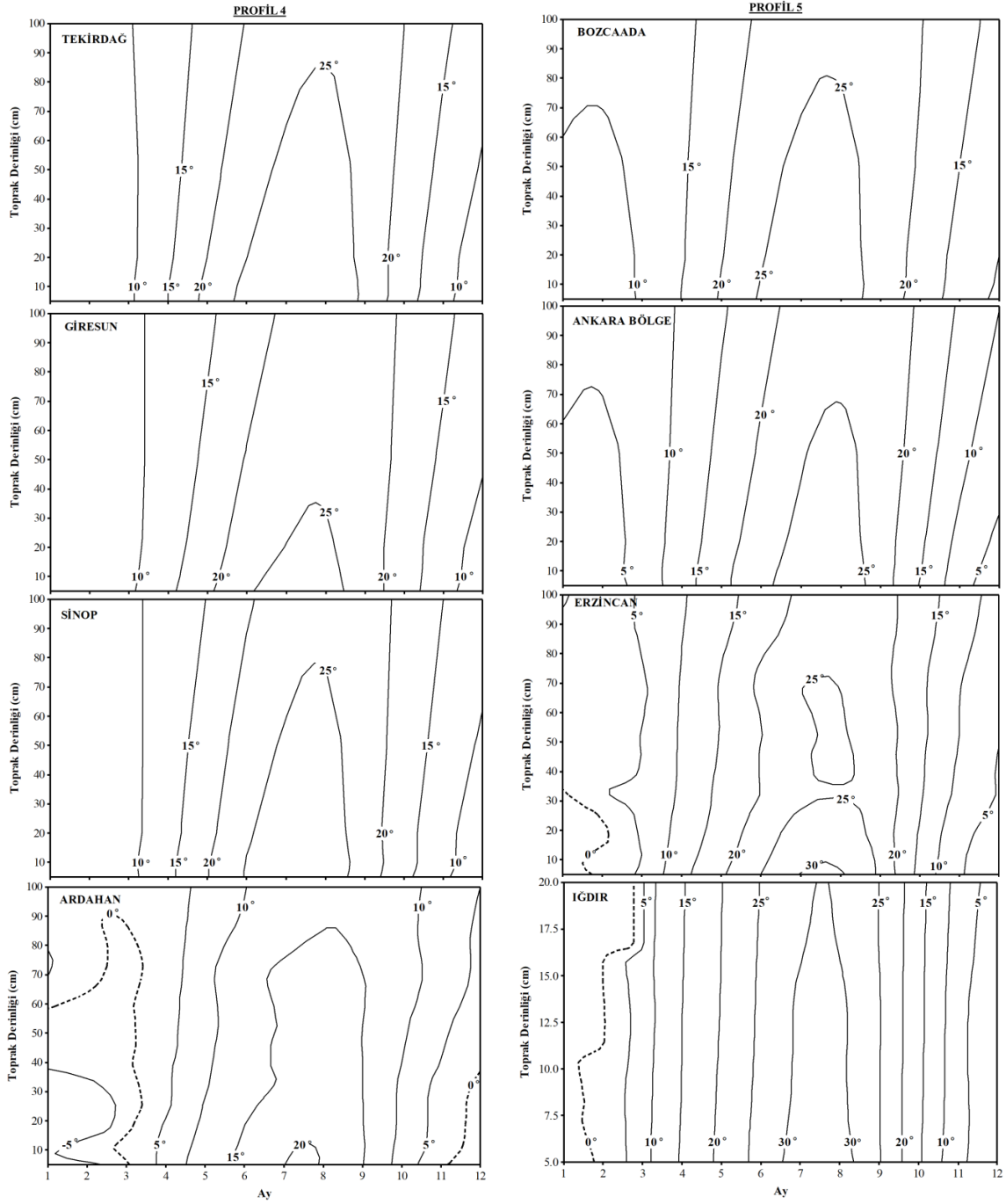
Şekil 36. Profil-2 ve Profil-3 hattında 5-100 cm derinlikte toprak sıcaklığının yıllık gidişi.

Profil-4'e göre bu hatta yer alan sıcaklıklarının aylık değişiminde yükselti ve karasallığın etkisi ön plandadır. Sıcaklıklar ağustosta yüksek olup genel olarak batıdan doğuya doğru azalır. Toprak sıcaklıkları Tekirdağ'da daha yüksektir: 5 cm ve 50 cm'de yıllık ortalama toprak sıcaklığı sırasıyla 16.7 °C ve 16.3 °C'dir. Sinop'da toprak sıcaklıkları Giresun'dan biraz yüksek olsa da deniz etkisinin dengeleyici etkisinden dolayı

benzer bir örüntüye sahiptir. Diğer sahalara kıyasla Tekirdağ'da yaz sıcaklıklarının derin katmanlara kadar devam etmesi bölgenin Marmara geçiş ikliminde yer almasından kaynaklanmaktadır. Ardahan'da toprak sıcaklıkları yükselti ve aynı zamanda karasallığın etkisiyle 5 cm derinlikte 8.0 °C'ye 50 cm derinlikte ise 6.7 °C'ye kadar düşer. Kabaca Türkiye'nin kuzeydoğusunda toprak sıcaklıkları kuzey kıyılardan iki kat daha düşüktür. Örneğin, Ardahan'da 5 cm derinlikte toprak sıcaklığının yıllık amplitüdü, kuzey kıyılardan (Tekirdağ, Sinop, Giresun) 16 °C daha yüksektir. 50 cm derinliğe gelindiğinde bu fark ortadan kalkar ancak 20 °C üstü toprak sıcaklıkları temmuz ve ağustosta 12 cm derinliğe kadar etkili olabilmektedir. Dahası kuzeydoğu Anadolu'da (Ardahan) toprak sıcaklıkları yılın 7 ayı (ekim-nisan) 5 °C'nin altında seyretmekte olup kasım-şubat dönemi don devresi olup don, 90 cm derinliğe kadar ulaşır. Ocak, şubat ve mart aylarında sıcaklıklar 30-38 cm'ye kadar -5 °C'nin altında seyreder.. Aksine Tekirdağ, Sinop ve Giresun'da yıl boyunca sezonda toprak sıcaklıkları vejetasyon açısından önemli kritik bir değer olan 5 °C'nin altına inmemektedir (Şekil 37). Ardahan bölgesinde toprak sıcaklık değişiminin kuzey kıyılardan farklı olmasında yükselti ve karasallık ana etmen olmakla birlikte, bölgede kışın hakim olan ve hava sıcaklıklarını düşüren görece kararlı karasal polar hava kütleleri ile yaz hava sıcaklıklarını arttıran görece kararsız denizel tropikal hava kütlelerinin etkisi göz ardı edilmemelidir.

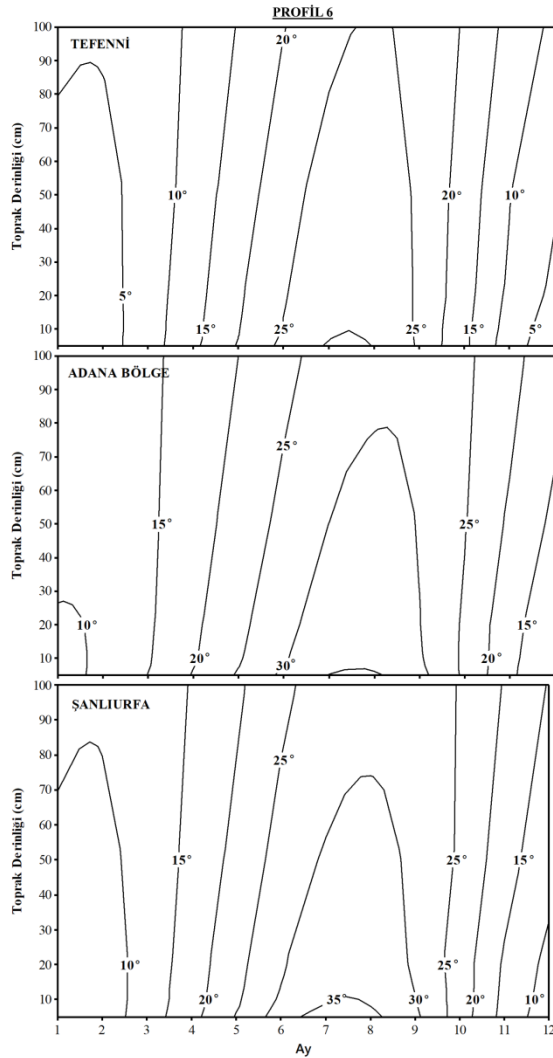
Profil-5 sonuçlarına göre toprak sıcaklıklarının aylık değişiminde yükselti ve karasallığın etkisi ön plandadır. Sıcaklıklar ağustosta yüksek olup Iğdır Ovası hariç genel olarak batıdan doğuya doğru azalır. Iğdır Ovası'nda yaz sıcaklıkları Bozcaada'dan 4 °C daha yüksektir. Bozcaada'da iç kesimlerden 3 °C, Iğdır Ovası'ndan 2 °C daha yüksektir. Yıllık ortalama sıcaklık amplitüd değerleri de batıdan doğuya doğru artmaktadır. 5 cm derinlikte toprak sıcaklık amplitüd değerleri batıdan doğuya doğru sırasıyla 20 °, 27 °, 30 ° ve 33 °'dir. Ankara'da 7 ayda (nisan-ekim) toprak sıcaklıkları vejetasyon açısından önemli kritik değer olan 5 °C'nin altına inmemektedir. Şubatta 5 °C ve altı sıcaklıklar 73 cm'ye kadar görülmekle birlikte don seviyesi görülmemektedir (Şekil 37). Iğdır Ovası'nda amplitüdün hem kıyı hem de iç kesimlerden yüksek olmasında çevresinin yüksek dağlarla çevrili olmasına ek olarak yazın tropikal hava kütlelerinin ova tabanında egemen olması kışın ise karasal polar hava kütlelerinin egemen olması etkilidir. Ilıman hava kütlelerinin bölgeye ulaşmasını engelleyen topoğrafya ve iklimin bu dinamik yapısı, yazların çok sıcak geçmesine ve ılgın toprak sıcaklıklarının iç kesimlerden yüksek olmasına yol açmaktadır.

Kışın ise karasal polar hava kütlelerin egemen olmasına ve çok soğuk koşulların yaşanmasına bağlı olarak sığ toprak katmanında sıcaklıklar 0 °C'nin altına düşmekte don seviyesi oluşmaktadır.



Şekil 37. Profil-4 ve Profil-5 hattında 5-100 cm derinlikte toprak sıcaklığının yıllık gidişi.

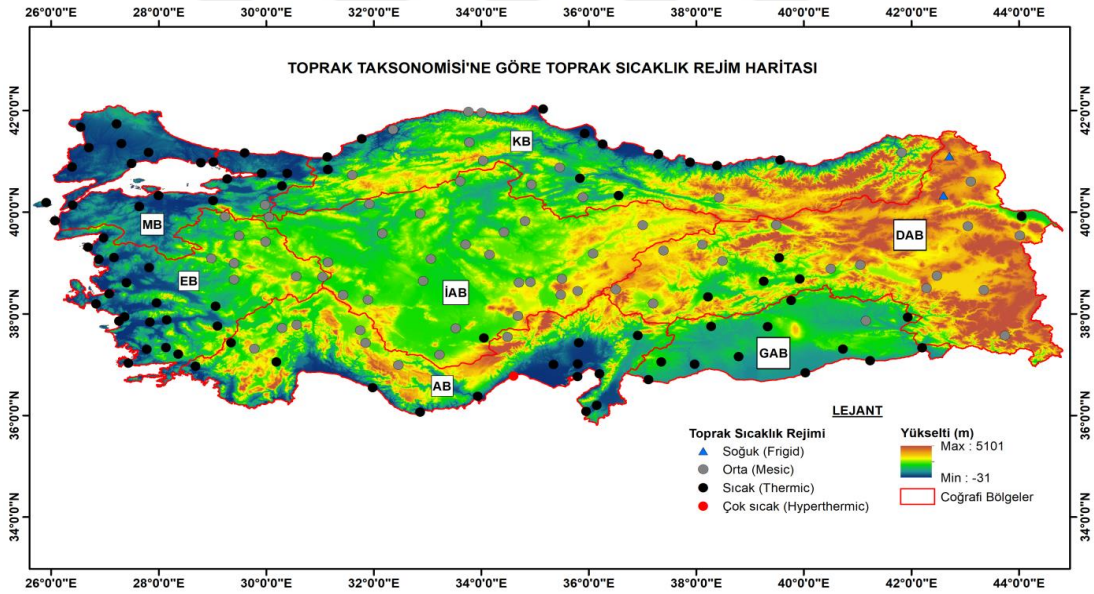
Profil-6 sonuçlarına göre toprak sıcaklıklarının aylık değişiminde karasallığın etkisi ön plandadır. Türkiye'nin güney kesiminden alınan (kıyı ve kıyı gerisi) bu hat boyunca toprak katmanlarında don koşulları görülmez. Çukurova bölgesinde (Adana) yıllık ortalama sıcaklık amplitüd değerleri, Tefenni ve Şanlıurfa'dan yaklaşık 3 °C daha düşüktür. Adana bölgesinin amplitüd değerleri 5, 10, 20, 50 ve 100 cm derinliklerine göre sırasıyla 33 °, 30 °, 30 °, 24 ° ve 20 °'dir. Bu durum denizel etkinin iklimi yumuşatıcı etkisinden kaynaklanmaktadır. 30 °C ve üzeri sıcaklıklar Adana ve Şanlıurfa'da görülmekle birlikte bu sıcaklıklar haziran-eylül döneminde 27 cm'ye kadar sokulmakla birlikte ağustos ve eylülde 70-80 cm derinliğe kadar etkili olmaktadır. (Şekil 38).



Şekil 38. Profil-6 hattında 5-100 cm derinlikte toprak sıcaklığının yıllık gidişi.

.3. Toprak Taksonomisi'ne Göre Toprak Sıcaklık Rejimi

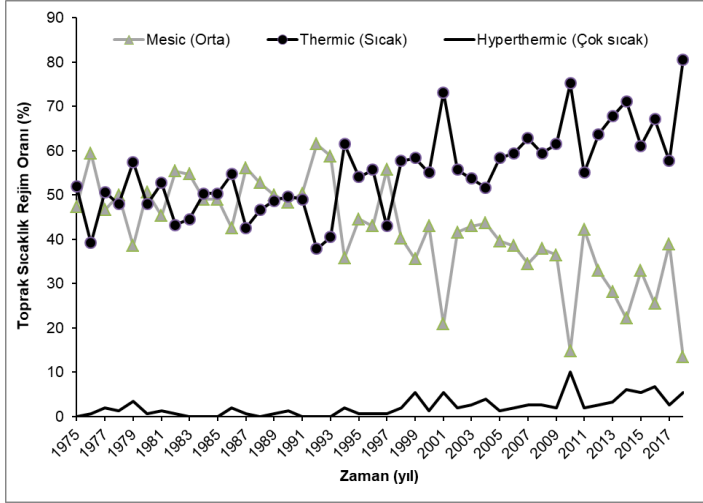
İlman (orta) kuşakta yer alan ve üç tarafı denizlerle çevrili 783.562 km² alana sahip Türkiye'de 4 tip toprak sıcaklık rejimi görülmektedir: Frigid (soğuk), mesic (orta), thermic (sıcak) ve hyperthermic (çok sıcak). Genel olarak 1000 m altında özellikle de 0-250 m yükseltilerdeki kıyı kuşağında sıcak rejim; 1000 metrenin üstündeki yükseltilerde ve iç kesimlerde orta sıcaklık rejimi egemendir. Türkiye'de daha dar alanlı olarak soğuk ve çok sıcak rejim tipleri de görülmektedir. Kuzeydoğu Anadolu'da 1800 m üstü yükseltilerde yer alan Ardahan ve Sarıkamış çevresinde, soğuk toprak sıcaklık rejimi; Akdeniz kıyısında yer alan Mersin bölgesinde ise çok sıcak toprak rejim tipi tespit edilmiştir. Iğdır ovası toprakları, çevresine göre daha sıcak olup orta sıcaklık rejiminin aksine sıcak rejim tipine girmesinden kaynaklı farklılık göstermektedir (Şekil 39).



Şekil 39. Toprak Taksonomisi'ne göre Türkiye'nin toprak sıcaklık rejimi.

Orta sıcaklık rejimine sahip (mesic) toprağın zamansal değişimleri, sıcak ve çok sıcak rejime sahip toprağa göre zıt özellikler gösterir. En soğuk yıl olan 2018 yılı, % 13.42 ile en düşük termik toprak yüzdesine sahipken, en sıcak yıl olan 1992 yılı, %61.49 ile en yüksek termik toprak yüzdesine sahiptir. Türkiye'nin çoğunluğu ya sıcak toprağa ya da orta toprağa sahiptir (Şekil 40). Bu iki tür birlikte 2010'da bölgenin %89.93'ünü, 1991'de %99.33'ünü oluşturmaktadır. Sıcak toprak yüzdesi 1992'de %37.84'den 2018'de %80.54'e yükselmektedir Çok sıcak toprak yüzdesi 1975'de %0.00'dan 2010'da %10.07'ye

çıkılmaktadır Soğuk ve çok soğuk toprağın zamansal değişimleri birbirine zıt yöndedir. Soğuk toprak yüzdesi 1975’de %0.68’den 2018’de %0.00’a düşmekle birlikte çok soğuk toprak yüzdesi ise 1975’de %0.00’dan 1992 ve 1993’de %0.68’e yükselmektedir.



Şekil 40. Türkiye’de tanımlanan üç farklı toprak sıcaklık rejiminin zamansal değişimi (soğuk ve çok soğuk toprak sıcaklık rejimi oranları çok düşük olduğu için grafiğe eklenmedi).

Toprak sıcaklığı rejimlerindeki zamansal değişiklikleri izlemek, bölgesel iklim değişiklikleri hakkında ek bilgi sağlamaktadır (Bai, 2009). Ayrıntılı zamansal değişiklikleri çözümlmek için veriler 1975-1979, 1980-1984, 1985-1989, 1990-1994, 1995-1999, 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 ve 2015-2018 olmak üzere dokuz gruba bölünerek toprak sıcaklığı rejiminin zamansal dağılımı incelenmiştir. Tablo 8, bu dokuz dönem için her bir rejimin yüzdesini özetlemektedir.

Sıcak toprak yüzdesi 1975-1979 döneminde %49.46’dan 2015-2018 döneminde %66.61’e yükselirken, orta toprak yüzdesi %48.38’den %27.68’e düşmektedir. Çok sıcak toprak yüzdesi eğilimi sıcak toprak yüzdesi ile tutarlı olup 1975-1979 döneminde %1.49’dan 2015-2018 döneminde %5.03’e yükselmektedir. Bu eğilimdeki tutarlılık çok soğuk toprak yüzdesinde de görülmektedir. Hem sıcak hem de orta topraklar 1980-1994 döneminde Türkiye topraklarının yaklaşık %99’unu oluşturur ve bu diğer altı döneme göre daha yüksektir. 2014-2018 döneminde ise sıcak ve orta topraklar bölgenin %94.30’unu oluşturur ve bu diğer sekiz döneme göre daha düşüktür. Hem sıcak hem de çok sıcak toprakların yüzdesi 1975-1979 döneminde %50.95’den 2010-2018 döneminde %71’in

üstüne çıkmaktadır ki bu gerçek, 2010-2018 döneminin diğer yedi döneme göre belirgin derecede daha sıcak olduğunu göstermektedir (Tablo 8).

Tablo 8

Beşer yıllık dönemlere dayalı olarak her toprak sıcaklık rejim tipinin yüzdesi

Yıl	Çok soğuk (%)	Soğuk (%)	Orta (%)	Sıcak (%)	Çok sıcak (%)
1975-1979	0.00	0.68	48.38	49.46	1.49
1980-1984	0.27	0.41	51.01	47.77	0.54
1985-1989	0.00	0.67	50.07	48.58	0.68
1990-1994	0.40	0.27	50.95	47.70	0.67
1995-1999	0.00	0.54	43.82	53.76	1.89
2000-2004	0.40	0.27	38.39	57.85	3.09
2005-2009	0.13	0.00	37.38	60.33	2.16
2010-2014	0.40	0.13	28.05	66.58	4.83
2015-2018	0.67	0.00	27.68	66.61	5.03

7.4. Tartışma

Türkiye’de toprak sıcaklıklarının rejimi, hem enlemsel hem de boylamsal 6 profil ve 14 istasyon dikkate alınarak kontur grafikler hazırlanarak tanımlanmıştır. Ayrıca 153 istasyon verisi kullanılarak Türkiye’nin Toprak Taksonomisi’ne dayalı toprak sıcaklık rejimi, ortaya konmuştur.

Türkiye’nin kıyı ile iç kesimleri arasında ve batı ile doğu yarısında toprak sıcaklıklarının yıllık gidişi farklılaşmaktadır. On iki istasyonun kontur grafiklerini oluşturan Erinç ve Bener (1963)’te benzer şekilde Türkiye toprak sıcaklık rejiminde farklılığın kıyı ve iç bölgeler arasında belirgin olduğunu ileri sürmüştür. Türkiye’nin batı yarısında toprak sıcaklık rejimini enlem ve karasallık şekillendirirken doğu yarısında yükselti ve karasallık şekillendirmektedir. Don devresi, Türkiye’nin doğu yarısında iç kesimlerde ocak ve şubat aylarında kuzeydoğu Anadolu’da kasım-şubat döneminde görülmektedir ki Türkiye’nin bu kesiminde don 90 cm derinliğe kadar ulaşmaktadır. Bitki hayatını etkileyen olumsuz yüksek toprak sıcaklıkları (35 °C ve üstü), temmuz ve ağustos aylarında Türkiye’nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Çukurova bölgesinde 80 cm derinliğe kadar etkili olmaktadır.

Türkiye çoğunlukla ya sıcak ya da orta sıcak toprak rejimine sahiptir. Uzun dönem ortalamaları dikkate alındığında Türkiye’de frigid (soğuk), mesic (orta), thermic (sıcak) ve hyperthermic (çok sıcak) şeklinde dört tip ana toprak sıcaklık rejimi görülmektedir. Bununla birlikte son 10 yıllık iklimsel değişkenlikten kaynaklı Akdeniz kıyı şeridi ve güneybatı Anadolu kıyı şeridi toprakları çok sıcak rejim karakteri; Ardahan çevresi toprakları ise cryic (çok soğuk) rejim karakteri göstermektedir. Permafrost bölgelerinde gözlenen gelic (don) toprak sıcaklık rejimi ise hiçbir zaman diliminde gözlenmemiştir. Son 10 yılda sıcak ve çok sıcak toprak sıcaklık rejim yüzdelerinin artmasında muhtemelen hava sıcaklık rekorlarının kırılması, rekor maksimum sıcaklık olayların yarısından fazlasının bu dönemde gerçekleşmesi, aşırı sıcaklıkların birbiri ardına seyretmesi, temmuz ayından aralık ayına kadar ortalama sıcaklıkların normallerin üzerinde seyretmesi (Çelik ve Özalp, 2011; Erlat ve Türkeş, 2015; Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2016) etkili olmuştur.

Türkiye’nin toprak sıcaklık rejimi, büyük ölçüde Köppen-Geiger iklim bölgeleri (Öztürk, vd., 2017) ve yağış rejim bölgeleri (Türkeş, 1996) ile örtüşmektedir. Türkiye’de sıcak toprak sıcaklık rejimi, Köppen-Geiger iklim sınıflamasına göre kurak ve soğuk iklim bölgeleri ve Akdeniz Geçiş Yağış Rejim Bölgesi, Karasal İç Anadolu ve Karasal Doğu Anadolu Yağış Rejim Bölgeleri ile büyük ölçüde çakışmaktadır. Bulunduğu enlemden dolayı Türkiye’de (Mersin bölgesi hariç) çöl iklimini karakterize eden toprak sıcaklık rejimi görülmemektedir. Doğu Akdeniz Havzası’nda yer almasından kaynaklı Hırvatistan’ın topraklarının sıcaklık rejim örüntüsü Türkiye’ye oldukça benzerdir. Nitekim Türkiye’de olduğu gibi denizelliğin güçlü olduğu bölgelerdeki topraklar, termik sıcaklık rejimine sahip topraklar kategorisine girerken karasallığın güçlü olduğu bölgelerdeki topraklar, mesic sıcaklık rejim toprakları olarak sınıflandırılır (Husnjak, vd., 2014). Türkiye’nin toprak sıcaklık rejim özelliği enlemsel dağılışı açısından Japonya’ya ile de benzer özellikler içerir (Kyuma, 1985; Takata, vd., 2011). Türkiye’de olduğu gibi Japonya’da da en hâkim toprak sıcaklık rejim tipi orta yani mesic’tir. Japonya’da da güneyden kuzeye doğru toprak sıcaklık rejimi çok sıcak, sıcak, orta ve soğuk arasında değişim gösterir. Mersine göre 10° daha güneydeki Okinawa Adası’nın toprak sıcaklık rejimi ve 1° daha güneyde yer alan Ardahan ve Sarıkamış ile Hokkaido Adası’nın toprak sıcaklık rejim tipi benzer özelliklere sahiptir (Kyuma, 1985; Takata, vd., 2011).

SEKİZİNCİ BÖLÜM

TOPRAK SICAKLIK EĞİLİMİ

Toprak altı tabakalara nüfuz eden kısa dalga boylu radyasyondan kaynaklı termal dalganın amplitüdü, özellikle 50 cm derinlik sonrasında belirgin şekilde azalmaktadır. Bir başka açıdan toprakta ısı depolanması derinlikle birlikte üssel olarak azalmakta ve sıcaklık değişimlerinde gecikmeler yaşanmaktadır (Brady, 1990; Chowdhury, vd., 1991). Yapılmış çalışmalar göstermektedir ki atmosferin etkisi, toprak katmanlarında 0-50 cm içerisinde görülmektedir (AE ve Al-Dashti, 2017; Bai, 2009). Bu derinlik katmanı toprak taksonomisinde aktif kök derinliği (ya da aktif kök zonu) olarak da ifade edilmektedir (Soil Survey Staff, 2014). Özetle coğrafi, iklimsel, toprak ve bitki örtüsü parametreleri özellikle bu derinliklerdeki sıcaklık değişimlerini açıklayabilmektedir.

Yukarıdaki kabullerden hareketle atmosfer-toprak arası ilişkilerin açıklanmasında ya da anlaşılmasında 50 cm ve 100 cm derinliklerde trend analizi yapmanın pek bir işlevi yoktur. Bunun ötesinde, toprak derinliği arttıkça toprak-hava sıcaklığı Mann Kendall Z (MK Z) değerleri arasında Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) değerlerinin toplamı 20 cm'den sonra belirgin biçimde artmaktadır ki parametrik olmayan Mann Kendall (MK) trend analizlerinin doğal sınırlamalardan kaynaklı 20 cm'den büyük derinliklerde kullanılmasının da bir anlamı olmadığı öne sürülmüştür (Araghi, vd., 2017). Çalışmalar göstermektedir ki Türkiye ve dünyanın diğer bölgelerinde hava sıcaklığı ile sığ derinlik katmanında (0-20 cm) gözlenen toprak sıcaklıkları arasında pozitif yönlü önemli bir ilişki dikkati çekmektedir (Acaröz, 1960; Çağlayan, 1974; Erinç ve Bener, 1963; Kutlu, 2013; Liu, vd., 2016; Öndeş, 2013; Wang, vd., 2018; Yeşilirmak, 2014).

Dünya genelinde insanoğlu için temel gıda maddesini tahıllar özellikle de buğday ürünleri oluşturmaktadır. Buğdayın tahıllar içinde gözlenen bu önemi dışında çeşitli süreç ve fenolojik aşamaların büyük kısmında tespit edilen eşik sıcaklıkların standart hatası küçüktür ve tutarlıdır. Buna karşın kök bölgesinde standart hata nispeten artmaktadır (Porter ve Gawith, 1999; Porter ve Semenov, 2005). Bu özellikler günlük ortalama toprak ve hava sıcaklık eğilimlerinin bölgesel değişimini açıklamada kolaylıklar sağlamak ve analizi daha anlamlı hale getirmektedir. Dolayısıyla iklim değişikliği-tarım tartışmasında buğday özelinde değerlendirmelere ağırlık verilmesi daha akılcıdır.

Toprak sıcaklık eğilim analizinde ulaşılan sonuçlar, Türkiye'nin tarım yönetimi ve planlaması açısından faydalı bilgiler sunmaktadır. Dahası yapılan yeni geliştirilen grafiksel metotların kullanımı ve yapılacak analizler çiftçilere tohum atım tarihinin belirlenmesi, tohum çimlenmesi aşamasında gerçekleşebilecek sıcaklık stresleri ile mücadelede ve kardeşlenme zamanının öngörülmesinde rehber niteliği de taşıyacaktır. Nitekim Araghi, vd. (2017), toprak sıcaklıklarının trend analizi hakkında şunları ifade etmektedir ki günlük toprak sıcaklığı eğilimlerinin önceden belirlenmiş derinliklerde analizi, sıcaklık stresinin olumsuz etkilerini hafifletmek, ideal tohum ekim tarihlerinin güven seviyelerini desteklemek, sulama işlem süreleri ve aralıkları gibi tarım sistemlerinin sürdürülebilir yönetimi için nicel bir anlayış sağlayabilir. Böylesi günlük toprak sıcaklıklarının trend analizine dayalı nicel yaklaşımdan tarım-çevre ajansları ve uygulayıcıları faydalanabilir.

8.1. Veri ve Yöntem

Trend analizleri kapsamında kullanılan dört istatistiksel yöntem aşağıda verilmiştir:

8.1.1. Mann Kendall Testi

Parametrik olmayan Mann-Kendall trend testinde (Kendall, 1975; Mann, 1945) test istatistiği (S) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i), \text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (8.1)$$

Bu eşitlikte n , x_j ve x_i sırasıyla veri noktalarının sayısı, j ve i yıllarındaki yıllık değerlerdir. Daha sonra ilgili değişkene ilişkin Z değerlerini hesaplamak için aşağıdaki gibi varyans hesaplanır:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (8.2)$$

Burada sırasıyla n , m ve t_i sırasıyla veri uzunluğu, bağlı grupların sayısı ve incelenen gruplarda veri noktalarının sayısını ifade etmektedir. Son aşamada MK test istatistiğine dayalı normal Z istatistiği aşağıdaki eşitlikten yola çıkılarak hesaplanır:

$$Z = \frac{S \pm 1}{Var(S)^{1/2}} \quad (8.3)$$

Bu yöntem 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinliklerdeki aylık ortalama toprak sıcaklık dizilerine uygulanmıştır. Dahası dünyada ilk kez İran'ın kuzeydoğusunda yedi istasyona ait 24 yıllık kayıtlar kullanılarak yapılan günlük toprak ve hava sıcaklık dizilerine ait trend çalışmasında (Araghi, vd., 2017) izlenen yaklaşım, ilk kez burada Türkiye'nin günlük ortalama hava sıcaklıklarına ve 5 cm derinlikte günlük ortalama toprak sıcaklık dizilerine uygulanmıştır. Bu kapsamda kullanılan istasyon sayısı, 26'dır.

8.1.2. Sneyers (Sıralı Mann-Kendall) Testi

Sıralı Mann-Kendall testinde diğer adıyla Sneyers testinde (Sneyers, 1990) t_i test istatistiği, aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$t_i = \sum_{j=1}^i n_j \quad (8.4)$$

Sonraki aşamada t_i test istatistiğinin ortalaması aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$E(t_i) = \frac{i(i-1)}{4} \quad (8.5)$$

Daha sonra test istatistiği t_i 'nin varyansı için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$Var(t_i) = \frac{i(i-1)(2i+5)}{72} \quad (8.6)$$

Son aşamada her bir t_i istatistiği standartlaştırılarak $u(t_i)$ ileri değerleri elde edilir. Bu işlem aşağıdaki eşitlik kullanılarak yapılır:

$$u(t_i) = \frac{t_i - E(t_i)}{\sqrt{var(t_i)}} \quad (8.7)$$

Geri değerlerin, $u'(t_i)$, hesaplanmasında benzer bir yaklaşım izlenir ancak orijinal veriler kullanılmaz onun yerine serinin sonundan başlayarak yapılan sıralama kullanılır. Burada ileri ve geri serilerin kesişim noktası, yaklaşık olası değişim noktasına karşılık gelmektedir (Sneyers, 1990).

Bu yöntem hava sıcaklığı ve 5 cm derinlikte yıllık ortalama toprak sıcaklık dizilerine uygulanmıştır.

8.1.3. Sen (1968) Yöntemi

Sen (1968) metodunda ilk olarak Q_i değerleri hesaplanmaktadır:

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (8.8)$$

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}, i = 1, 2, \dots, N \quad (8.9)$$

Burada Q , x ve n sırasıyla eğim, değişken ve veri sayısı olup x_j ve x_k , $j > k$ koşulu ile sırasıyla j ve k zamanındaki veri değerleridir. Daha sonra Q_i 'nin N değerlerinin medyanı yani tüm eğimlerin medyanı hesaplanmaktadır. N sayısının tek ya da çift olması halinde aşağıdaki eşitlikler kullanılır ve eğim tahmin değeri hesaplanır:

$$\beta = Q_{\lfloor \frac{N+1}{2} \rfloor}, N \text{ tek ise} \quad (8.10)$$

$$\beta = \frac{1}{2} \left(Q_{\frac{N}{2}} + Q_{\frac{N+2}{2}} \right), N \text{ çift ise} \quad (8.11)$$

Bu eşitlikte β , Sen'in eğim tahmincisidir. Bu değer pozitif ise zaman serisinde artan bir trendi, negatif değer ise azalan bir trendi göstermektedir (Sen, 1968).

Bu yöntem 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinliklerdeki aylık ortalama toprak sıcaklık dizilerine uygulanmıştır.

8.1.4. İnovatif Trend Analiz (İTA) Yöntemi

İnovatif Trend Analiz (İTA) yönteminde veriler eşit uzunlukta iki parçaya bölünerek artan sırada, küçükten büyüğe doğru, sıralanır. İlk alt seri, kartezyen koordinat sisteminde yatay ekseninde (X-ekseni), ikinci alt seri ise dikey ekseninde (Y-ekseni) sunulur. Oluşan grafikte veri noktaları 1:1(45°) çizgisinin üzerinde toplanmış ise veri dizisinde bir eğilimin olmadığı sonucuna varılır. Aksine veri noktaları 1:1(45°) çizgisinin üstünde/altında toplanmış ise veri setinde artan/azalan bir vardır (Şen, 2012).

İTA yöntemi 2015 yılında tek yönlü hipotez testi ile çeşitli güven seviyelerinde (%90, %95 gibi) istatistiksel kontrolün yapılabilmesi için geliştirilmiştir. Trendin tahmininde trendin eğimi olan $E(s)$ istatistiği, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

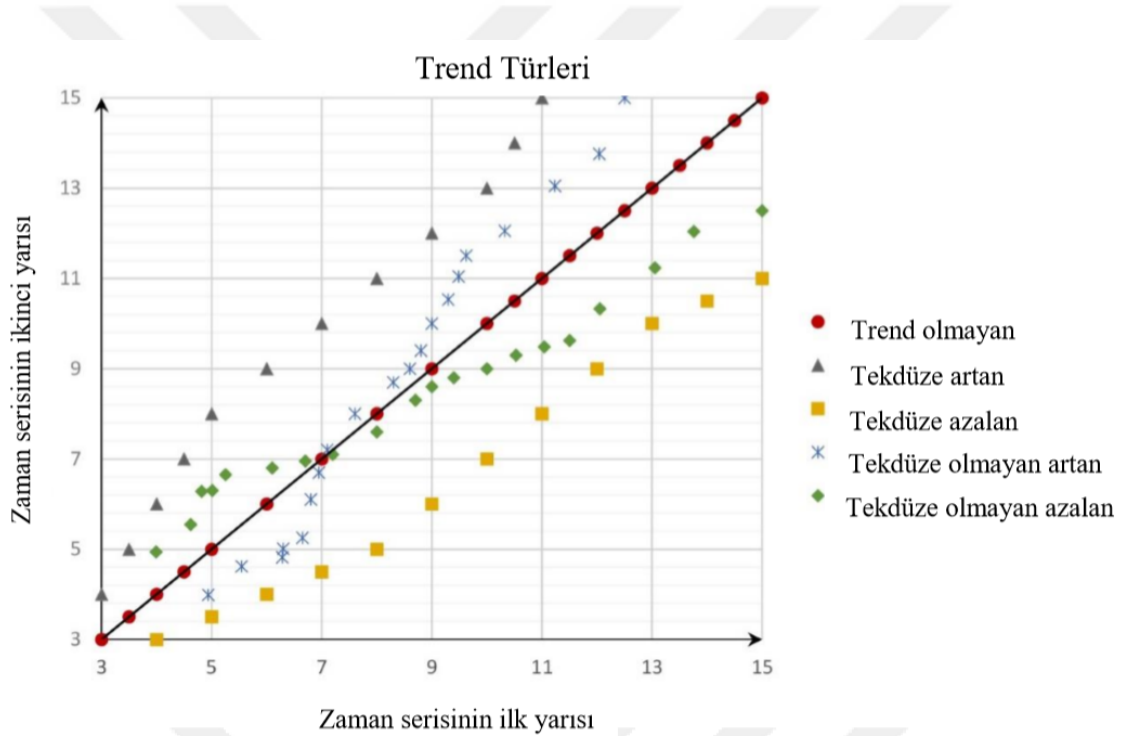
$$E(s) = \frac{2}{n} [(E(\bar{y}_2) - E(\bar{y}_1))] \quad (8.12)$$

Trend eğiminin güven aralığı (CL) ise aşağıdaki denklem ile bulunmaktadır:

$$CL_{(1-a)} = 0 \pm s_{kritik} \sigma_s \quad (8.13)$$

Denklemlerde; n veri sayısı, \bar{y}_1 ilk verinin ortalaması, \bar{y}_2 ikinci verinin ortalaması, CL hipotez test sınırları için belirlenen kritik üst ve alt değerleri, s_{kritik} tek yönlü hipotezde kritik Z değerlerini ve σ_s eğim standart sapmasını göstermektedir. Hesaplanan eğim değeri, s , kritik üst ve alt değerlerinin dışında ise bir eğilim vardır. Burada s 'nin işareti (+ ya da -) eğilimin yönünü göstermektedir (Şen, 2017).

Daha sonraki yıllarda eğilimin 1:1(45°) çizgisi etrafındaki değişimi dikkate alınarak Dabanlı (2017) tarafından trendin türü, trend olmayan, tekdüze (monotonic) ve tekdüze olmayan (non-monotonic) şeklinde tanımlanmıştır (Şekil 41). Dahası verilerin uzman görüşü altında *düşük*, *orta* ve *yüksek* şeklinde kritik sınıflara ayrılabilceği ve ilgili değişkenler ile bağlantılı afetlerin sıklığı hakkında öngörüler yapılabileceği de ileri sürülmüştür. Buna ek olarak Dabanlı (2017: 58) tarafından ilk kez 1:1 (45°) doğrusuna paralel \pm %5 ve \pm %10 trend zarf eğrileri geçirilmiş ve trend zarf eğrileri sayesinde trendler hakkında yapılan çıkarımlar, sözel ve sübjektif olmaktan çıkmış sayısal nicelik kazanarak objektif hale dönüşmüştür.



Şekil 41. Azalan, artan ve trend olmayan zaman serilerinin görünümü (Dabanlı, 2017: 58).

Dünyada ilk kez bu tezde toprak sıcaklık verilerine uygulan İnovatif Trend Analiz (İTA) yöntemi için 19 istasyon seçilmiştir. Bu istasyonlar yükselti, karasallık ve denizellik etmeni dikkate alınarak Karadeniz kıyı ve gerisi, Doğu Trakya, Karasal İç Anadolu, Karasal Doğu Anadolu, Karasal Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve Ege kıyılarını temsil etmesi dışında önemli tahıl üretim alanlarını temsil etmektedir.

Bu bölümde İTA yöntemi (Dabanlı, 2017; Şen, 2012; Şen, 2015), 21 istasyonun günlük ve yıllık ortalama toprak sıcaklık verilerine (5 cm) uygulanmış, \pm %5 ve \pm %10 trend hatları geçirilen trend grafikleri oluşturulmuş ve trendlerin anlamlılığı $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde (tek yönlü) test edilmiştir.

İTA yönteminde grafiksel okumaları anlamlı hale getirmek için Porter ve Gawith (1999)'in buğday bitkisi için ileri sürdüğü ortalama fenolojik sıcaklık eşikleri ile toprak sıcaklık eşiklerini tanımlayan Sviličić vd. (2016)'nin önerileri dikkate alınmıştır. Bu çalışmalar dikkate alınarak uzman görüşüne dayalı genel bir sınıflandırma da oluşturulmuştur (Tablo 9). Burada günlük toprak sıcaklıklarına ait trendler, bu sınırlar kullanılarak değerlendirilmiştir ancak yıllık ortalama sıcaklık değerlerine ait trendlerde bu sınıflama anlamlı ve kullanışlı değildir. Bu nedenle her bir istasyona ait yıllık trendler, kendi içinde eşit aralıklar temelinde değerlendirilmiş ancak değerlerin saçılımındaki sıçramalar da dikkate alınmıştır.

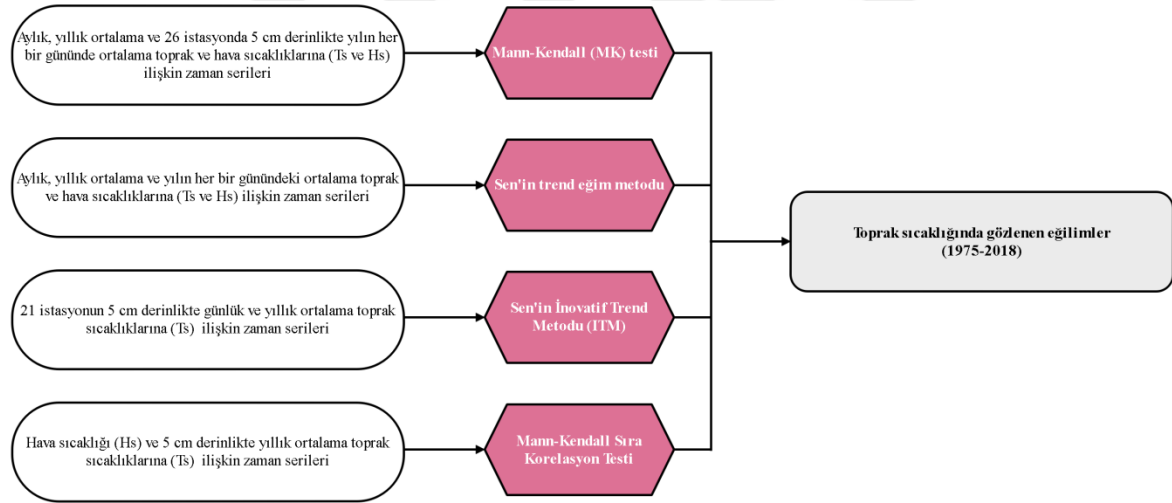
Tablo 9

Trend grafiklerinin yorumlanabilmesi için tarafımızdan geliştirilen toprak sıcaklık sınıflaması (5 cm için)

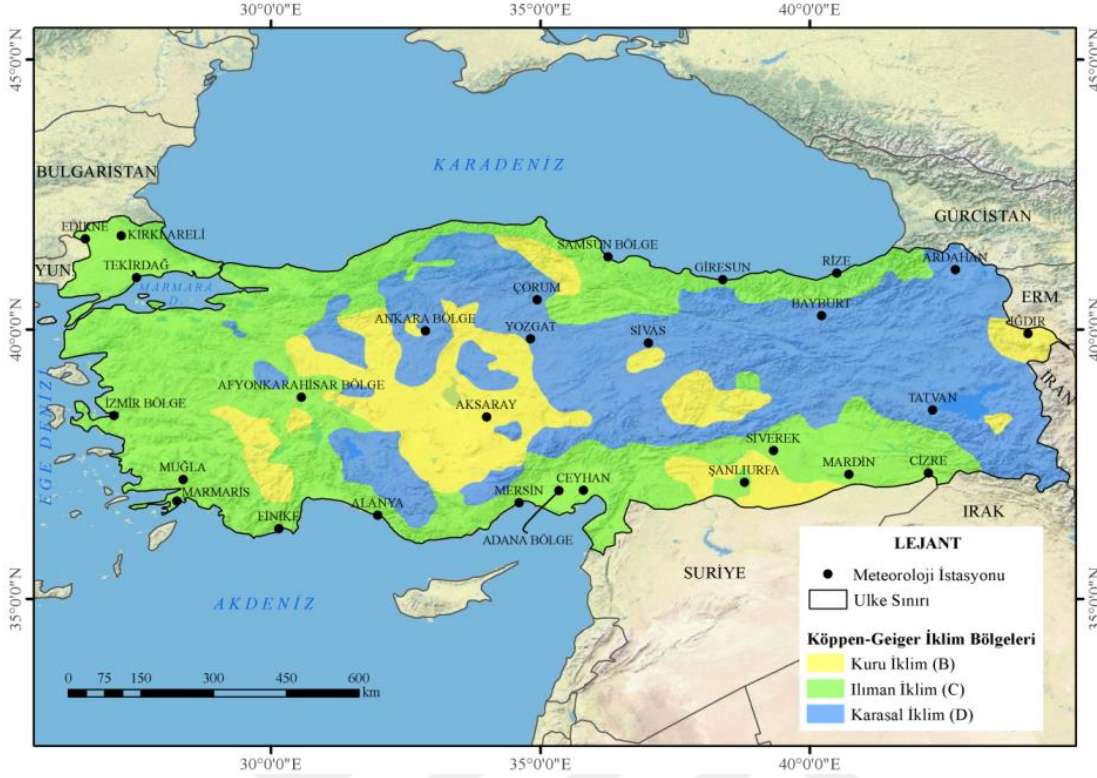
Toprak Sıcaklık Değer Sınıfı	Değer Aralığı (°C)
Çok Düşük	< -5
Düşük	-5-0
Orta-Düşük	0-15
Orta	15-30
Orta-Yüksek	30-35
Yüksek	35-40
Çok Yüksek	> 40

Özetle toprak sıcaklıklarının trend analizinde yukarıdaki paragraflarda bahsedilen kıstaslardan yola çıkılarak subjektif bir araştırma modeli oluşturulmuştur (Şekil 42). Bu modelin uygulanmasında ilk olarak, tüm Türkiye'de 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinliklerinde ölçülmüş günlük ortalama toprak sıcaklık ve hava sıcaklık kayıtlarından yararlanarak iklim değişikliği açısından önemli aylık ortalama sıcaklıklardaki bölgesel

eğilimlerin büyüklüğü, eğimi ve yönü tanımlanmıştır. İkinci aşamada, 5 cm derinlikte yıllık ortalama toprak sıcaklıkları ve hava sıcaklıklarında trendlerin büyüklüğü, trendlerin başlangıç yılı ve seçili 26 istasyona ait ekstrem değerlerin eğilimi de ortaya konulmuştur. Bu aşamada ayrıca hava sıcaklıklarında ve gözlenen eğilimler ayrıca analiz edilerek trendlerin başlangıç yılı ve ekstrem değerlerin eğilimi de tespit edilmiştir. Üçüncü aşamada, farklı iklim bölgelerini ve önemli buğday üretim alanlarını temsil eden 26 istasyon seçilmiş (Şekil 43) ve bu istasyonlara ait 44 yıllık hava sıcaklığı ve 5 cm derinlikte günlük toprak sıcaklık değerlerine ait kayıtlar kullanılmıştır. Bu kayıtlar analize uygun hale getirilerek 44 yılın her gününe ait trendlerin büyüklüğündeki (MK-Z değerleri) değişimler açıklanmıştır. Bir başka deyişle toprak ve hava sıcaklık değişkenlerinde gözlenen eş zamanlı günlük eğilimlerin davranışı ortaya konmuştur. Bunun dışında bu 26 istasyonun içinden seçilmiş 21 istasyona ait günlük ortalama hava sıcaklıklarında ve 5 cm derinlikte toprak sıcaklıklarında gözlenen trendler, hem istatistiksel hem de grafiksel açıdan ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir.



Şekil 42. Toprak sıcaklıklarında gözlenen uzun dönemli eğilimler (1975-2018) için kullanılan iş akışının şematik diyagramı.



Şekil 43. İklim bölgeleri (Öztürk, vd., 2017) ile birlikte seçili 26 meteoroloji istasyonunun konumu.

8.2. Aylık Ortalama Toprak ve Hava Sıcaklığında Gözlenen Eğilimler

Aylık ortalama hava sıcaklıklarına ilişkin trend analizlerinde 216 istasyona ait toplam 2592 ayın %61, %50, %35 ve %22'sinde sırasıyla 0.1, 0.05, 0.01 ve 0.001 seviyesinde anlamlı trendler tespit edilmiştir. Bu trendlerin tamamı, artış eğilimindedir. Diğer bir deyişle, hiçbir istasyonda anlamlı azalış trendi görülmemiştir ancak mart ve ağustos ayı dışında diğer aylarda birkaç istasyonda, yerel ölçekte, anlamlı olmayan sıcaklık azalmaları vardır (Şekil 44).

İstasyonların büyük kısmında en güçlü hava sıcaklık artışları ağustos ayında görülmüştür. Ağustos, 213 istasyonla en fazla pozitif trend (0.05 anlamlılık düzeyinde) tespit edilen ay olmuştur. 0.05 anlamlılık düzeyinde 7 istasyonla aralık ayı, en az trend tespit edilen aydır. Bunu 9 ay ile ocak ayı takip etmektedir.

Hava sıcaklıklarında maksimum pozitif eğimler, en çok ağustos ayında (141 istasyon, %65) tespit edilmiştir. Ağustos ayında gözlenen maksimum eğimlerin büyük

kısmı Akdeniz iklimi etkisi altındaki sahalarda gözlenmiştir. En çok maksimum pozitif eğimlerin gözleendiği ikinci dönem, şubat ve mart olup bu eğimler karasal bölgelerde toplanmıştır.

Sırasıyla Alanya, Yüksekova, Fethiye, Kuşadası ve Elbistan istasyonları artan yönde değişimin en fazla olduğu istasyonlardır ve bu istasyonlar Akdeniz ve Ege kıyılarında yer almaktadır. En güçlü artış, 0.11 °C/yıl ile Alanya istasyonundadır. Alanya bölgesi ayrıca mayıs-kasım (7 ay) döneminde Türkiye’de en kuvvetli sıcaklık artışları ile dikkati çekmektedir. Bu özellikler Alanya’yı Türkiye’de en sıcak bölge yapmaktadır. Bu dönemlerde trendin eğimi, 0.07-0.11 °C/yıl arasında değişmektedir. Artış, 0.05 anlamlılık düzeyinde 1995’den günümüze değin devam etmektedir.

Pozitif yönlü hava sıcaklık eğilimlerine en açık alan, Akdeniz ve Ege kıyılarıdır ancak şubat ve mart aylarında trendin büyüklüğü ile Türkiye’nin doğusundaki soğuk bölgeler ön plana çıkmaktadır.

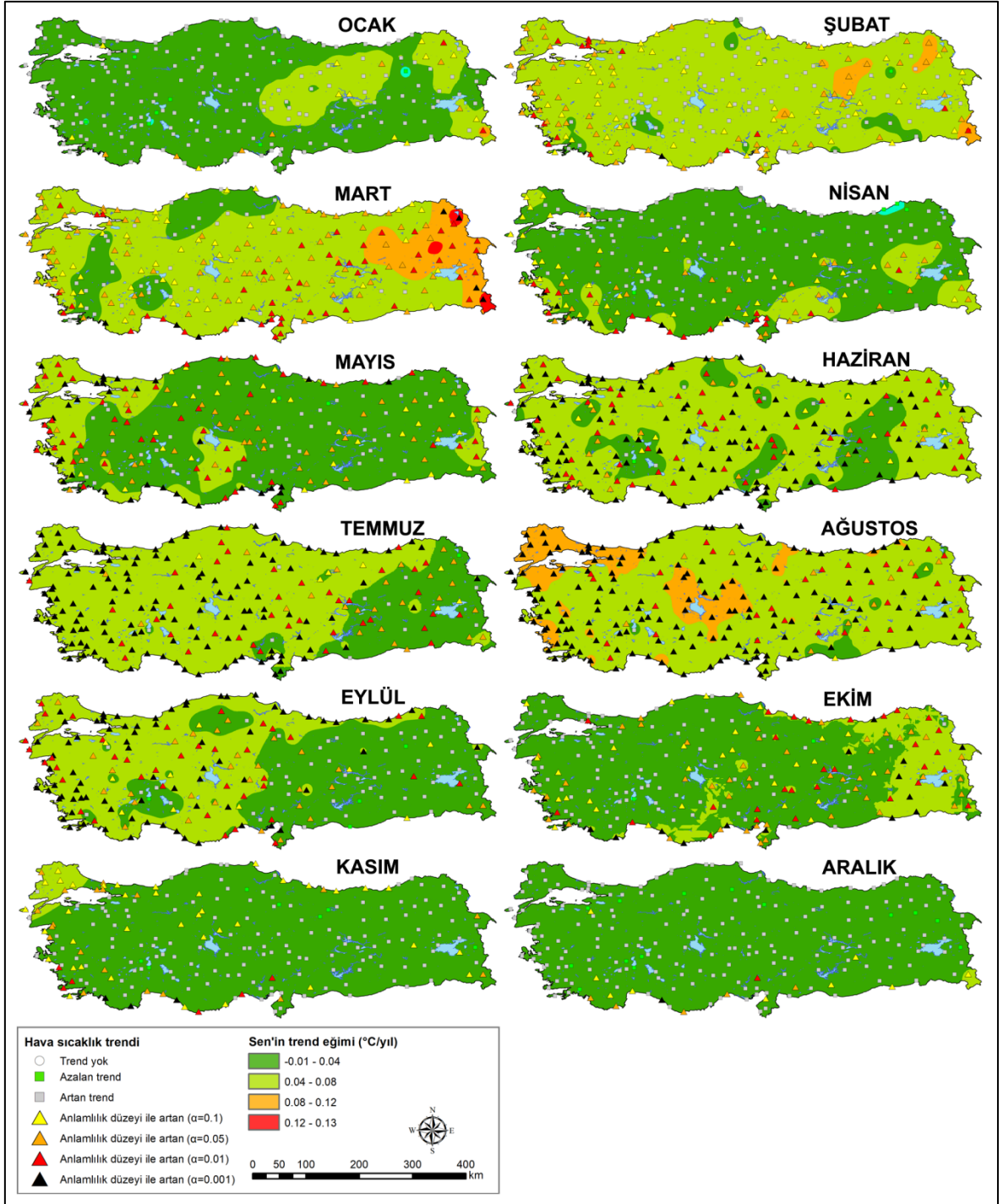
Haziran-temmuz-ağustos döneminde 0.001 anlamlılık düzeyinde hava sıcaklık artışları ülke geneline yayılmıştır. Başka bir deyişle, global bir trend söz konusudur. Artış oranı, Türkiye genelinde 0.04-0.08 °C/yıl’dır. Ağustos ayında Trakya, Konya Havzası, Küçük Menderes ve Büyük Menderes Ovası gibi önemli tarım havzalarında sıcaklık artış oranı diğer bölgelere ve diğer sezonlara göre oldukça yüksektir (0.08-0.12 °C/yıl) (Şekil 44).

Yaz mevsiminde Türkiye genelinde gözlenen hava sıcaklık trendinin davranışı, eylülde değişmektedir. Eylülde Türkiye’nin batı yarısında önemli trend artışları görülür iken doğu yarısında istatistiksel açıdan önemli olmayan zayıf sıcaklık artışları dikkati çekmektedir (Şekil 44). Bu dönemde kabaca batıdaki sıcaklık artışları, Türkiye’nin doğu yarısına göre iki kat daha fazladır.

Kasım-ocak döneminde istatistiksel açıdan önemli olmayan hava sıcaklık artışları yaygındır. Bu artışlar nispeten diğer dönemlere göre düşük olup yılda 0.00-0.04 °C arasındadır (Şekil 44).

Şubat ve mart ayında Türkiye'nin doğu yarısında; ağustos ayında Trakya ve Tuz Gölü havzasında 0.08 °C/yıl'ın üzerinde trend eğim bölgeleri oluşmuştur. Özellikle mart ayında Ardahan-Horasan-Muş-Yüksekova üçgeninde ortaya çıkan yerel 0.12-0.15 °C/yıl trend eğim bölgeleri dikkat çekmektedir ki diğer bölge ve sezonlara göre bu değerler, oldukça yüksektir ve istatistiksel açıdan önemlidir (Şekil 44). Bu koşullar, bölgede ürünlerin erken olgunlaşması açısından bir fırsat olup tarımsal potansiyeli artırıcı bir özelliktir.





Şekil 44. Aylık ortalama hava sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası.

Aylık ortalama toprak sıcaklıklarına (5 cm) ilişkin trend analizlerinde 195 istasyona ait toplam 2340 ayın %47, %40, %27 ve %13'ünde sırasıyla 0.1, 0.05, 0.01 ve 0.001 seviyesinde anlamlı trendler tespit edilmiştir. 0.1, 0.05, 0.01 ve 0.001 anlamlılık düzeyinde sırasıyla bu trendlerin %95, %94, %95 ve %96'sı artış eğilimindedir. Diğer bir deyişle, az sayıda istasyonda anlamlı azalış trendi görülmüştür. Önemli azalış eğilimleri (0.05

anlamlılık düzeyinde) nisan-ekim (7 ay) döneminde gerçekleşmiştir. Dahası toprak sıcaklıklarında gözlenen azalma eğilimlerinin dörtte biri eylül ayında toplanmıştır.

İstasyonların büyük kısmında en güçlü toprak sıcaklık artışları (5 cm'de) ağustos ayında görülmüştür. Ağustos, 143 istasyonla en fazla pozitif trend (0.05 anlamlılık düzeyinde) tespit edilen ay olmuştur. 0.05 anlamlılık düzeyinde 26 istasyonla aralık ayı, en az trend tespit edilen aydır. Bunu 45 istasyon ile nisan ayı takip etmektedir.

Toprak sıcaklıklarında (5 cm) maksimum pozitif eğimler (yıllık artış oranı), en çok ağustos ayında (97 istasyon, %50) tespit edilmiştir. Ağustos ayında gözlenen maksimum eğimler Türkiye geneline yayılmıştır. En çok maksimum pozitif eğilimlerin gözlendiği ikinci dönem, kasımdır. Bu eğilimler, Karadeniz ikliminin etkili olduğu alanlar dışında diğer yerlerde toplanmıştır.

Türkiye'de mart, eylül, kasım ve aralık döneminde (4 ay) en yüksek toprak sıcaklık artışları (5 cm) Artvin, Gümüşhane, Sarıkamış, Kangal, Özalp ve Acıpayam istasyonlarında tespit edilmiştir. Bu alanlarda trendin yıllık artış oranı, 0.10-0.16 °C/yıl arasında değişmektedir. Bu yerlerde en yüksek toprak sıcaklık artışları ise eylülde gerçekleşmiştir.

Toprak sıcaklıklarındaki (5 cm) artış trendinin önemi ve büyüklüğü, hava sıcaklıklarındaki artış trendinin önemi ve büyüklüğünden daha düşüktür. Toprak sıcaklıklarında değişkenlik daha büyüktür (Şekil 44 ve 45). Dolayısıyla toprak sıcaklıklarının trend değişim örüntüsü, hava sıcaklıklarından farklılaşmaktadır. Hava sıcaklıklarındaki trend örüntülerine nazaran toprak sıcaklıklarında önemli negatif yönlü trend eğilim bölgeleri de oluşmuştur. Bu bölgeler, Anadolu'nun doğusunda ve güneybatısında yoğunlaşmaktadır. Ayrıntıda haziran-ekim döneminde (5 ay) güneybatı Anadolu'da ve Van Gölü batısında bu örüntü görülmektedir. Bu bölgelerde toprak sıcaklıklarında azalış oranı, 0.13 °C/yıl'a kadar çıkmaktadır. Esasen aralık, ocak ve şubat ayı dışında diğer aylarda farklı yerlerde önemli düzeyde azalan eğilimler ortaya çıkmıştır. Toprak sıcaklıklarında azalış eğilimi, toprak sıcaklıklarındaki gecikmeden kaynaklı eylülde daha kuvvetlidir. Toprak sıcaklıklarının trend değişim örüntüsü ile hava sıcaklıkları arasındaki bir diğer farklılık şudur ki hava sıcaklıklarında kasım-aralık-ocak döneminde

yaygın şekilde gözlenen istatistiksel açıdan önemli olmayan artışlar, toprak sıcaklıklarında sadece aralık ayında görülmektedir. Özetle daha dar bir zaman dilimine yayılmıştır. Bunun dışında 0.04-0.08 °C/yıl trend eğilim bölgelerindeki değişimler göstermektedir ki hava sıcaklıklarında mayıs ayından sonra gözlenen belirgin bölgesel trend artışı, toprak sıcaklıklarında haziran ayından sonra olmuştur (Şekil 44 ve 45).

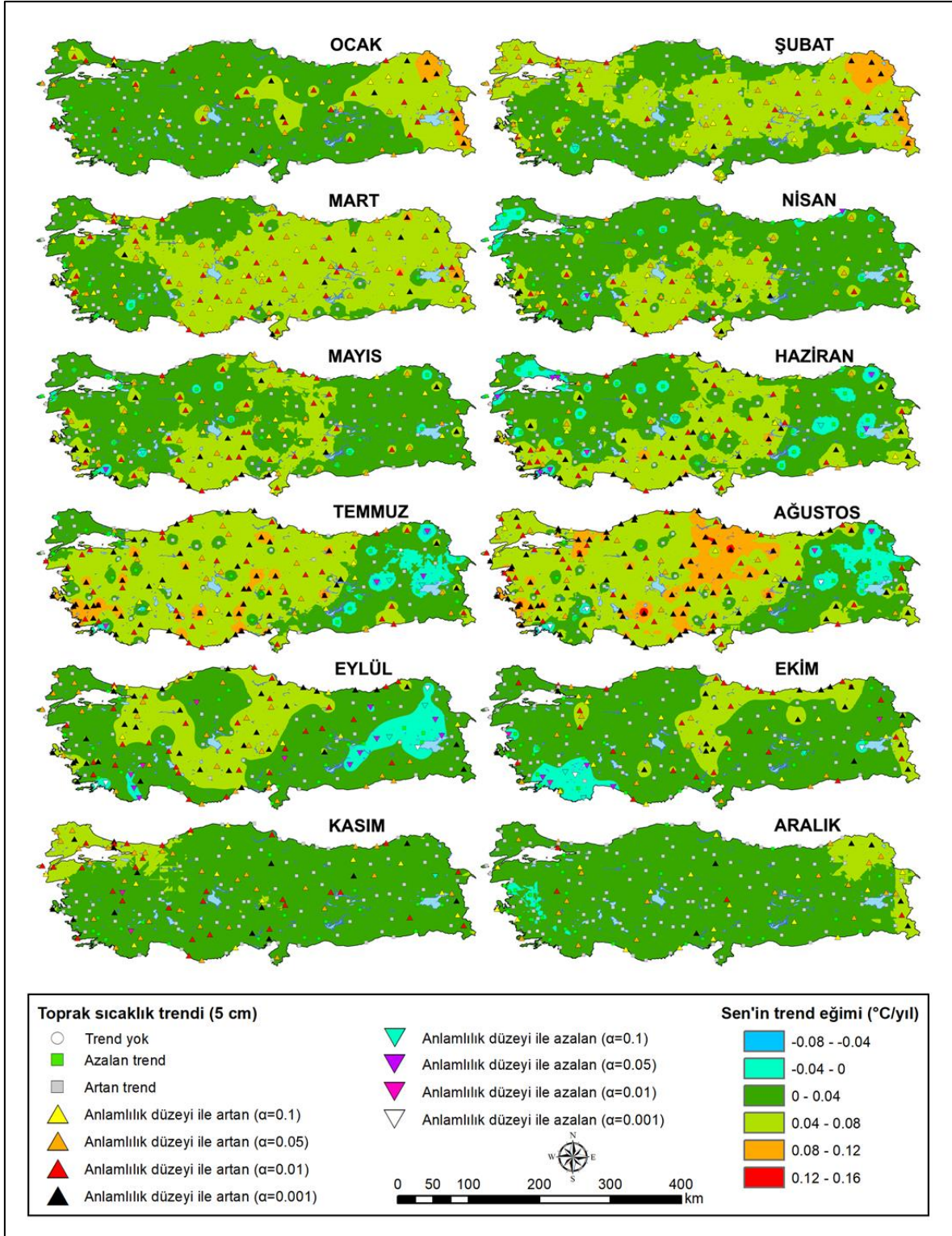
Toprak sıcaklık (5 cm) trendinde en yüksek bölgesel değişkenlik ağustos ayındadır. İklimsel değişim hava sıcaklıklarında olduğu gibi eylül ayında tamamen farklılaşmaktadır ki bölgesel trend büyüklüğünün değişkenliği de aniden azalmıştır. Hava sıcaklık trend değişimlerinde olduğu gibi toprak sıcaklıklarında da eylül ayında boylamsal yani doğulu-batılı bir alansal örüntü ortaya çıkmaktadır. Ekim ayına gelindiğinde bu boylamsal örüntünün yerini enlemsel bir örüntü almaktadır ki ekim ayında artık Türkiye'nin doğusunda görülen anlamlı negatif trend bölgesi kaybolmuş ve yerini anlamlı olmayan sıcaklık artışlarına bırakmıştır. Dahası negatif eğilim bölgesi, Türkiye'nin doğusundan güneybatı Anadolu'ya kaymıştır (Şekil 45).

Bölgesel coğrafya açısından kasım ayında Trakya kesiminde toprak sıcaklıklarının (5 cm) trend değişimi Anadolu'dan farklılaşmaktadır. Bölgede pozitif yönlü anlamlı trendlerin ve yüksek trend eğilimlerinin yoğunlaşması dikkati çekmektedir. Kasım ve aralık ayında kıyı bölgelerindeki trendlere bakıldığında Çukurova'da da benzer bir özellik söz konusudur (Şekil 45).

5 cm derinlikte toprak sıcaklıklarında, ocak ve şubat ayında, Türkiye'nin kuzeydoğusunda; ağustos ayında ise yerel ölçekte pek çok alanda 0.08 °C/yıl'ın üzerinde istatistiksel açıdan önemli pozitif yönlü trend eğilim bölgeleri oluşmuştur. Türkiye üzerinde 0.08 °C/yıl üzeri artışlar, en geniş yayılış alanına ağustosta ulaşmaktadır. Ağustos döneminde 0.01 ve 0.001 anlamlılık düzeylerinde sıcaklık artışları ülke geneline (doğusu hariç) yayılmıştır ki toprak sıcaklık artış oranı, diğer aylara göre yüksektir: Artış oranı, Türkiye genelinde 0.04-0.08 °C/yıl aralığında yoğunlaşmaktadır ve 0.08 °C/yıl üzeri artışlar en geniş yayılış alanına sahiptir. Özetle ağustos ayında, global bir trend söz konusudur. Bu ayda Çeşme, Malatya, Bilecik ve Mersin, $\alpha=0.001$ anlamlılık düzeyinde yüksek trend eğilimi ile (0.14-0.15 °C/yıl) karakterize edilmiştir.

Yaz döneminde olduğu gibi eylül ayında Türkiye'nin doğu yarısında toprak sıcaklık (5 cm) trendlerinde 0.05 anlamlılık seviyesinde azalışlar dikkati çekmektedir. Bu azalışlar Tatvan ve Ardahan'da 0.001 anlamlılık seviyesine çıkmaktadır. Bu azalmaların oranı 0 ile -0.04 °C/yıl arasında değişmekte olup temmuzda Ardahan ve Bingöl'de -0.08 °C/yıl'a kadar düşmektedir. Bunun dışında ağustos ayında Marmaris istasyonunda da tespit edilen azalma 0.08 °C/yıl'dır. (Şekil 45). Bu sonuçlar bize Türkiye'de toprak sıcaklık eğilimlerinin tek başına hava sıcaklık değişimleri ile açıklanamayacağını göstermektedir.



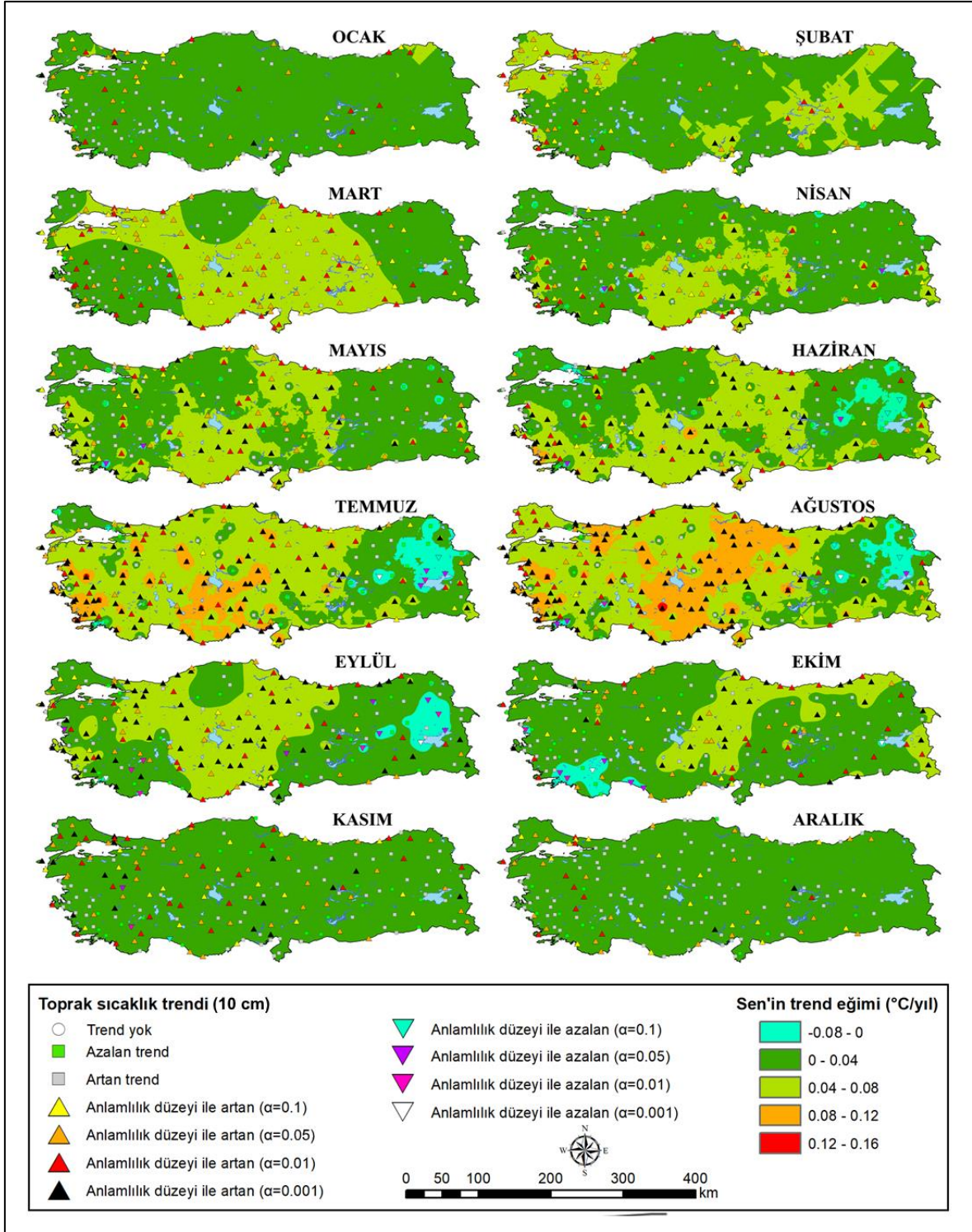


Şekil 45. 5 cm derinlikte aylık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası.

İstasyonların büyük kısmında en güçlü toprak sıcaklık artışları (10 cm'de) ağustos ayında görülmüştür. Ağustos, 196 istasyonun 147'sinde en fazla pozitif trend (0.05 anlamlılık düzeyinde) tespit edilen ay olmuştur.

Maksimum pozitif eğilimler (10 cm), en çok ağustos ayında (89 istasyon, %45) tespit edilmiştir. Ağustos ayında gözlenen maksimum eğilimler, Akdeniz kıyılarında ve karasal iç kesimlerde toplanmıştır.

Sığ toprak katmanında 5 cm'den 10 cm derinliğe geçişte aylık ortalama toprak sıcaklıklarında ısınma eğilimi devam etmektedir. Buna ek olarak, trendin davranışı genel olarak tutarlıdır ancak bu geçişte 10 cm derinlikte Türkiye'nin iç kesimlerinde anlamlı pozitif yönlü trendler daha büyüktür ve trendin yıllık değişimi (0.08-0.12 °C/yıl) daha yüksektir ve geniş alanları etkilemiştir. 0.001 anlamlılık düzeyinde artışların ve yüksek artış oranlarını gösteren 0.08-0.12 °C/yıl trend kuşağının geniş alanlara yayılması bunu göstermektedir. İç kesimlerdeki değişim aksine Trakya'da kasım ayında ise tam tersi bir durum gözlenmektedir ki orta düzeyli trend kuşağında (0.04-0.08 °C/yıl) belirgin bir daralma düşük trend kuşağında (0.00-0.04 °C/yıl) belirgin bir genişleme söz konudur. Diğer bir deyişle Trakya'da 10 cm'de anlamlı toprak sıcaklık artışları devam etmekle birlikte trendin yıllık artış oranı düşmektedir (Şekil 45 ve 46).

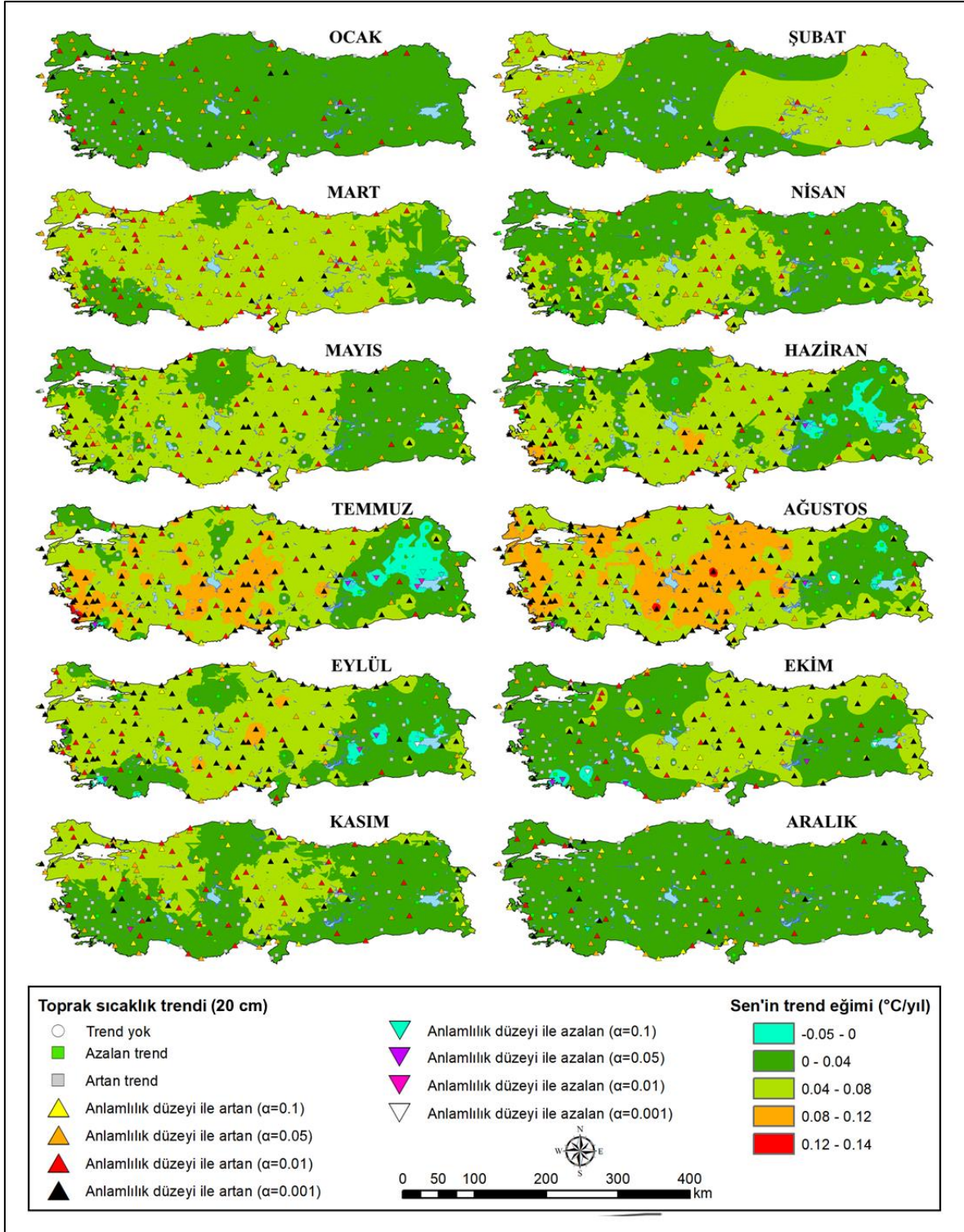


Şekil 46. 10 cm derinlikte aylık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası.

En güçlü toprak sıcaklık artışları (20 cm’de) ağustos ayında görülmüştür. Ağustos, 192 istasyonun 156’sında en fazla pozitif trend (0.05 anlamlılık düzeyinde) tespit edilen ay olmuştur.

Toprak sıcaklıkların (20 cm) maksimum pozitif eğilimleri, en çok ağustos ayında (91 istasyon, %47) tespit edilmiştir. Ağustos ayında gözlenen maksimum eğilimler, Trakya, Akdeniz ve Karadeniz kıyılarında ve karasal iç kesimlerde gerçekleşmiştir.

Sığ toprak katmanında 10 cm’den 20 cm derinliğe geçişte aylık ortalama toprak sıcaklıklarında bir ısınma eğilimi vardır. Bu ısınma eğilimi pozitif ve negatif trend eğilim bölgelerinde görülmektedir. Başka bir deyişle, gözlenen trendin etki alanı, büyüklüğü ve eğimi artmaktadır. Özellikle mart, mayıs ve eylül-kasım aylarında (5 ay) 0.04-0.08 °C/yıl olan trend kuşağı geniş alanlara yayılmıştır. Temmuz ve ağustosta Türkiye’nin iç kesimleri ve Ege kıyı ovalarında 0.08-0.12 °C/yıl olan trend kuşağı da kuzeye ve doğuya doğru etki alanını genişletmiş ve trendin büyüklüğü de artmıştır. Derine bağlı toprak sıcaklığı trend değişimlerinde en belirgin değişim ise kasım ayında görülmüştür ki 0.01 anlamlılık düzeyinde pozitif yönlü toprak sıcaklık artışları Türkiye genelinde etkisini göstermiştir (Şekil 47). Bu trend özelliği, Trakya’da ve iç kesimlerde kasım ayında gerçekleştirilecek kışlık ekimlerde yukarı yönlü ısı iletimini teşvik ederek tohum çimlenmesini kolaylaştırabilir. Dolayısıyla vejetatif devrenin kısılmasına pozitif katkı sağlayabilir.



Şekil 47. 20 cm derinlikte aylık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası.

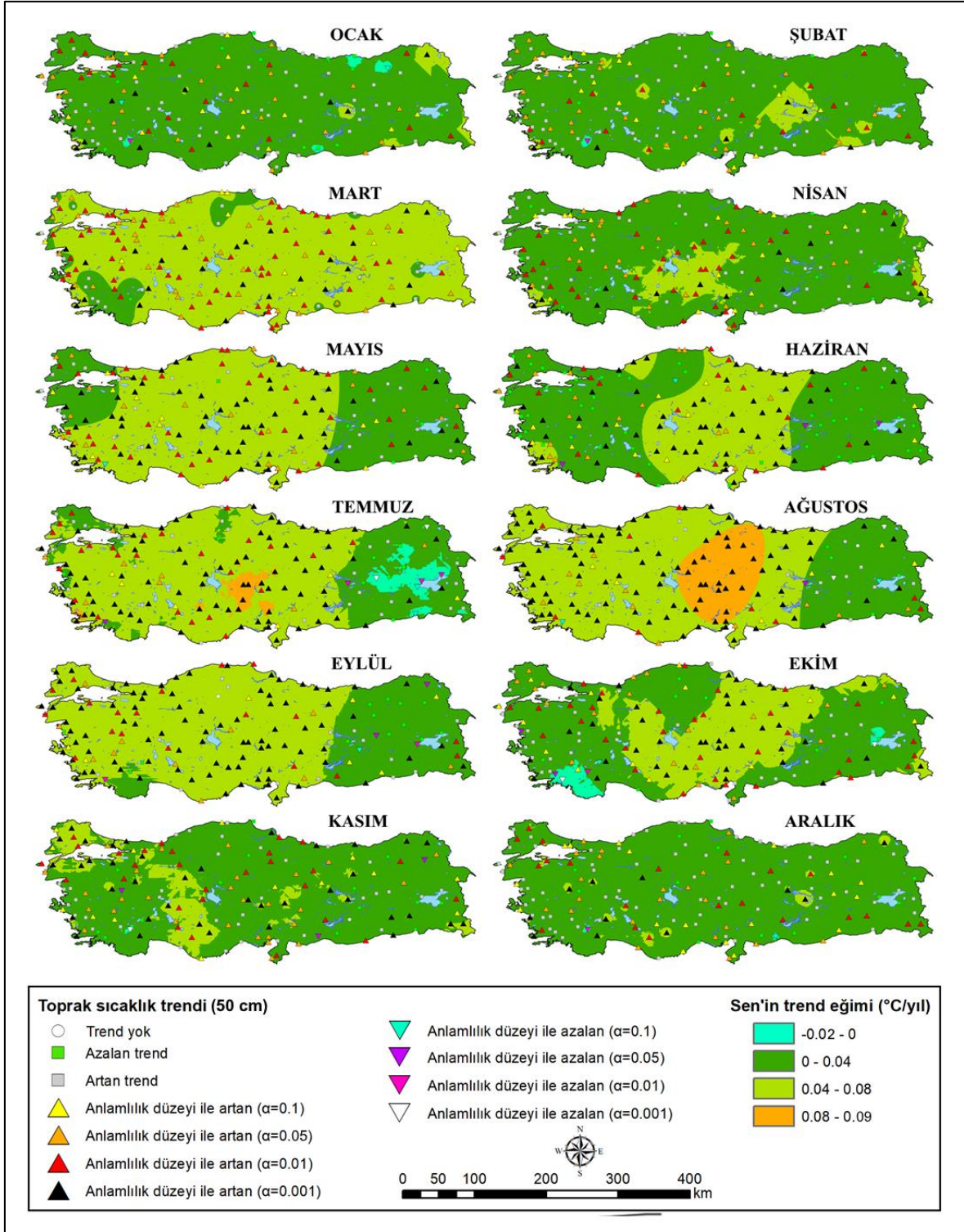
Aylık ortalama toprak sıcaklıklarına (50 cm) ilişkin trend analizlerinde 159 istasyona ait toplam 1911 ayın %70, %61, %46 ve %29'unda sırasıyla 0.1, 0.05, 0.01 ve 0.001 seviyesinde anlamlı trendler tespit edilmiştir. 0.1, 0.05, 0.01 ve 0.001 anlamlılık

düzeyinde sırasıyla bu trendlerin %98, %98, %99 ve %100'ü artış eğilimindedir. Az sayıda istasyonda gözlenen anlamlı azalış eğilimleri (0.05 anlamlılık düzeyinde), mart-mayıs dışındaki aylarda (9 ay) gerçekleşmiştir.

İstasyonların büyük kısmında en güçlü toprak sıcaklık (50 cm) artışları nisan ayında görülmüştür. Ağustos, 127 istasyonla en fazla pozitif trend (0.05 anlamlılık düzeyinde) tespit edilen ay olmuştur. 0.05 anlamlılık düzeyinde 56 istasyonla aralık ayı, en az trend tespit edilen aydır. Bunu 57 istasyon ile ocak ve şubat ayı takip etmektedir.

50 cm'de maksimum pozitif eğilimler, en çok ağustos ayında (82 istasyon, %51) tespit edilmiştir. Ağustos ayında gözlenen maksimum eğilimler, Türkiye'nin Trakya, Karadeniz kıyıları ve iç kesimlerde yayılmıştır. En çok maksimum pozitif eğilimlerin gözlemlendiği ikinci dönem, marttır. Bu eğilimler, genellikle karasal ikliminin etkili olduğu alanlarda toplanmıştır.

Sığ toprak katmanından orta derinlik katmanına (50 cm) geçişte aylık ortalama toprak sıcaklıklarında trendin davranışı benzerdir. Buna karşın anlamlı negatif trend bölgesinde belirgin bir değişim vardır. Bu değişim toprak ısınması şeklindedir ki haziran, ağustos ve eylülde Van Gölü'nün kuzeyi ve batısında gözlenen anlamlı negatif eğilim bölgesi ortadan kalkmış yerini anlamlı olmayan negatif eğilimlere bırakmıştır (Şekil 47 ve 48).



Şekil 48. 50 cm derinlikte aylık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası.

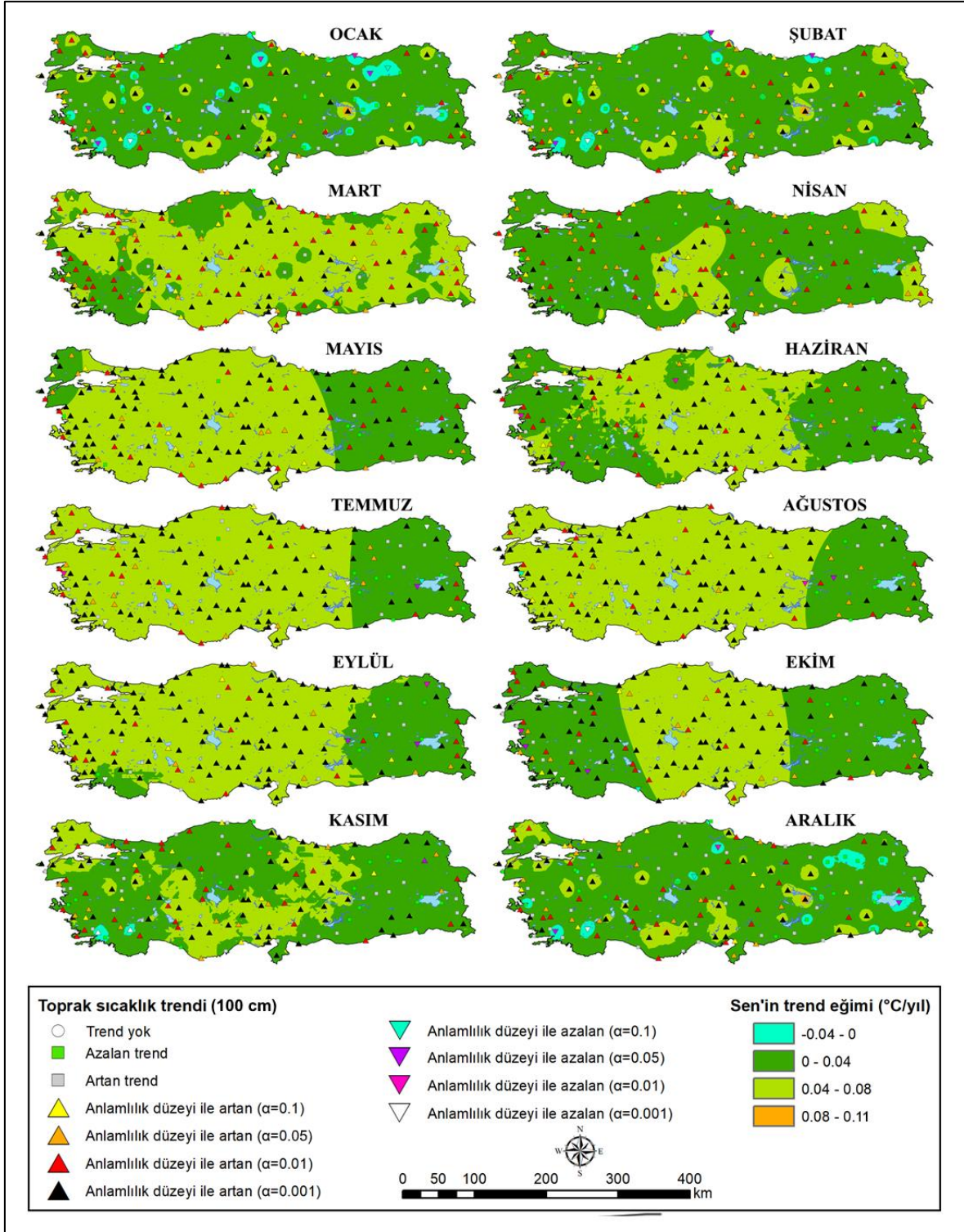
Aylık ortalama toprak sıcaklıklarına (100 cm) ilişkin trend analizlerinde 159 istasyona ait toplam 1898 ayın %78, %74, %59 ve %41'inde sırasıyla 0.1, 0.05, 0.01 ve 0.001 seviyesinde anlamlı trendler tespit edilmiştir. 0.1, 0.05, 0.01 ve 0.001 anlamlılık

düzeyinde sırasıyla bu trendlerin %97, %98, %99 ve %99'u artış eğilimindedir. Az sayıda istasyonda gözlenen anlamlı azalış eğilimleri (0.05 anlamlılık düzeyinde), mart-mayıs dışındaki aylarda (9 ay) gerçekleşmiştir.

Türkiye genelinde en güçlü toprak sıcaklık (100 cm) artışları nisan ayında görülmüştür. Nisan, 138 istasyonla en fazla pozitif trend (0.05 anlamlılık düzeyinde) tespit edilen ay olmuştur. 0.05 anlamlılık düzeyinde 28 istasyonla aralık ayı, en az trend tespit edilen aydır. Bunu 64 istasyon ile nisan ayı takip etmektedir.

Maksimum pozitif eğilimleri (100 cm), en çok ağustos ayında (67 istasyon, %42) tespit edilmiştir. Ağustos ayında gözlenen maksimum eğilimler, Türkiye'nin doğu, kuzeydoğu ve güneydoğu kesimi hariç diğer alanlara yayılmıştır. En çok maksimum pozitif eğilimlerin gözleendiği ikinci dönem, marttır. Bu eğilimler, karasal ikliminin etkili olduğu alanlarda toplanmıştır.

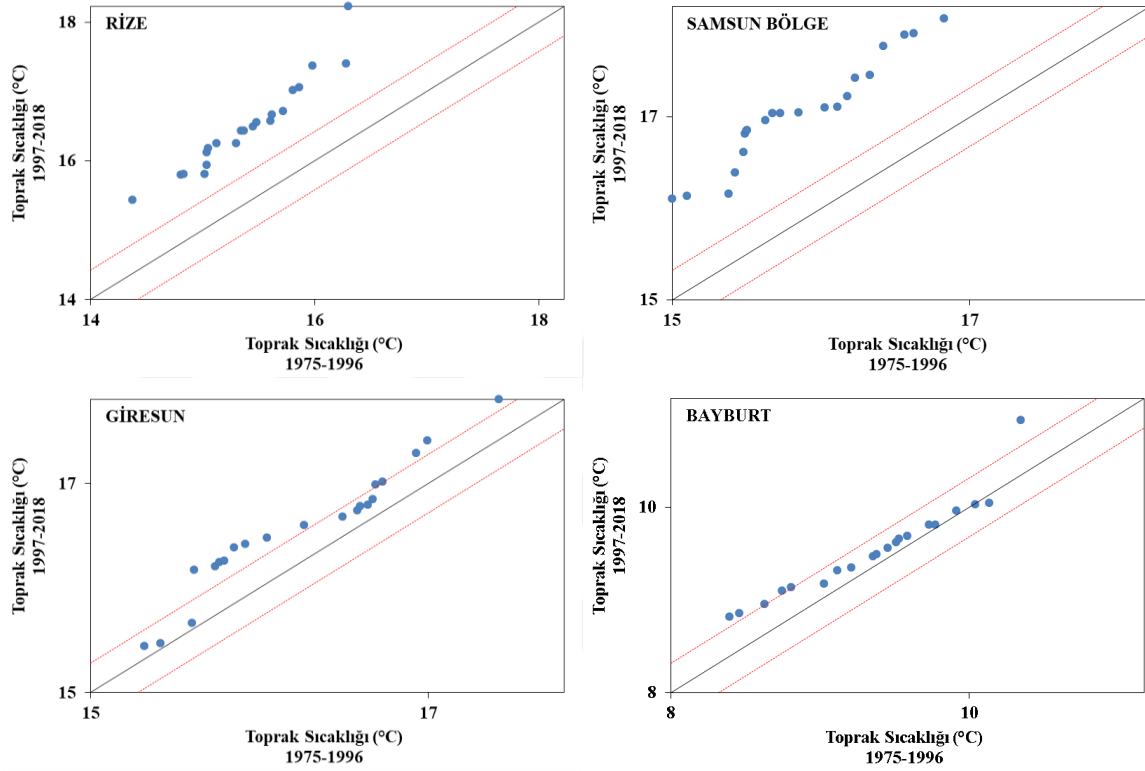
Orta derinlikte toprak katmanından (50 cm) derin toprak katmanına (100 cm) geçişte aylık ortalama toprak sıcaklıklarında trendin davranışı benzerdir. Bununla birlikte bazı farklılıklar vardır: Öncelikle ocak, şubat, kasım ve aralıkta yerel ölçekte pek çok yerde anlamlı toprak sıcaklık azalışları ortaya çıkmıştır ve bu azalış oranları, 0.00-0.04 °C/yıl arasında değişmektedir. İkincisi, temmuz ayında Van Gölü kuzeyi ve batısında 50 cm derinliğe değin gözlenen anlamlı negatif trend bölgesi, 100 cm derinliğe gelindiğinde yerini anlamlı olmayan azalma eğilimlerine bırakmıştır (Şekil 48 ve 49).



Şekil 49. 100 cm derinlikte aylık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası.

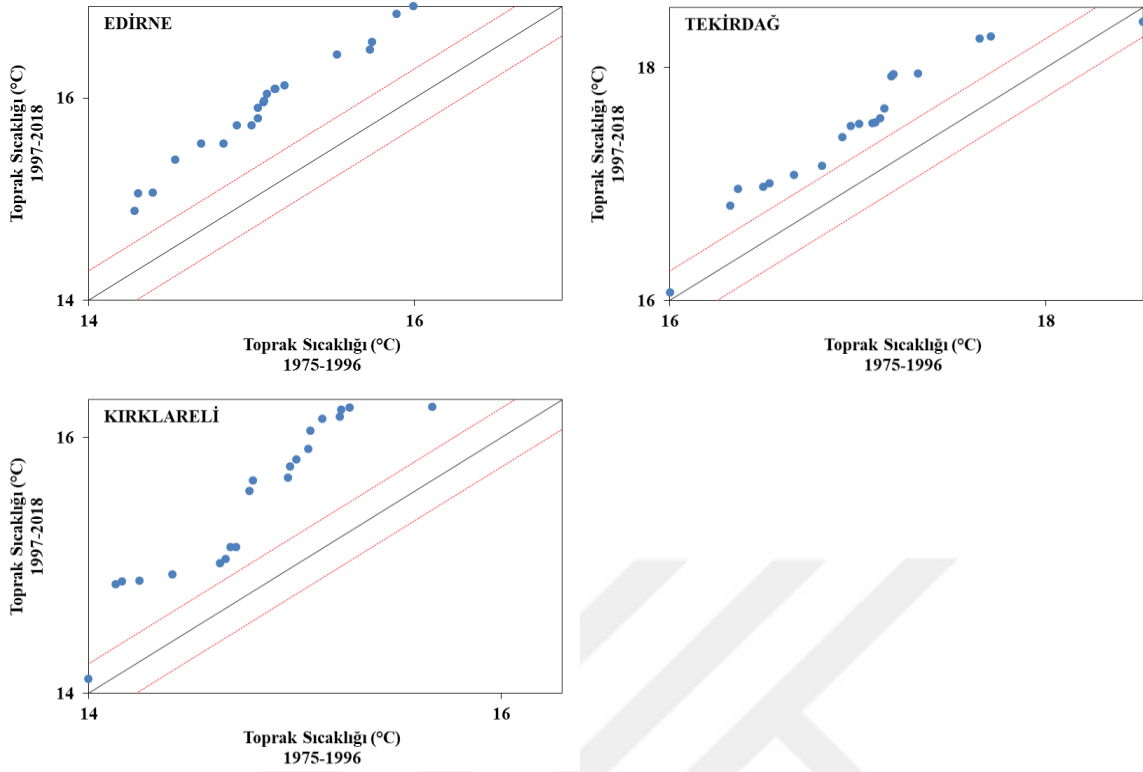
İTA yöntemine göre Karadeniz kıyı ve gerisinin yıllık ortalama toprak sıcaklıklarında 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir artış trendi vardır. Özellikle Karadeniz kıyılarında Rize, Samsun ve Giresun istasyonlarında tüm toprak

sıcaklık veri noktaları 1:1(45°) çizgisinin üstünde olduğu için belirgin bir artış trendi bulunmaktadır. (Şekil 50). Kıyı gerisinde yer alan Bayburt istasyonu da benzer bir özellik göstermekle birlikte yüksek değer gruplarında 10-11 °C verilerinde %2 azalış trendi tespit edilmiştir



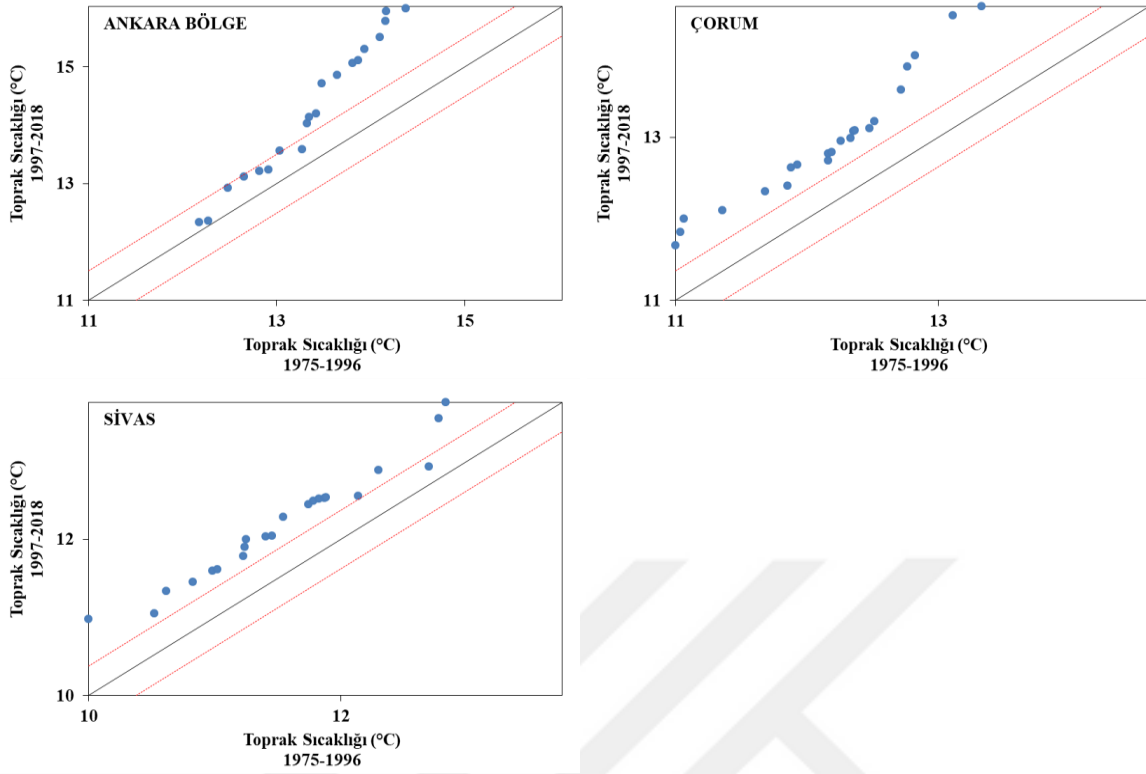
Şekil 50. Karadeniz kıyı ve gerisinde İTA yöntemine göre yıllık ortalama toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde **kırmızı çizgi** (---), % 10 trend hattını göstermektedir.

İTA yöntemine göre Karadeniz kıyılarındaki artış trendi kadar kuvvetli olmasa da Trakya'nın yıllık ortalama toprak sıcaklıklarında da 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir artış trendi vardır. Özellikle Edirne ve Kırklareli istasyonlarında tüm toprak sıcaklık veri noktaları 1:1(45°) çizgisinin üstünde olduğu için belirgin bir artış trendi vardır. Edirne ve Kırklareli istasyonlarından farklı olarak Tekirdağ bölgesinin yüksek değer grubundaki sıcaklıklarda (> 18 °C) bir azalış görülmektedir (Şekil 51).



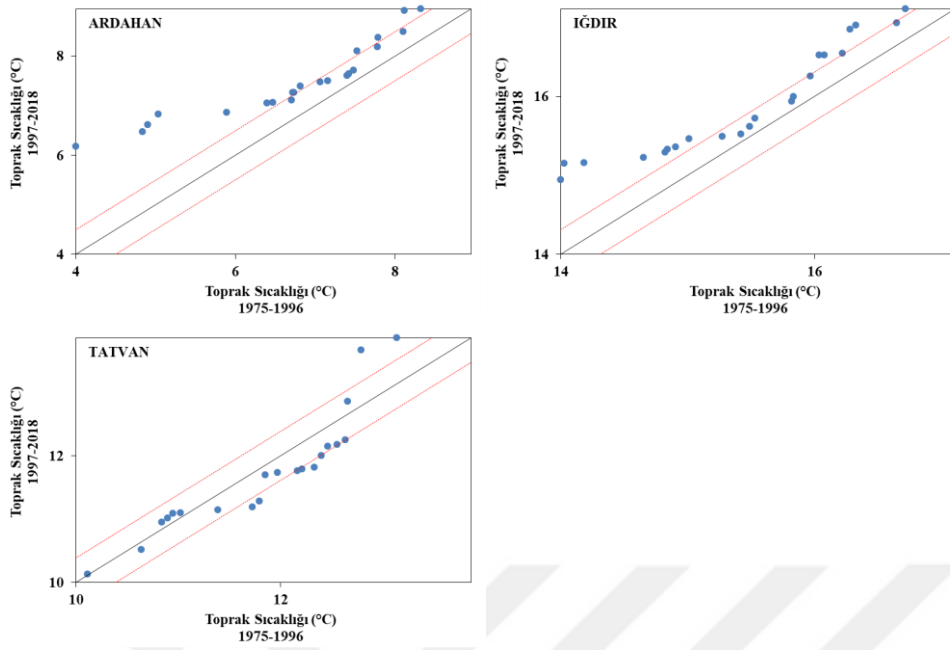
Şekil 51. Trakya’da İTA yöntemine göre yıllık ortalama toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde kırmızı çizgi (····), % 10 trend hattını göstermektedir.

İTA yöntemine göre Karasal İç Anadolu toprak sıcaklıklarında 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir artış trendi vardır. Ankara Bölge, Çorum ve Sivas istasyonlarında görüldüğü üzere tüm toprak sıcaklık veri noktaları 1:1(45°) çizgisinin üstünde olup belirgin bir bölgesel artış trendi bulunmaktadır. Buna ek olarak Karasal İç Anadolu’da nispeten daha soğuk ve daha karasal bir bölge olan Sivas’ta, trendin yıllık artış oranı daha küçük olup değişkenlik de nispeten daha zayıftır (Şekil 52).



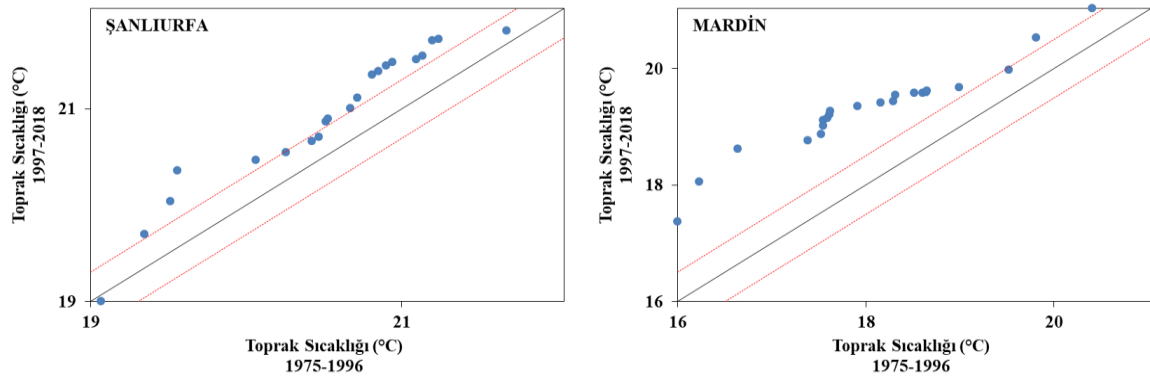
Şekil 52. Karasal İç Anadolu'da İTA yöntemine göre yıllık ortalama toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde **mavi çizgi (—)**, % 5 trend hattını; **kırmızı çizgi (---)**, % 10 trend hattını göstermektedir.

İTA yöntemine göre Karasal Doğu Anadolu toprak sıcaklıklarında gözlenen eğilimlerin yönünde farklılıklar ortaya çıkmıştır: Ardahan ve Iğdır istasyonlarında 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir artış trendi; Tatvan istasyonunda önemli bir azalış trendi vardır. Ardahan ve Iğdır istasyonlarında tüm toprak sıcaklık veri noktaları 1:1(45°) çizgisinin üstünde olup belirgin bir artış trendi bulunmaktadır. Tatvan istasyonuna bakıldığında yüksek değer kümelerinde (> 13 °C) yer alan verilerde %5 artış eğilimi dışında diğer değer aralıklarında bir azalış trendi gözlenmektedir (Şekil 53).



Şekil 53. Karasal Doğu Anadolu’da İTA yöntemine göre yıllık ortalama toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde kırmızı çizgi (---), % 10 trend hattını göstermektedir.

İTA yöntemine göre Karasal Güneydoğu Anadolu’nun yıllık ortalama toprak sıcaklıklarında 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir artış trendi vardır. Mardin istasyonunda tüm toprak sıcaklık veri noktaları 1:1 çizgisinin üstünde olup belirgin bir şekilde artan eğilimler göstermektedir. Bu artış eğilimleri Şanlıurfa’dan daha yüksektir (Şekil 54). Şanlıurfa istasyonu da artan bir eğilime sahip olmakla birlikte düşük değer kümesinde yer alan verilerde (19-20 °C) %0.1 azalış trendi görülmektedir. Bu nedendir ki Şanlıurfa toprak sıcaklıklarında trendin yıllık artış oranı Mardin bölgesine göre yaklaşık üç kat daha düşük çıkmıştır.

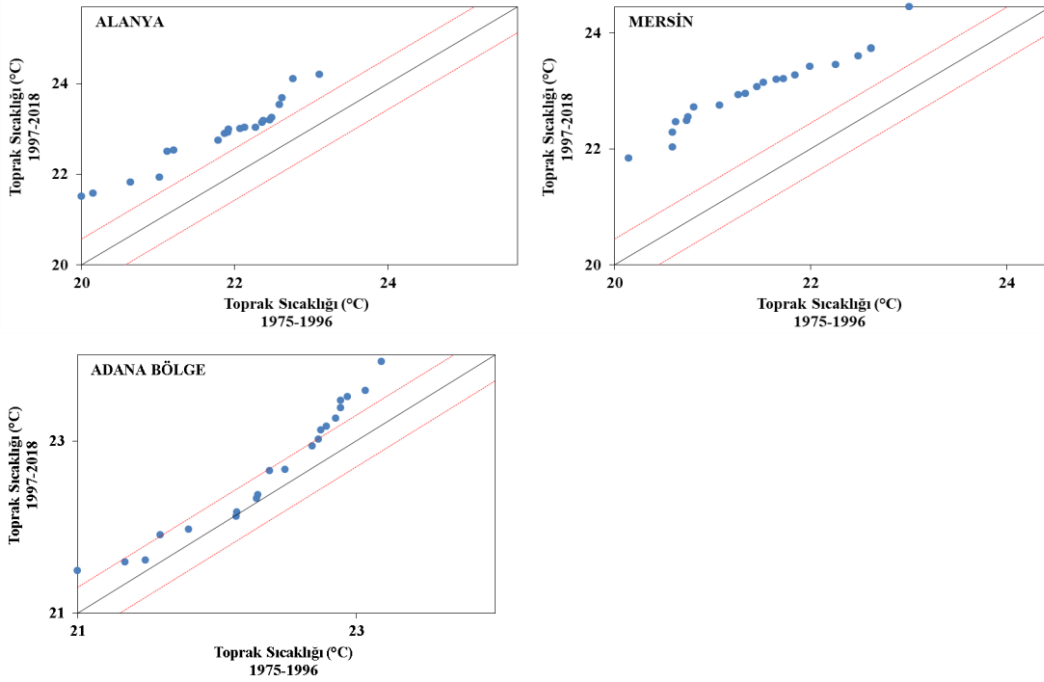


Şekil 54. Karasal Güneydoğu Anadolu’da İTA yöntemine göre yıllık ortalama toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde kırmızı çizgi (---), % 10 trend hattını göstermektedir.

İTA yöntemine göre Akdeniz kıyılarının yıllık ortalama toprak sıcaklıklarında 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir artış trendi vardır.

Akdeniz kıyılarında Mersin ve Alanya istasyonlarında tüm değerler %10 trend hattının üstünde olup belirgin bir şekilde artan eğilimler sergilemektedir. Adana istasyonuna bakıldığında tüm değerlerin 1:1 çizgisinin üstünde olduğu ve bir artış trendinin olduğu görülmektedir (Şekil 55).

Akdeniz kıyılarında toprak sıcaklık verilerinde trend artış hızı en yüksek yer Mersin'dir ki trendin artış hızı, Adana bölgesinden yaklaşık beş kat daha fazladır. Adana'da toprak sıcaklık verisinin özellikle yüksek değer kümelerinde yer alan verilerde (23-24 °C) yaklaşık %3 artış eğilimi görülmektedir.

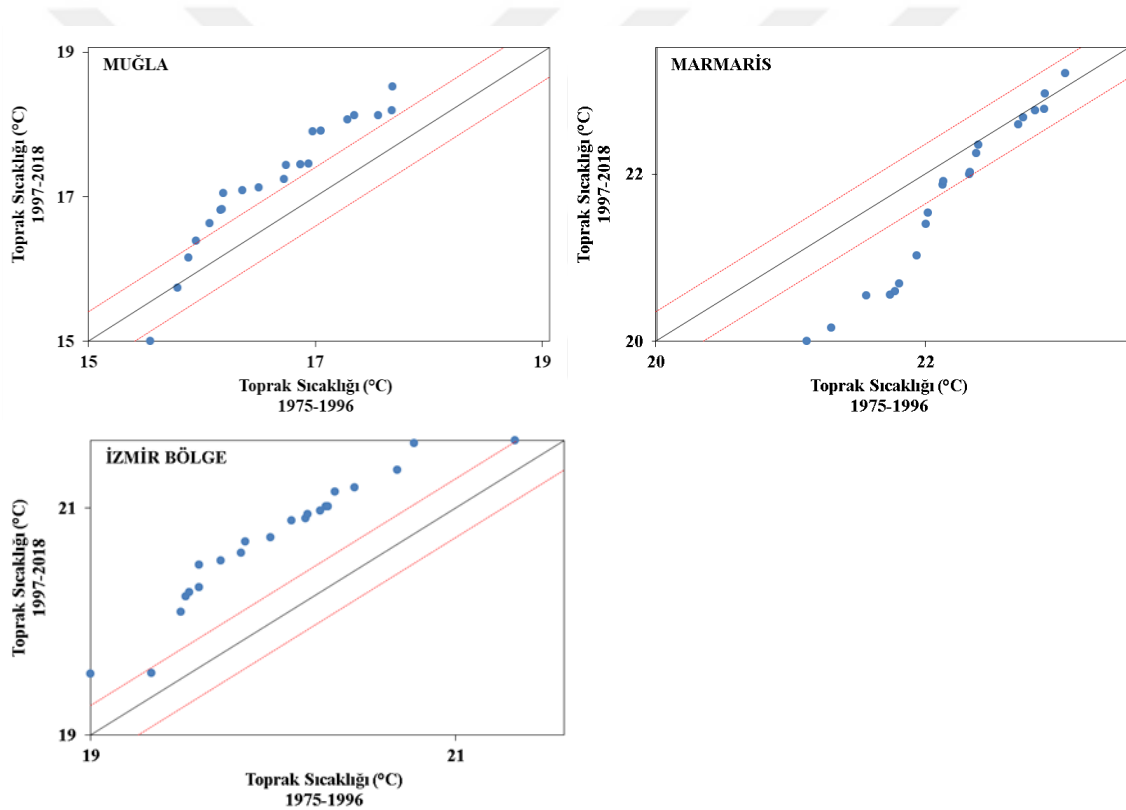


Şekil 55. Akdeniz kıyılarında İTA yöntemine göre yıllık ortalama toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde kırmızı çizgi (---), % 10 trend hattını göstermektedir.

İTA yöntemine göre Ege kıyılarına özellikle güneybatı Ege kıyılarına gelindiğinde yıllık ortalama toprak sıcaklıklarının trend davranışı farklılaşmaktadır: Ege kıyısını temsil eden Muğla istasyonunda yıllık toprak sıcaklık verilerinde trendin artış hızı Akdeniz kıyılarından yaklaşık iki kat daha düşüktür. Dahası Şekil 56'da gösterildiği üzere düşük değer kümelerinde yer alan verilerde (15-16 °C) yaklaşık %2'lik bir artış eğilimi vardır.

Ayrıca bölge içinde Marmaris’te trendin davranışı değişmektedir ki 20-22 °C değerlerinde belirgin bir azalma eğilimi dikkati çekmektedir (Şekil 56). Test sonucuna göre bu azalma trendi, 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli değildir. Bununla birlikte bu istasyonun yüksek değer kümesinde yer alan verilerde (≥ 22.5 °C) %0.3 artış trendi gözlenmektedir.

İzmir istasyonunda tüm değerlerin 1:1 çizgisinin üstünde olduğu ve bir artış trendinin olduğu görülmektedir. Buna ek olarak tüm değerler %10 trend hattının dışındadır (Şekil 56). Yapılan test sonucuna göre bu artış eğilimi 0.05 anlamlılık düzeyinde önemlidir.



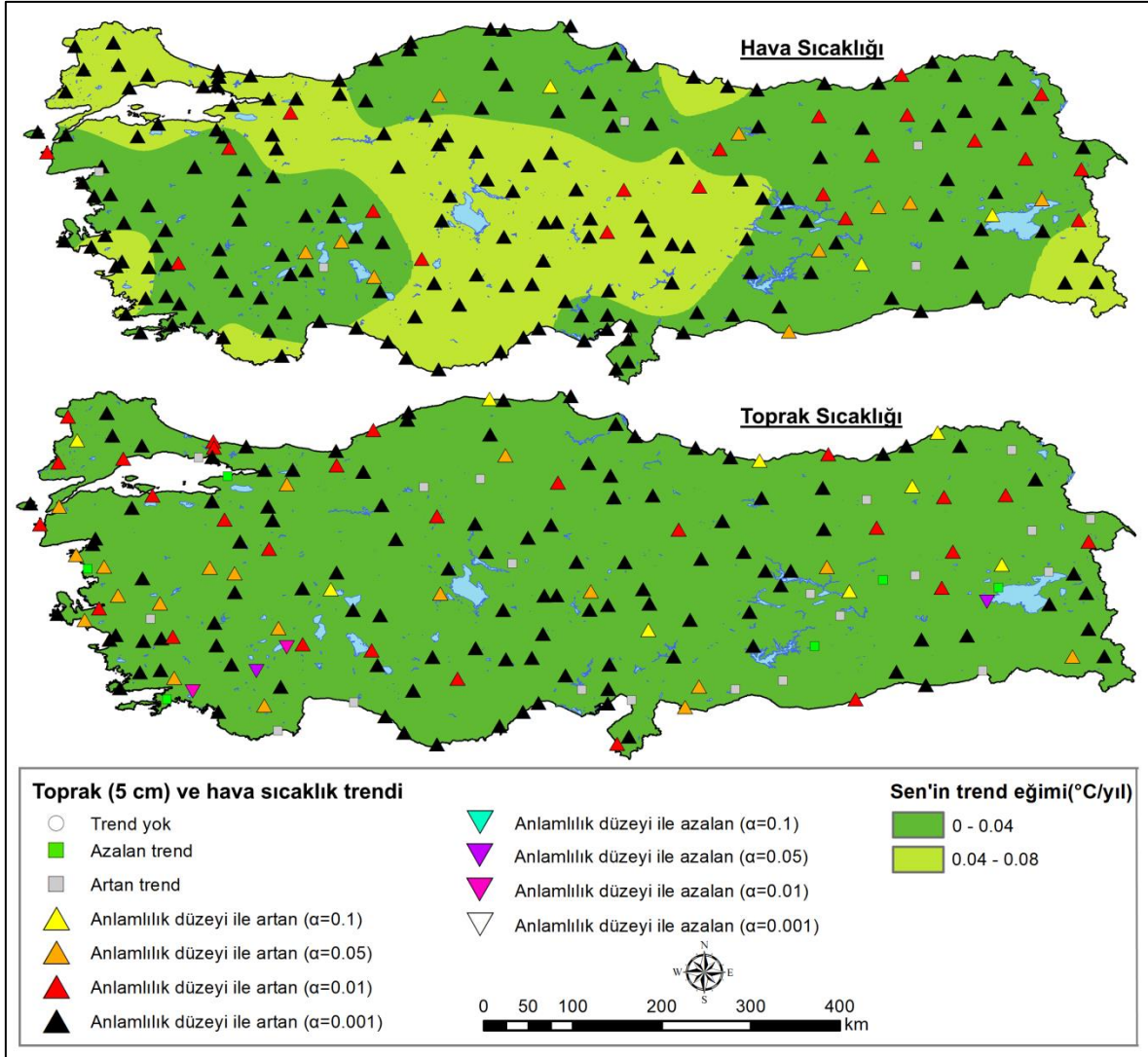
Şekil 56. Ege kıyılarında İTA yöntemine göre yıllık ortalama toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde kırmızı çizgi (---), % 10 trend hattını göstermektedir.

8.3. Yıllık Ortalama Toprak ve Hava Sıcaklığında Gözlenen Eğilimler

Uzun dönem ölçğinde 5 cm derinlikte en yüksek toprak sıcaklık artışı, Çeşme istasyonunda gözlenmiştir (1.02 °C/10 yıl). Çeşme istasyonunu Artvin, Gümüşhane, Sarıkamış, Kangal ve Acıpayam istasyonları izlemektedir (0.96 °C/10 yıl). Önemli azalış oranları ise sadece dört istasyonda yani Köyceğiz ($\alpha=0.001$), Burdur ($\alpha=0.01$) ve Tefenni

ve Tatvan ($\alpha=0.05$) istasyonlarında tespit edilmiştir. Bu yerlerde toprak sıcaklıklarında $0.03 \text{ }^\circ\text{C/yıl}$ oranında önemli azalışlar vardır.

Uzun dönem ölçeğinde en yüksek hava sıcaklık artışı toprak sıcaklık değerlerinin (5 cm) en yüksek olduğu Alanya istasyonunda gözlenmiştir ($0.75 \text{ }^\circ\text{C/10 yıl}$). Alanya istasyonunu Kuşadası, Mersin ve Milas istasyonları izlemektedir ($0.57-0.62 \text{ }^\circ\text{C/10 yıl}$). Hiçbir istasyon, azalış eğilimi göstermemiştir. Türkiye’de 44 yıllık (1975-2018) ortalama hava sıcaklıklarında Batman, Turhal, Eğirdir ve Erzurum Havalimanında gözlenen anlamlı olmayan artışlar dışında gözlenen trendlerin tamamı anlamlı artış karakterindedir. Özellikle Trakya ve iç kesimlerde, Akdeniz ve Doğu Karadeniz kıyılarında, batı Anadolu’da ve Hakkâri-Yüksekova çevresinde bu artışlar daha güçlüdür. Aksine yıllık ortalama toprak sıcaklıklarında Köyceğiz ve Burdur’da %1 anlamlılık seviyesinde, Tefenni ve Tatvan’da %5 anlamlılık seviyesinde azalışlar ve bu istasyonlar çevresinde anlamlı olmayan azalışlar görülmektedir. Dahası 5 cm derinlikte toprak sıcaklıklarındaki trend artış hızları, hava sıcaklıklarına nispeten az olup homojen bir dağılışı sergilemektedir (Şekil 57).

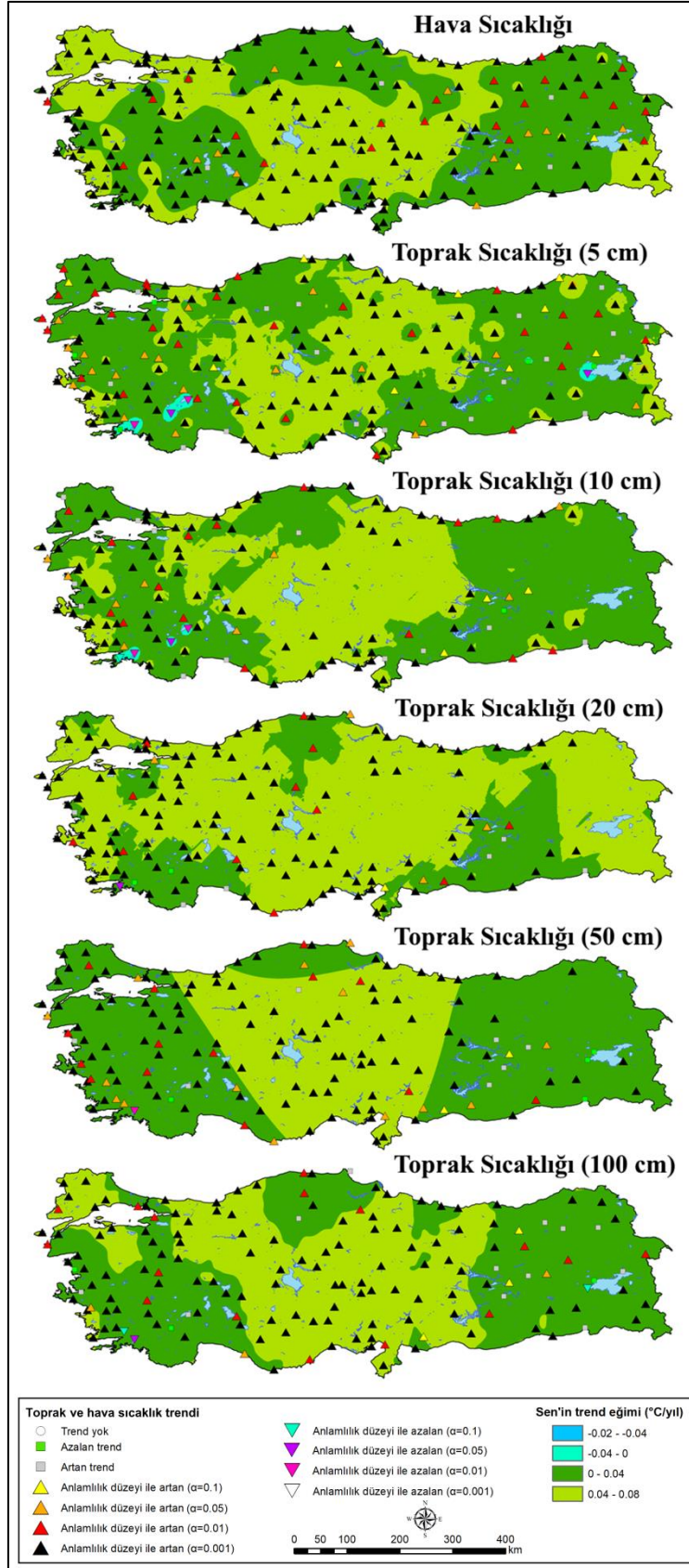


Şekil 57. Hava sıcaklığı ve 5 cm derinlikte yıllık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası.

Yıllık ortalama toprak sıcaklıklarının derine bağlı trend değişimleri ve hava sıcaklığı trend değişimleri Şekil 58'de gösterilmiştir. Hava sıcaklığı trendlerinin aksine Van Gölü batısı, güneybatı Anadolu kıyıları ve Göller Yöresi toprak sıcaklıklarında 100 cm derinliğe kadar azalışlar dikkati çekmektedir. Köyceğiz istasyonu sadece 20 cm derinlikteki anlamlı olmayan azalma eğilimleri dışında tüm derinliklerde istatistiksel açıdan önemli azalma eğilimleri gözlenmiştir. Marmaris istasyonunda, 50 cm ve 100 cm toprak sıcaklık kayıtları olmamasına rağmen, 5, 10 ve 20 cm derinliklerde önemli azalışlar vardır. Muğla istasyonu toprak sıcaklık eğilimlerinde ise farklı bir karakter ortaya çıkmıştır: 50 cm derinliğe kadar 0.001 anlamlılık düzeyinde önemli azalma eğilimleri mevcut iken 100 cm derinlikte 0.1 anlamlılık düzeyinde önemli bir azalış vardır. Göller Yöresindeki toprak sıcaklık azalışlarını temsil eden Burdur ve Tefenni istasyonlarında da

derine bağlı eğilimlerin yönünde bir farklılık bulunmamakla birlikte nemliliğinde farklılıklar bulunmaktadır: Burada Tefenni istasyonunda 10 cm derinliğe kadar gözlenen önemli negatif yönlü eğilimler yerini istatistiksel açıdan önemli olmayan negatif yönlü eğilimlere bırakmıştır. Van Gölü batı kıyılarını temsil eden Tatvan ve Ahlat istasyonlarında 10 cm ve 20 cm derinlikteki kayıtların eksik olmasından kaynaklı analiz yapılamasa da negatif yönlü eğilimlerin derin toprak katmanına devam ettiği tespit edilmiştir (şekil 58). Van Gölü batısında kiş mevsimi toprak sıcaklık verilerinde önemli eksikliklerden kaynaklı 10 cm ve 20 cm derinlikte yıllık trendin davranışı ortaya konulmasa da diğer aylarda anlamlı negatif yönlü trendleri varlığı sığ toprak katmanında gözlenen azalma eğilimlerinin önemli olduğuna işaret etmektedir.

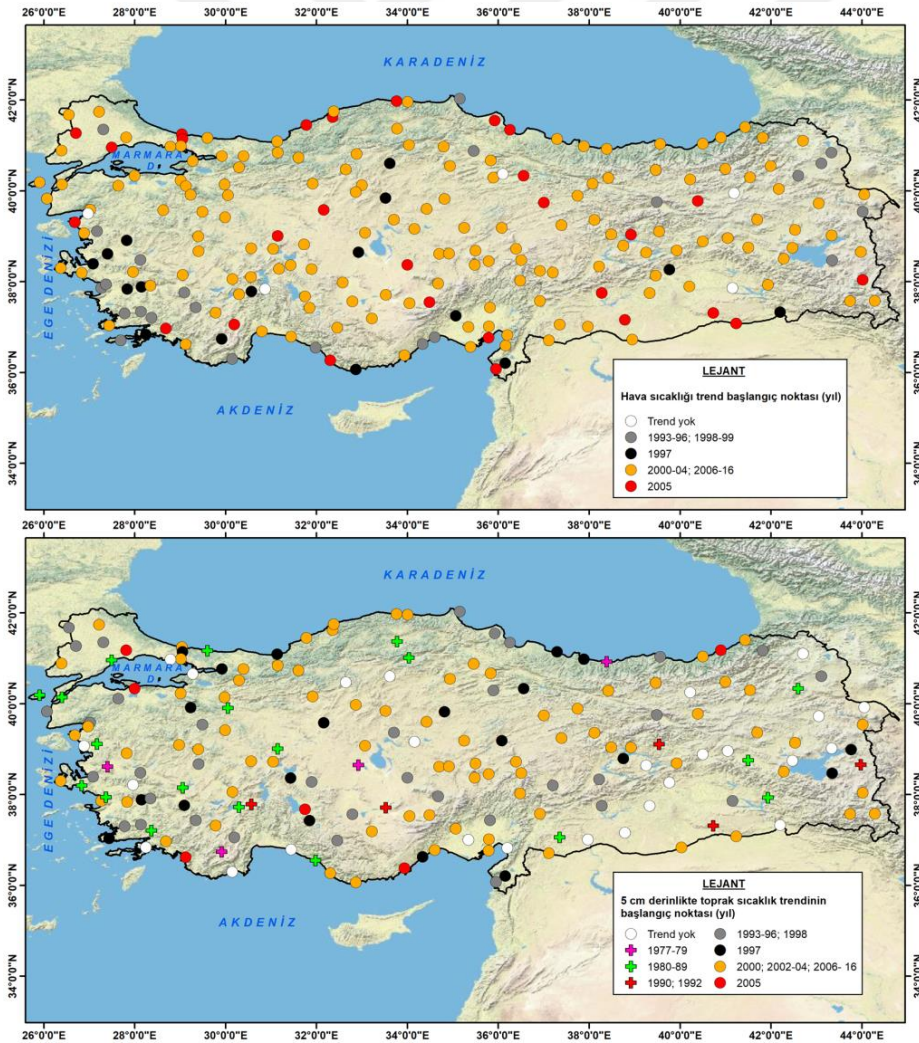




Şekil 58. Hava sıcaklığı ve derinliklere göre yıllık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Mann Kendall ve Sen (1968) anlamlılık testini gösteren birleşik trend haritası.

Yıllık ortalama hava sıcaklık dizilerinde 2000’li yıllar trend başlangıç yılı olarak en fazla gözlenen yıllar olmuştur (Şekil 59). 211 istasyonda %95 önem seviyesinde pozitif yönlü trendlerin başlangıç yılının ortalaması 2004 yılına karşılık gelmektedir. En erken trend başlangıcı 1993 yılı ile Lüleburgaz TİGEM ve Erdemli istasyonlarında; en geç trend başlangıcı 2016 yılı ile Suşehri ve Ahlat istasyonlarındadır.

Yıllık ortalama hava sıcaklık dizilerinde olduğu gibi 5 cm derinlikte yıllık ortalama toprak sıcaklık dizilerinde de 2000’li yıllar trend başlangıç yılı olarak en fazla gözlenen yıllar olmuştur (Şekil 55). 169 istasyonda %95 önem seviyesinde pozitif yönlü trendlerin başlangıç yılının ortalaması 2000 yılına karşılık gelmektedir. En erken trend başlangıcı, 1977 yılı ile Cihanbeyli ve Elmalı istasyonlarında; en geç trend başlangıcı, 2016 yılı ile Hopa ve İspir istasyonlarındadır.



Şekil 59. Hava sıcaklığı ve 5 cm derinlikte yıllık ortalama toprak sıcaklığı (1975-2018) için Sneyers (Sıralı Mann-Kendall) test sonuçlarını gösteren trend başlangıç yılı haritası.

8.4. Günlük Ortalama Toprak Sıcaklıklarında (5 cm) Gözlenen Eğilimler

Karadeniz kıyısında konumlu Rize istasyonunda şubat ayının ikinci yarısında, mart ayının ilk yarısında ve mayıs ayı ortasında 5 cm derinlikteki toprak sıcaklığına ait MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Giresun istasyonunda şubat ayının ikinci yarısında ve mart ayının ilk yarısında anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerler dikkati çekmektedir. Samsun Bölge istasyonuna gelindiğinde pozitif trendler daha geniş bir zaman dilimine yayılmıştır ki şubat ayının ikinci yarısında, mart ayının ilk yarısında, nisan ayının ikinci yarısında, mayıs ayı ortasında, haziran ayının ikinci yarısında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Karadeniz kıyı gerisinde konumlu Bayburt istasyonuna gelindiğinde trendin davranışı değişmektedir ki Karadeniz kıyı bölgesinden farklı olarak ocak ayında ve haziran ayının ilk yarısında önemli toprak sıcaklık artışları görülmektedir. Bunun dışında kıyı bölgelerine benzer şekilde şubat ayının ikinci yarısında, mart ayının ilk yarısında, nisan ayının ikinci yarısında ve mayıs ayı ortasında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir (Şekil 60).

Karadeniz kıyısında Rize, Giresun ve Samsun Bölge istasyonlarında temmuz, ağustos ve eylül aylarında toprak sıcaklıklarında (5 cm) pozitif ve önemli eğilimler açıkça gözlenmekle birlikte Rize ve Giresun istasyonlarında ekim başında MK Z-değerleri önemli ölçüde azalmaktadır. Aksine aynı zaman aralığında Samsun Bölge ve Bayburt istasyonlarında toprak sıcaklıkları sırasıyla anlamlı ve anlamlı olmayan şekilde artış eğilimi sergilemektedir. Karadeniz kıyı ve gerisinde kasım ayının ilk yarısında Rize, Giresun ve Samsun Bölge ve Bayburt istasyonlarında MK Z-değerleri önemli ölçüde artar iken ikinci yarısında azalmaktadır. Aralık ayına bakıldığında Giresun istasyonu dışında Rize, Samsun Bölge ve Bayburt istasyonlarında MK Z-değerleri pozitif olmakla birlikte anlamlı değildir. Aralık ayında Giresun istasyonunda trendin davranışı diğer bölgelerden farklı olarak negatif ve anlamlı değildir (Şekil 60).

Karadeniz kıyı ve gerisi toprak sıcaklıklarında (5 cm) istatistiksel açıdan anlamlı pozitif eğilimlere sahip en fazla gün sayısı, Samsun Bölge istasyonunda tespit edilmiştir. Samsun istasyonunu sırasıyla Rize, Bayburt ve Giresun istasyonları izlemektedir. Negatif anlamlı eğilimlere sahip en fazla gün sayısı ise Bayburt istasyonunda gözlenmiştir.

Toprak sıcaklıklarında (5 cm) olduğu gibi hava sıcaklıklarında da istatistiksel açıdan anlamlı pozitif eğilimlere sahip en fazla gün sayısı, Samsun Bölge istasyonunda tespit edilmiştir. Samsun istasyonunu sırasıyla Rize, Giresun ve Bayburt istasyonları izlemektedir. Toprak sıcaklıklarının aksine hava sıcaklıklarında negatif anlamlı eğilimlere sahip en fazla gün sayısı neredeyse yoktur ki sadece 1 gün ile Bayburt istasyonunda gözlenmiştir.

Karadeniz kıyısında toprak sıcaklıklarında (5 cm) gözlenen pozitif ve anlamlı eğilimler genellikle mart ayı ile birlikte temmuz-ekim dönemindedir ancak Türkiye'nin en yağışlı bölgesi Rize'de pozitif ve anlamlı eğilimlerin büyük kısmı, Samsun bölgesinin aksine temmuz-eylül dışında ekim ayında toplanmıştır. Bunun dışında Karadeniz kıyı istasyonları benzer eğilim davranışı göstermektedir. Daha karasal ve soğuk bir iklime sahip Bayburt bölgesinde ise eğilimin davranışı değişmektedir ki pozitif ve anlamlı eğilimler, sıcak aylarda gözlenmemekle birlikte mart ayında yoğunlaşmıştır. Toprak sıcaklık eğilimlerinin aksine hava sıcaklıklarında gözlenen pozitif ve anlamlı eğilimlerin çoğu haziran-eylül dönemindedir (Şekil 60).

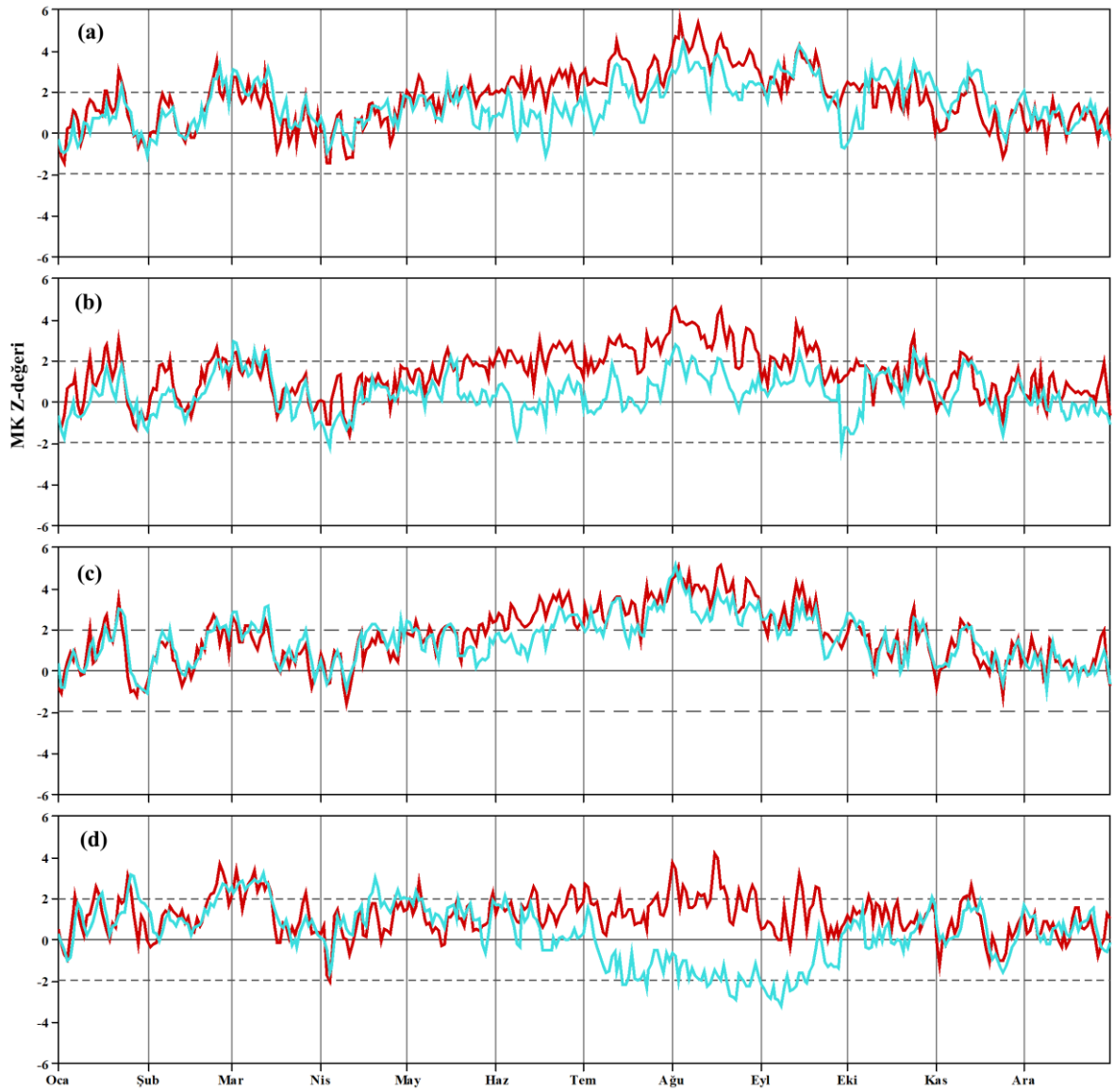
Sıcak aylarda (temmuz-eylül) Samsun Bölge ve Bayburt istasyonlarında toprak sıcaklık değişimleri (5 cm), diğer istasyonlardan daha belirgindir ancak farklı modellere sahiptir: Samsun Bölge istasyonunda sıcak aylarda MK Z-değerleri pozitif ve anlamlı iken Bayburt istasyonunda negatif ve anlamlıdır. Daha soğuk iklime sahip Bayburt istasyonunda toprak sıcaklığı MK Z-değerlerindeki değişkenlik daha yüksektir ve sıcak dönemde (temmuz ve ağustos) belirgin bir ısrar örüntüsü vardır (Şekil 60).

Karadeniz kıyısında hava sıcaklığı ve toprak sıcaklıklarının (5 cm) MK Z-değerlerindeki değişimler büyük ölçüde benzerdir ki bu benzerlik, Samsun Bölge ve Rize istasyonlarında görülmektedir. Giresun ve Bayburt istasyonlarında yılın sıcak dönemi (mayıs-eylül) dışında da hava sıcaklığı ve toprak sıcaklığı benzer değişimler sergilemektedir (Şekil 60).

Karadeniz kıyı ve gerisinde toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha düşüktür ki tüm istasyonlarda bu örüntü görülmektedir. Bununla birlikte bazı istasyonların bazı zaman aralıklarından tersi durum vardır: Rize istasyonunda

ekim-aralık döneminde, Samsun Bölge istasyonunda mart ve nisan aylarında ve Bayburt istasyonunda nisan ve mayıs aylarında toprak sıcaklığı MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha yüksektir (Şekil 60).

Karadeniz kıyı ve gerisinde toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha düşük olmakla birlikte nispeten daha sıcak ve daha kurak olan Samsun Bölge istasyonunda toprak sıcaklığı MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerine yakın bir davranış sergilemektedir. Hatta sıcak dönemde, temmuz sonu ve ağustos başlarında, toprak sıcaklığı MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerini aştığı görülmektedir. Aksine daha karasal karakterde daha soğuk iklime sahip Bayburt istasyonunda toprak sıcaklığı MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden çok daha düşüktür ki bu yüksek fark özellikle sıcak dönemde (haziran-eylül) belirgindir (Şekil 60).



Şekil 60. Karadeniz kıyı ve gerisinde 1975-2018 döneminde 5 cm derinlik için **hava sıcaklığı (kırmızı çizgi)** ve **(toprak sıcaklığı turkuaz çizgi)** zaman serileri için MK Z değerleri (a: Rize, b: Giresun, c: Samsun Bölge, d: Bayburt).

Trakya'da Edirne istasyonunda ocak ayının ortasında, şubat ayının ilk ve son haftasında, mart ayının ilk yarısında, nisan ayının ikinci yarısında ve mayıs ayının ilk yarısında toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Kırklareli ve Tekirdağ istasyonunda da benzer bir trend davranışı olmakla birlikte sırasıyla haziran ayının ikinci yarısında ve haziran ayının başı ve sonlarında anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerler ile birlikte trendin davranışı değişmektedir (Şekil 61).

Edirne istasyonunda temmuz anlamlı pozitif MK Z-değerleri gözlenmemekle birlikte ağustos ayının ikinci yarısında, eylül ayının ilk yarısında, ekim ayının üçüncü haftasında, kasım ayının ikinci ve son haftasında ve aralık ayının ilk haftasında, toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Kırklareli istasyonunda temmuz ayının ikinci haftası ve son haftasında, ağustos ayı bütününde, eylül ayının ilk yarısında, ekim ayının üçüncü haftasında, kasım ayının ilk haftası dışında ve aralık ayının ilk haftasında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerler göstermektedir. Tekirdağ istasyonunda yılın ikinci yarısında kasım ayı dışındaki trendin davranışı, Kırklareli istasyonuna benzer olmakla birlikte kasım ayında gözlenen trendin davranışı, Edirne istasyonundaki trendin davranışı ile tutarlıdır (Şekil 61).

Trakya'da toprak sıcaklıklarında (5 cm) istatistiksel açıdan anlamlı pozitif eğilimlere sahip en fazla gün sayısı, Kırklareli ve Edirne istasyonlarında tespit edilmiştir. Negatif anlamlı eğilimlere sahip en fazla gün sayısı Kırklareli istasyonunda gözlenmiştir. Toprak sıcaklıklarının aksine hava sıcaklıklarında istatistiksel açıdan anlamlı pozitif eğilimlere sahip en fazla gün sayısı, Tekirdağ istasyonunda tespit edilmiştir.

Trakya'nın toprak sıcaklıklarında (5 cm) gözlenen pozitif ve anlamlı eğilimler genellikle ocak ayı ile birlikte ağustos-eylül ve kasım aylarındadır. Bununla birlikte yazların nispeten serin/ılık geçtiği Kırklareli'de eğilimin davranışı biraz farklılaşmaktadır ki pozitif ve anlamlı eğilimlerin büyük kısmı, Edirne ve Tekirdağ bölgesinin aksine eylül ayı dışında ocak, ağustos ve kasım aylarında toplanmıştır (Şekil 61). Bunun dışında Trakya bölgesinde istasyonlar, benzer eğilim davranışı göstermektedir.

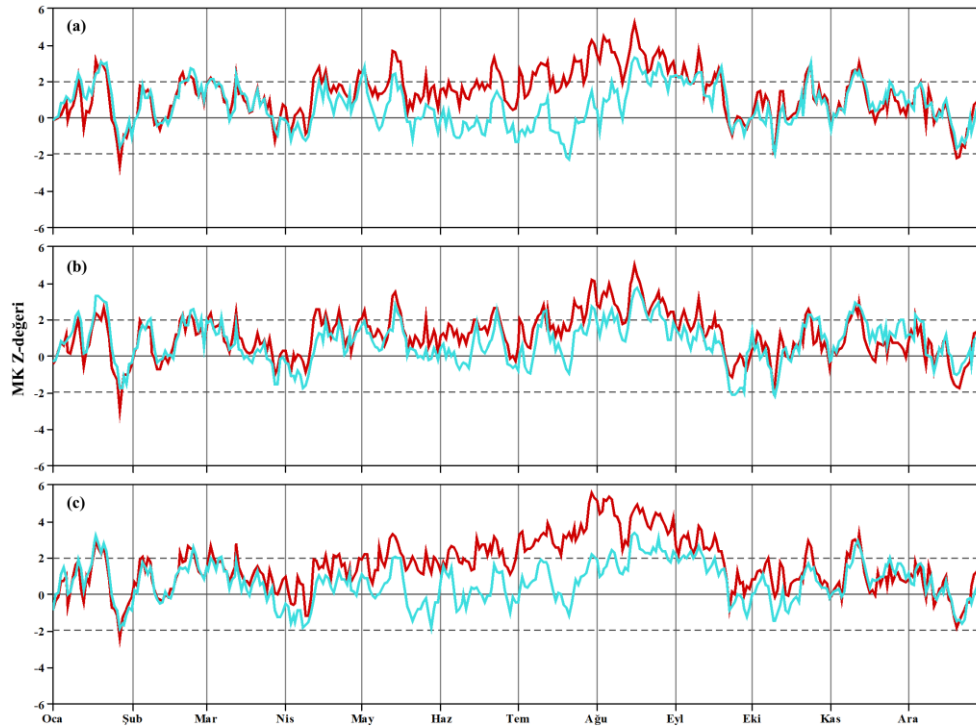
Sıcak aylarda (haziran-ağustos) Kırklareli istasyonunda toprak sıcaklık değişimleri (5 cm), diğer istasyonlardan daha belirgindir. Edirne ve Tekirdağ istasyonlarında bu dönemde anlamlı olmayan azalış ve artış eğilimleri vardır (Şekil 61). Nispeten daha karasal ve daha soğuk bir iklime sahip Kırklareli istasyonunda toprak sıcaklığı MK Z-değerlerinde gözlenen değişkenlik daha yüksektir.

Trakya bölgesinde hava sıcaklığı ve toprak sıcaklıklarının (5 cm) MK Z-değerlerindeki değişimler özellikle Kırklareli istasyonunda benzerlik göstermektedir.

Edirne ve Tekirdağ istasyonlarında yılın sıcak dönemi (mayıs-eylül) dışında da hava sıcaklığı ve toprak sıcaklığı benzer değişimler sergilemektedir (Şekil 61).

Trakya bölgesinde toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha düşüktür ki tüm istasyonlarda bu örüntü görülmektedir. Buna karşın özellikle Kırklareli istasyonunda soğuk dönemde (ocak-şubat ve kasım-aralık) toprak sıcaklığı MK Z-değerleri, nispeten hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha yüksektir (Şekil 61).

Trakya'da toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha düşük olmakla birlikte nispeten daha soğuk olan Kırklareli istasyonunda toprak sıcaklığı MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerine yakın bir davranış sergilemektedir. Daha yağışlı Edirne'nin ve daha sıcak olan Tekirdağ'ın toprak sıcaklıklarında böylesi bir trend davranışı gözlenmemektedir. Ayrıca bu iki istasyonda toprak sıcaklığı MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha düşüktür ki bu belirgin fark özellikle sıcak dönemde (mayıs-eylül) ortaya çıkmaktadır (Şekil 61).



Şekil 61. Trakya'da 1975-2018 döneminde 5 cm derinlik için hava sıcaklığı (kırmızı çizgi) ve toprak sıcaklığı (turkuaz çizgi) zaman serileri için MK Z değerleri (a: Edirne, b: Kırklareli, c: Tekirdağ).

Karasal İç Anadolu'da konumlu Ankara Bölge istasyonunda ocak ayının ikinci ve üçüncü haftasında, şubat ayının ilk haftası ve son haftasında, mart ayının ilk yarısında, nisan ayının ikinci yarısında ve mayıs ayının ilk haftası ve ortasında toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Daha soğuk bir iklime sahip Sivas istasyonunda da yılın yarısında gözlenen toprak sıcaklık trendinin davranışı Ankara Bölge istasyonuna benzerdir ancak Sivas bölgesinde haziran ayının son haftasında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerler ile dikkati çekmektedir. Çorum bölgesi toprak sıcaklık trendine bakıldığında yılın yarısında gözlemlenen anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif trendlerin davranışı, Sivas bölgesindeki değişimler ile tutarlılık göstermektedir. Yozgat istasyonunda yılın yarısında ocak ayının birinci-ikinci-üçüncü haftasında, şubat ayının ikinci yarısında, mart ayının ilk yarısında, nisan ayının ikinci yarısında, mayıs ayının ilk haftasında ve ortasında ve haziran ayının ilk haftası ve son haftasında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerler görülmektedir. Aksaray istasyonunda yılın yarısında pozitif trendler biraz azalmakla birlikte ocak ayının üçüncü haftasında, şubat ayının son haftasında, mart ayının ilk yarısında, nisan ayının ikinci yarısında, mayıs ayının ilk haftasında ve ortasında ve haziran ayı bütününde MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerler görülmektedir. Son olarak Afyonkarahisar bölgesinde ocak ayının üçüncü haftasında, şubat ayının son haftasında, mart ayının ilk yarısında, nisan ayının ikinci yarısında ve mayıs ayının ilk haftasında ve ortasında ve haziran ayının ilk ve üçüncü haftasında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerler görülmektedir (Şekil 62).

Karasal İç Anadolu'da tüm istasyonlarda temmuz, ağustos ve eylül aylarında toprak sıcaklıklarında (5 cm) pozitif ve önemli eğilimler açıkça gözlenmekle birlikte Yozgat istasyonu hariç tüm istasyonlarda eylülün son haftası ve ekimin ilk yarısında MK Z-değerleri önemli ölçüde düşmektedir. Hatta yazları ılık karasal iklim ile karakterize edilen bölgelere nispeten çok sıcak yazlar ile karakterize edilen Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü Afyonkarahisar bölgesinde, trendin davranışı belirgin biçimde farklılaşmıştır ki eylülün son haftası ve ekimin ilk haftasında anlamlı olmayan pozitif MK Z-değerleri, negatif değerlere dönüşmüş ve anlamlılık kazanmıştır. Ankara Bölge istasyonunda temmuz ayının ilk, ikinci ve son haftasında, ağustos ayının bütününde, eylül ayının ikinci ve üçüncü haftasında, ekim ayının son haftasında ve kasım ayının ikinci haftasında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Sivas istasyonunda temmuz ayının

orta ve son haftasında, ağustos ayının bütününde, eylül ayının ortasında ve kasım ayının ikinci haftasında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerler ile dikkati çekmektedir. Çorum istasyonunda sıcak dönemde (temmuz-eylül) ısınma daha geniş bir zaman dilimine yayılmıştır ki temmuz ve ağustos ayının bütününde, eylül ayının ilk yarısında ve kasım ayının ikinci haftasında anlamlıya yakın pozitif değerler görülmektedir. Yozgat istasyonu toprak sıcaklık trendlerine bakıldığında temmuz ayının ikinci, üçüncü ve son haftasında, ağustos ayının başı ve ikinci yarısında, eylül ayının ilk yarısında, ekim ayının başında, ortasında ve son haftasında bazı günlerde, kasım ayının ikinci haftasında ve aralık ayının ilk haftası ve üçüncü haftasında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerler sergilemektedir. Subtropikal step ikliminin hüküm sürdüğü Aksaray bölgesi ve Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü Afyonkarahisar bölgesinde toprak sıcaklıklarının günlük trend davranışı, sıcak dönemde benzerlik göstermektedir. Şöyle ki temmuz ve ağustos aylarının ilk, ikinci ve son haftalarında; eylül ayının ilk yarısında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerler göstermiştir (Şekil 62).

Karasal İç Anadolu'da 5 cm'deki günlük toprak sıcaklıklarının MK Z-değerlerinde eylül ayının son haftası ile birlikte belirgin bir düşüş tespit edilmiştir. Ayrıca kasım ayında tüm bölge genelinde önemli pozitif değerler açısından homojen bir değişim örüntüsü ortaya çıkmıştır. Aralık ayında Yozgat istasyonu dışında Karasal İç Anadolu'da anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif eğilimler tespit edilmemiştir (Şekil 62).

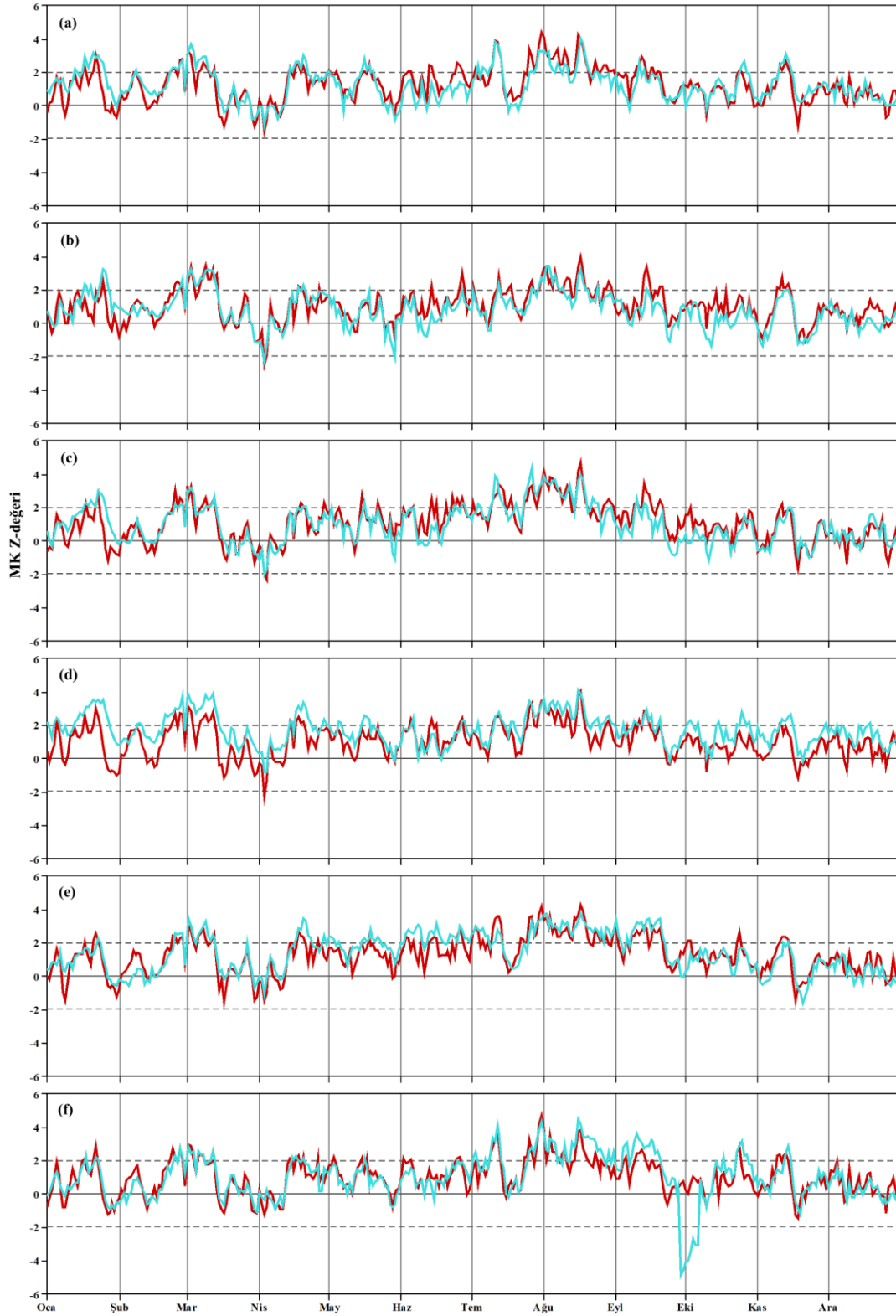
Karasal İç Anadolu toprak sıcaklıklarında (5 cm) istatistiksel açıdan anlamlı pozitif eğilimlere sahip en fazla gün sayısı, Yozgat ve Aksaray istasyonlarında tespit edilmiştir. Negatif anlamlı eğilimlere sahip en fazla gün sayısı, Afyonkarahisar Bölge istasyonunda gözlenmiştir. Toprak sıcaklıklarının aksine hava sıcaklıklarında istatistiksel açıdan anlamlı pozitif eğilimlere sahip en fazla gün sayısı, Aksaray istasyonunda tespit edilmiştir.

Karasal İç Anadolu'nun 5 cm derinlikteki toprak sıcaklıklarında gözlenen pozitif ve anlamlı eğilimler genellikle mart ayı ile birlikte temmuz ve ağustos aylarında toplanmıştır. Bununla birlikte Karasal İç Anadolu'da tipik karasal iklim dışında subtropikal step iklimin (Aksaray) ve Akdeniz iklimin etkili olduğu alanlarda (Afyonkarahisar) en çok pozitif toprak sıcaklık trendlerinin sıcak dönemlerde eylül ayına doğru genişlediği ve soğuk dönemlerde ocak ayında etkisini yitirmiştir.

Sıcak aylarda (haziran-ağustos) Aksaray istasyonunda gözlenen pozitif ve anlamlı toprak sıcaklık eğilimleri (5 cm) diğer istasyonlardan daha güçlüdür. Özellikle haziranda bu değişim belirgindir (Şekil 62). Nispeten mevsimsel değişkenliğin güçlü olmasından kaynaklı Afyonkarahisar bölgesinde toprak sıcaklığı MK Z-değerlerinde gözlenen değişkenlik daha yüksektir.

Karasal İç Anadolu bölgesinde hava sıcaklığı ve 5 cm'de toprak sıcaklıklarının MK Z-değerlerindeki değişimler yazların ılık geçtiği Yozgat dışındaki tüm istasyonlarda benzerlik göstermektedir. Bir başka deyişle diğer istasyonlara nispeten Yozgat istasyonunda sıcak dönem dışında (haziran-eylül) hava sıcaklığı ve toprak sıcaklığı MK Z-değerleri arasındaki fark oldukça yüksektir. Bu fark ocak-nisan döneminde belirgindir. Buna ek olarak trend değişimlerinde gözlenen benzerlik, ya da uyum, sırasıyla karasal iklim ve Akdeniz ikliminde yazların çok sıcak ve kurak geçtiği Ankara Bölge ve Afyonkarahisar Bölge istasyonlarında nispeten daha güçlüdür (Şekil 62).

Karasal İç Anadolu bölgesinde genel olarak Sivas ve Çorum bölgesinde toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha düşük olmakla birlikte diğer istasyonlarda tam tersi bir özellik vardır. Bununla birlikte grafiklere bakıldığında bu iki parametrenin birlikte değişimleri hem alansal hem de zamansal açıdan oldukça değişkendir: Yozgat istasyonunda ocak-nisan ve ekim-kasım döneminde; Ankara Bölge ve Çorum istasyonlarında ocak ayında, hava sıcaklığı MK Z-değerlerine kıyasla toprak sıcaklığı MK Z-değerleri daha yüksektir. Aksine Sivas istasyonunda mayıs-aralık döneminde; Ankara Bölge istasyonunda mayıs-eylül döneminde ve Çorum istasyonunda mayıs-haziran ile eylül-kasım döneminde, hava sıcaklığı MK Z-değerlerine kıyasla toprak sıcaklığı MK Z-değerleri daha düşüktür (Şekil 62).



Şekil 62. Karasal İç Anadolu’da 1975-2018 döneminde 5 cm derinlik için **hava sıcaklığı** (kırmızı çizgi) ve **toprak sıcaklığı** (turkuaz çizgi) zaman serileri için MK Z değerleri (a: Ankara Bölge, b: Sivas, c: Çorum, d: Yozgat, e: Aksaray, f: Afyonkarahisar Bölge).

Karasal Doğu Anadolu’da Ardahan istasyonunda ocak ve şubat ayı bütününde, mart ayının ilk yarısında, mart ayının ilk yarısında, ekim ayının ikinci yarısında, kasım ayının ortasında ve aralık ayı bütününde toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Zıt olarak nisan ayı ilk haftasında, mayıs ayının ikinci yarısında, haziran ayı bütününde, temmuz ayının ikinci-üçüncü ve dördüncü haftasında, ağustos ve eylül bütününde MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın negatif değerler göstermektedir. Iğdır istasyonuna gelindiğinde ocak ayının ikinci ve dördüncü haftasında, şubat ayının ikinci yarısında, mart ayının ilk yarısında, ekim ayı bütününde, kasım ayının ilk yarısında ve aralık ayı bütününde MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Aksine nisan ayının ilk yarısında ve sıcak dönemde temmuz ayının ikinci ve üçüncü haftasında ve ağustos ayının son haftasında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın negatif değerler sergilemektedir. Tatvan istasyonunda ocak ayı bütününde, şubat ayının ikinci yarısında, mart ayının ilk yarısında, nisan ayının son haftasında ve aralık ayı ilk haftası dışındaki bazı günlerde MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Tersine mart ayının üçüncü haftasında, nisan ayının ilk yarısında, haziran ayının ilk haftasında, temmuz ayının ikinci yarısında, ağustos ayı başı ve son haftasında, eylül ayı bütününde, ekim ayının üçüncü ve dördüncü haftasında ve kasım ayının ilk yarısında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın negatif değerler göstermektedir (Şekil 63).

Karasal Doğu Anadolu’da seçilen istasyonlar farklı iklim bölgelerini temsil etse de toprak sıcaklık (5 cm) eğilimleri bazı ortak özellikler göstermektedir ki mart ayının ikinci yarısından itibaren MK Z-değerlerinde belirgin bir düşüş tespit edilmiştir. Dahası bölge genelinde temmuz ayında ortaya çıkan MK Z-değerleri, negatif ve anlamlı olmakla birlikte bölge genelinde görülmektedir (Şekil 63).

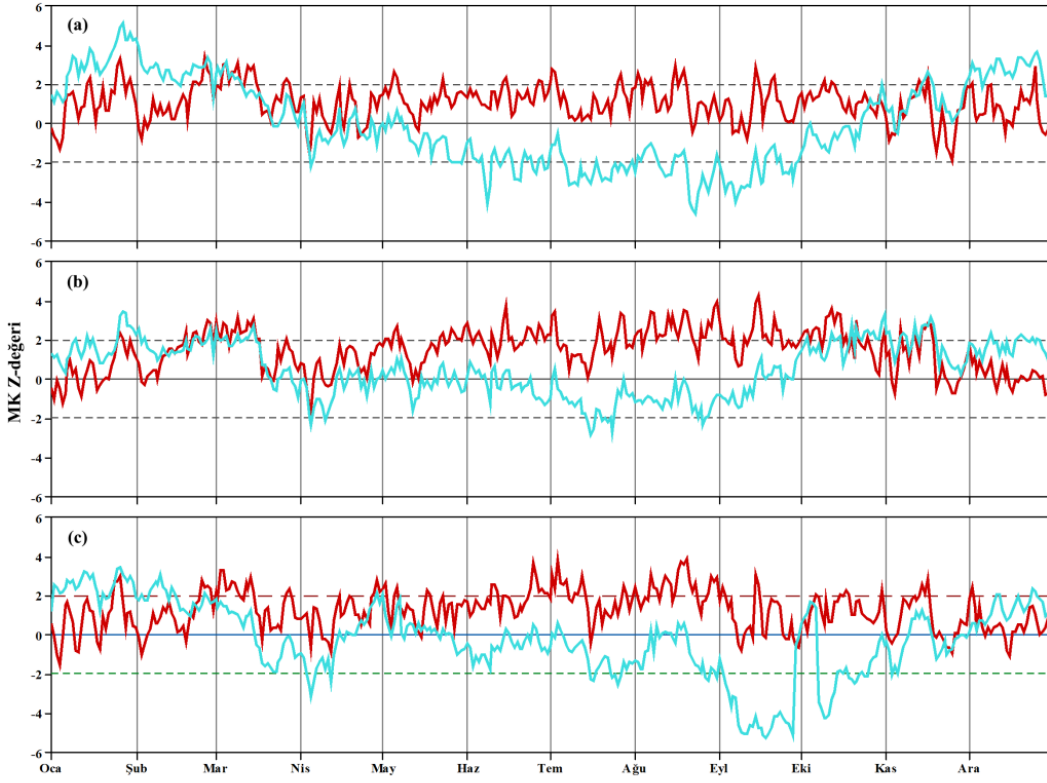
Karasal Doğu Anadolu toprak sıcaklıklarında (5 cm) istatistiksel açıdan anlamlı pozitif eğilimlere sahip en fazla gün sayısı, Ardahan istasyonunda tespit edilmiştir. Negatif anlamlı eğilimlere sahip en fazla gün sayısı da Ardahan istasyonunda gözlenmiştir. Toprak sıcaklıklarının aksine hava sıcaklıklarında istatistiksel açıdan anlamlı pozitif eğilimlere sahip en fazla gün sayısı, Iğdır istasyonunda tespit edilmiştir.

Karasal Doğu Anadolu'nun toprak sıcaklıklarında (5 cm) gözlenen pozitif ve anlamlı eğilimler genellikle ocak, şubat ve aralık aylarında toplanmıştır. Burada Karasal Doğu Anadolu'da her mevsim yağışlı ve ılık yazlar ile karakterize edilen karasal iklimin (Ankara) ve subtropikal step ikliminin etkili olduğu alanlarda (Iğdır) en çok pozitif ve anlamlı toprak sıcaklık trendleri, nispeten soğuk dönemlerde (ocak-mart ve ekim-aralık) gözlenmiştir. Buna karşın nemli iklimin egemen olduğu Tatvan'da, pozitif ve anlamlı MK Z-değerlerinin ekim ve kasım aylarında görülmediği, nisan ve mayıs aylarında az sayıda görüldüğü ve kış mevsiminde yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

Soğuk aylarda (aralık-mart) Ardahan istasyonunda gözlenen pozitif ve anlamlı toprak sıcaklık eğilimleri (5 cm), diğer istasyonlardan daha güçlüdür (Şekil 63). Dahası Ardahan bölgesinde toprak sıcaklığı MK Z-değerlerinde gözlenen değişkenlik, Iğdır ve Tatvan istasyonlarından daha yüksektir.

Şiddetli karasallık gösteren Ardahan istasyonunda hava sıcaklığı ve toprak sıcaklıklarının (5 cm) MK Z-değerlerindeki gidiş, büyüklük ve değişkenlik dışında Iğdır istasyonuna benzemektedir. Bir başka deyişle Ardahan istasyonuna nispeten Iğdır istasyonu toprak sıcaklıklarında özellikle ekim ve kasım aylarında anlamlı ve pozitif MK Z-değerlerinde artış gözlemekle birlikte aralık, ocak ve şubat aylarında anlamlı ve pozitif MK Z-değerlerinde belirgin bir azalış egemendir (Şekil 63).

Karasal Doğu Anadolu bölgesinde genel olarak toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha düşüktür. Sadece Ardahan istasyonunda kasım-şubat döneminde; Iğdır istasyonunda kasım-ocak döneminde ve Tatvan istasyonunda aralık-şubat döneminde toprak sıcaklığı hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden yüksektir. Burada Ardahan ve Iğdır istasyonlarından farklı olarak Tatvan istasyonunda ekim tarihleri açısından önemli eylül, ekim ve kasım dönemlerinde hava sıcaklığına göre toprak sıcaklığı MK Z-değerlerinde belirgin düşüş dikkati çekmektedir. Öyle ki eylül ayında negatif ve anlamlı MK Z-değerleri oldukça baskındır (Şekil 63).



Şekil 63. Karasal Doğu Anadolu’da 1975-2018 döneminde 5 cm derinlik için **hava sıcaklığı (kırmızı çizgi)** ve **toprak sıcaklığı (turkuaz çizgi)** zaman serileri için MK Z değerleri (a: Ardahan, b: Iğdır, c: Tatvan).

Karasal Güneydoğu Anadolu’da Şanlıurfa istasyonunda mart ayının ilk haftasında, ekim ayının ikinci haftasında, kasım ayının ortasında ve aralık ayının ilk yarısında 5 cm derinlikteki toprak sıcaklığı MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Tersine temmuz ayı üçüncü haftasında, ağustos ayının ilk yarısında ve eylül ayının ilk haftasında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın negatif değerler göstermektedir. Şanlıurfa/Siverek istasyonunda ocak ayının ilk, ikinci ve üçüncü haftasında, şubat ayının son haftasında, kasım ayı ortasında ve aralık ayının ilk yarısında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Aksine sıcak aylarda haziran ayının ikinci ve son haftasında, temmuz ayının üçüncü haftasında ve eylül ayı bütününde MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın negatif değerler sergilemektedir. Mardin istasyonunda ocak ayının üçüncü haftasında, şubat ayının son haftasında, mart ayının ilk yarısında, eylül ayının ilk, ikinci ve üçüncü haftasında, kasım ayı ortasında ve aralık ayının ilk yarısında MK Z-değerleri pozitif ve anlamlıdır. Sıcak dönem genelinde haziran ayının ikinci, üçüncü ve son haftasında, temmuz ve ağustos ayı bütününde MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Buna

rağmen Şanlıurfa bölgesinde sıcak dönemde gözlenen negatif ve anlamlı MK Z-değerleri, Mardin istasyonunda gözlenmemiş olup özellikle soğuk dönemde ve diğer aylarda bazı günlerde tespit edilmiştir. Mardin/Cizre istasyonundaki değişimler oldukça farklılık göstermekle birlikte yıl içinde anlamlı pozitif ve negatif MK Z-değerlerinin hâkim olduğu hafta yoktur. Başka bir ifadeyle Cizre bölgesinde günlük toprak sıcaklıklarına ait MK Z-değerleri genellikle anlamlı olamayan pozitif ve negatif değişimler sergilemektedir (Şekil 64).

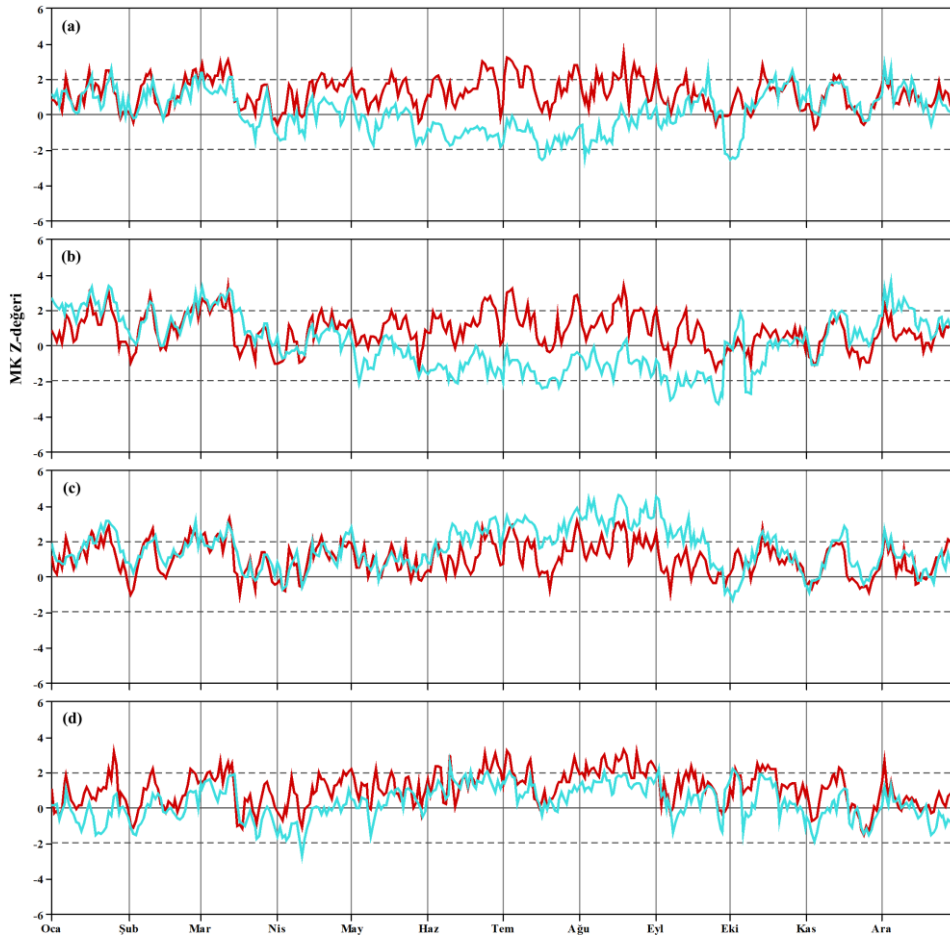
Karasal Güneydoğu Anadolu'da seçilen istasyonlar aynı iklim bölgelerini temsil etse de 5 cm'deki toprak sıcaklık eğilimlerinde bazı farklılıklar ortaya çıkmaktadır ki Şanlıurfa ve Siverek istasyonlarında mart-eylül arasında MK Z-değerleri negatif olmakla birlikte Mardin ve Cizre istasyonlarında pozitif ve genellikle anlamlı değildir. Öyle ki Mardin bölgesinde anlamlı ya da anlamsız pozitif değerler yıl genelinde etkindir (Şekil 64).

Karasal Güneydoğu Anadolu hem toprak sıcaklıklarında (5 cm) hem de hava sıcaklıklarında istatistiksel açıdan anlamlı pozitif eğilimlere sahip en fazla gün sayısı, Mardin istasyonunda tespit edilmiştir. Negatif anlamlı eğilimlere sahip en fazla gün sayısı ise Siverek istasyonunda gözlenmiştir.

Karasal Güneydoğu Anadolu'nun 5 cm'deki toprak sıcaklıklarında gözlenen pozitif ve anlamlı eğilimler genellikle ocak ve mart ayı dışında sıcak aylarda (haziran-ağustos) toplanmıştır. Ovalık araziye temsil eden Şanlıurfa ve Siverek istasyonlarında en çok anlamlı pozitif toprak sıcaklık trendleri nispeten soğuk dönemlerde (aralık-mart) görülmüştür. Aksine platoluk araziye temsil eden Mardin istasyonunda en çok anlamlı pozitif toprak sıcaklık trendleri hem soğuk hem de sıcak dönemlerde (ocak-mart ve haziran-eylül) tespit edilmiştir.

Sıcak aylarda (haziran-eylül) Mardin istasyonunda gözlenen pozitif ve anlamlı toprak sıcaklık eğilimleri (5 cm), diğer istasyonlardan daha güçlüdür (Şekil 64). Üstelik Siverek bölgesinde toprak sıcaklığı MK Z-değerlerinde gözlenen değişkenlik, Mardin bölgesi istasyonlarından daha yüksektir.

Karasal Güneydoğu Anadolu bölgesinde hava sıcaklığı ve toprak sıcaklıklarının (5 cm) MK Z-değerlerindeki gidiş, tüm istasyonlarda farklılık göstermektedir. Burada MK Z-değerlerinde en yüksek değişkenlik, Siverek istasyonunda görülmektedir. Bundan başka Mardin bölgesi dışında yıl genelinde aylık ortalama toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri, aylık ortalama hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha düşüktür. Mardin’de yıl genelinde aylık ortalama toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri, aylık ortalama hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha yüksektir ki sıcak dönemde (haziran-eylül) bu fark oldukça yüksektir. Mardin bölgesinin aksine Cizre’de yıl genelinde aylık ortalama toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri, aylık ortalama hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha düşüktür. Bununla birlikte Şanlıurfa’da sadece kasım ayında Siverek istasyonunda ise ocak-mart ve kasım-aralık dönemlerinde toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha yüksektir (Şekil 64).



Şekil 64. Karasal Güneydoğu Anadolu’da 1975-2018 döneminde 5 cm derinlik için **hava sıcaklığı (kırmızı çizgi)** ve **toprak sıcaklığı (turkuaz çizgi)** zaman serileri için MK Z değerleri (a: Şanlıurfa, b: Siverek, c: Mardin, d: Cizre).

Akdeniz kıyısında Çukurova b6lgesini temsil eden Adana istasyonunda mart ayının ilk yarısında, temmuz ayının ilk yarısı ve son haftasında ve ağustos ayının ilk yarısında ve üçüncü haftasında 5 cm'deki MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Tersine anlamlı ya da anlamlıya yakın negatif değerler yaygınlık göstermemekle birlikte nispeten soğuk dönemlerde bazı günlerde gözlenmiştir. ukurova b6lgesini temsil eden bir diğer istasyon olan Ceyhan istasyonunda pozitif/negatif ve anlamlı toprak sıcaklık trendleri daha geniş bir zaman dilimine yayılmıştır ki ocak ayının üçüncü ve d6rdüncü haftasında, şubat ayının ilk yarısı ve son haftasında, mart ayının ilk yarısında, temmuz ayının ilk haftasında, ağustos ayı bütününde, eylül ayının ilk yarısında, ekim ayının ikinci yarısında, kasım ayının ikinci ve üçüncü haftasında ve aralık ayının ilk haftasında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Diğer dönemler yani nisan ayının ilk yarısında, mart ayının ilk ve son haftasında, haziran ayının ilk haftasında ve temmuz ayının üçüncü haftasında ise MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın negatif değerler sergilemektedir.

Mersin istasyonunda mart ve nisan aylarının ikinci yarısında, mayıs ayının ilk haftası ve ikinci yarısında ve eylül ayının ilk yarısı ve üçüncü haftasında 5 cm derinlikteki toprak sıcaklığı MK Z-değerleri pozitif ve anlamlıdır. Bundan başka Çukurova b6lgesini temsil eden istasyonların aksine Mersin kıyılarında sıcak dönemde yani haziran-temmuz-ağustos ayları bütününde, MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerlere sahiptir. Eylül ayının son haftası ve ekim ayının ilk haftasında ise MK Z-değerleri negatif ve anlamlıdır. Mersin istasyonuna benzer şekilde Alanya istasyonunda da sıcak aylarda MK Z-değerleri pozitif ve anlamlı bir değişime sahiptir. Ay genelinde gözlenen bu eğilimler mayıs ayına değin genişlemiştir. Ek olarak Alanya istasyonunda şubat ayının son haftasında, mart ayının ilk yarısında, nisan ayının ikinci yarısında ve aralık ayının ilk haftasında MK Z-değerleri pozitif ve anlamlı bir değişim göstermektedir. Akdeniz kıyılarında diğer istasyonlardan farklı olarak Alanya b6lgesi günlük toprak sıcaklıklarına ait MK Z-değerlerinde negatif ve anlamlı değişimler gözlenmemiştir. Tersine daha batıda güneybatı Anadolu'da konumlu Finike istasyonunda eylül ayının ikinci yarısı ve ekim ayının ilk haftasında MK Z-değerleri negatif ve anlamlıdır. Bu istasyonun toprak sıcaklık kayıtlarında belirli bir zaman aralığında MK Z-değerleri pozitif ve anlamlı değişimler sergilememiştir. Güneybatı Anadolu'da Ege kıyısında yer alan Muğla istasyonunda negatif ve anlamlı değişimler, büyük ölçüde Finike istasyonuna benzemekle birlikte eylül ayının

ikinci yarısında bazı günlerde ve ekim ayının ikinci haftasında belirgin bir değişim vardır. Finike istasyonundan farklı olarak Muğla istasyonunda nisan ayının ikinci ve üçüncü haftasında, mayıs ayının ortasında, temmuz ayının ilk yarısı ve son haftasında, ağustos ayının ikinci ve üçüncü haftasında ve kasım ayının ikinci haftasında MK Z-değerleri anlamlı ya da anlamlıya yakın pozitif değerler göstermektedir (Şekil 65).

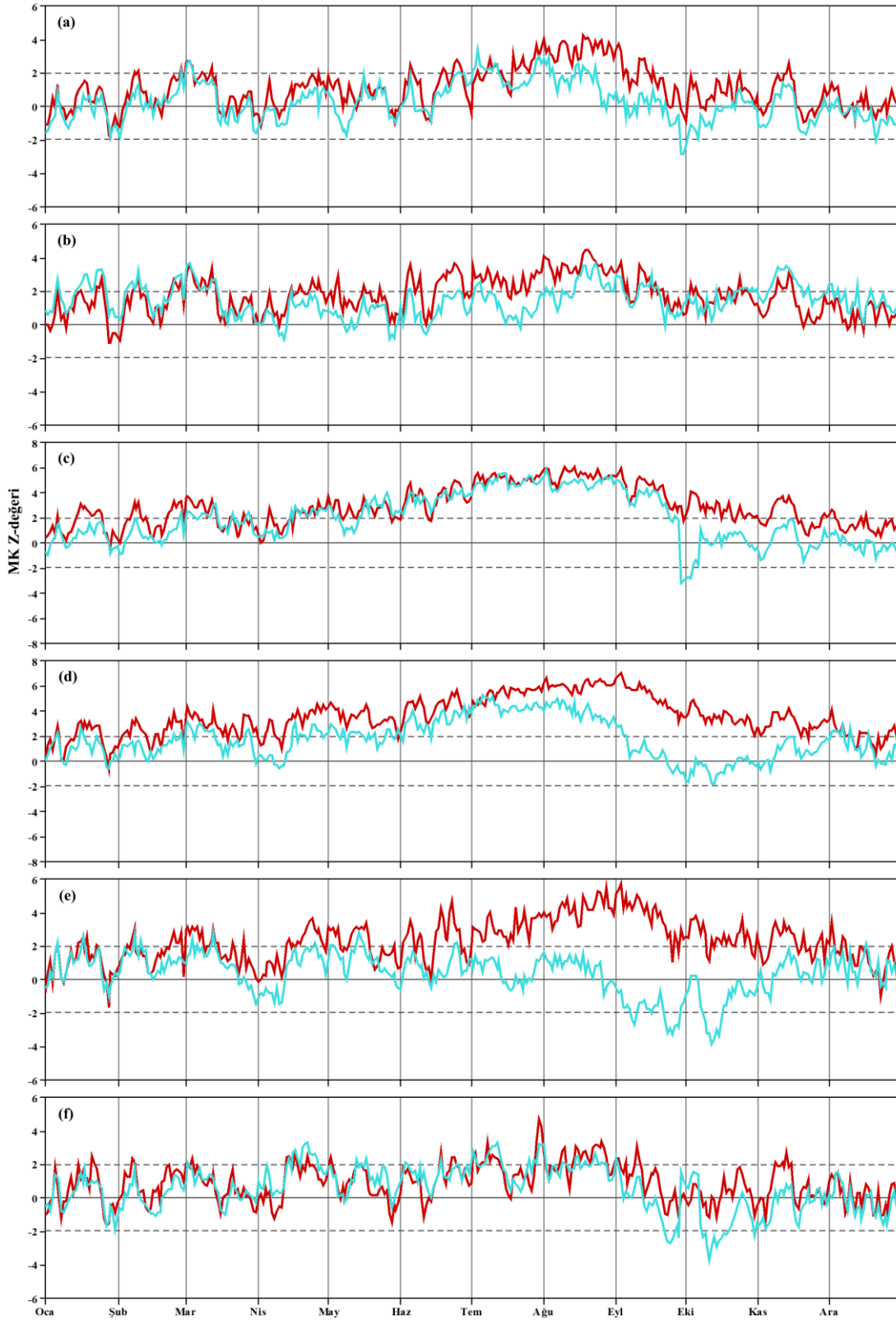
Akdeniz ve Ege kıyısından seçilen istasyonlar, aynı iklim bölgelerini temsil etmekle birlikte toprak sıcaklık (5 cm) eğilimlerinde küçük farklılıklar ortaya çıkmaktadır ki ocak-ağustos döneminde tüm istasyonlarda MK Z-değerleri pozitif bir davranış sergilerken Ceyhan bölgesinde tüm aylarda MK Z-değerleri pozitifdir. Çoğu istasyonda ağustosun son haftasında ve eylül başında MK Z-değerlerinde belirgin bir düşüş gözlenir ve bu düşüşler anlamlıdır (Şekil 65).

Akdeniz ve Ege kıyılarında hem toprak sıcaklıklarında (5 cm) hem de hava sıcaklıklarında istatistiksel açıdan anlamlı pozitif eğilimlere sahip en fazla gün sayısı, Mersin istasyonunda tespit edilmiştir. Mersin istasyonunu sırasıyla Alanya ve Ceyhan istasyonları izlemektedir. Negatif anlamlı eğilimlere sahip en fazla gün sayısı ise Akdeniz ikliminin farklılaştığı Finike ve Muğla istasyonlarında gözlenmiştir.

Akdeniz ve Ege kıyılarında toprak sıcaklıklarında (5 cm) gözlenen pozitif ve anlamlı eğilimlerin en çok gözleendiği aylar arasında farklılıklar bulunmaktadır. En çok pozitif ve anlamlı toprak sıcaklık trendleri, Mersin istasyonunda mart-eylül; Alanya istasyonunda, mart-ağustos; Adana Bölge istasyonunda, temmuz-ağustos ve Ceyhan istasyonunda ocak-mart ve ağustos-ekim dönemlerinde gözlenmiştir. Buna ek olarak Muğla istasyonunda pozitif ve anlamlı değerler, temmuz-ağustos dönemi dışında nisan ayında toplanmıştır. Tüm bu istasyonlardaki trend değişimlerinden farklı olarak Finike bölgesi toprak sıcaklıklarında pozitif ve anlamlı MK Z-değerleri, diğer istasyonlara nispeten baskın olmamakla birlikte aralık-haziran arasında görülmüştür.

Sıcak aylarda (haziran-eylül) Mersin istasyonunda gözlenen pozitif ve anlamlı toprak sıcaklık eğilimleri (5 cm), diğer istasyonlardan daha güçlüdür (Şekil 65). Dahası Mersin bölgesinde toprak sıcaklığı MK Z-değerlerinde gözlenen değişkenlik, diğer Akdeniz ve Ege kıyı istasyonlarından daha yüksektir.

Akdeniz ve Ege kıyılarında hava sıcaklığı ve toprak sıcaklıklarının (5 cm) MK Z-değerlerindeki gidiş, nispeten Ceyhan istasyonunda farklılık göstermektedir ki ekimin son haftası ve kasım-şubat döneminde toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha büyüktür. Ceyhan istasyonu dışında Muğla istasyonunda da buna benzer bir sıcaklık trend davranışı olmakla birlikte Ceyhan bölgesindeki eğilimlerin aksine Muğla bölgesinde nispeten daha sıcak bir dönemde, yani nisan-temmuz döneminde, toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri hava sıcaklığı MK Z-değerlerinin üstüne çıkmıştır. Bununla birlikte hem hava sıcaklığı hem de toprak sıcaklıklarının MK Z-değerlerindeki değişime bakıldığında en az değişkenliğin sırasıyla Ceyhan ve Muğla istasyonları olduğu görülmektedir. Diğer istasyonlarda yani Adana, Mersin, Alanya ve Finike'de yıl genelinde toprak sıcaklığı (5 cm) MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha düşüktür. Bu anlamda Alanya ve Finike bölgesindeki değişimler ön plana çıkmaktadır ve eylül-ekim dönemi dikkati çekmektedir (Şekil 65).

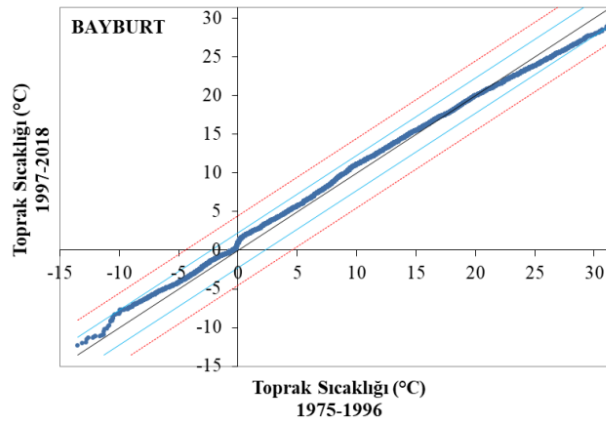
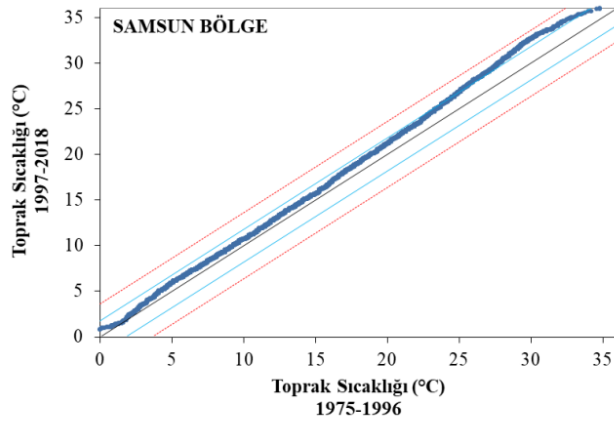
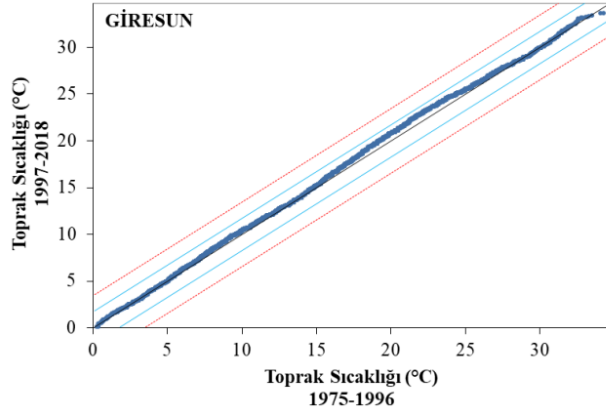
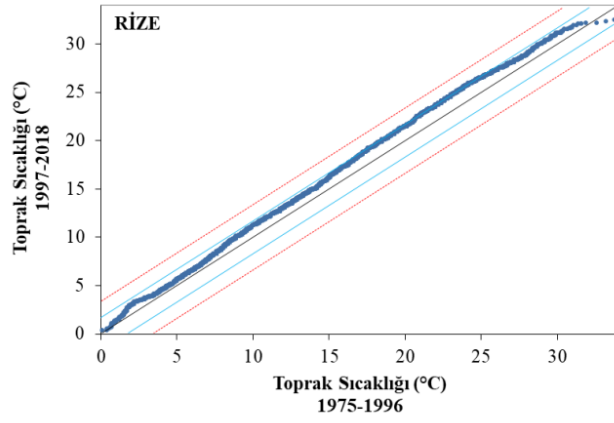


Şekil 65. Akdeniz ve Ege kıyılarında 1975-2018 döneminde 5 cm derinlik için hava sıcaklığı (kırmızı çizgi) ve toprak sıcaklığı (turkuaz çizgi) zaman serileri için MK Z değerleri (a: Adana, b: Ceyhan, c: Mersin, d: Alanya, e: Finike, f: Muğla).

İTA yöntemine göre Karadeniz kıyı ve gerisinde 5 cm derinlikteki günlük toprak sıcaklıklarının trendlerinde (1975-2018), tüm istasyonlarda, 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir artış eğilimi tespit edilmiştir.

Samsun istasyonunda günlük toprak sıcaklıklarında gözlenen artış eğilimi, diğer üç istasyondan daha büyük olup Rize istasyonu ile yakın bir değer göstermektedir. Bayburt ve Giresun istasyonlarında gözlenen trendlerin eğimi de birbirine yakındır.

Karadeniz kıyı ve gerisinde günlük toprak sıcaklıklarındaki eğilimlerin grafiksel sonuçlarına göre Rize istasyonunda 32 °C altı sıcaklık değerlerinde belirgin bir artış olmakla birlikte 32 °C ve üstü sıcaklık değerlerinde belirgin bir azalma görülmektedir. Benzer şekilde Karadeniz kıyısında yer alan Giresun istasyonunda 34 °C ve üstü toprak sıcaklık değerlerinde belirgin bir azalış olmakla birlikte 34 °C altı toprak sıcaklıklarında dikkate değer bir artış eğilimi vardır. Buna karşın 15-25 °C aralığındaki değerlerde nispeten gözlenen artış daha güçlüdür. Oroğrafya etkisinin azaldığı Samsun'da trendin karakteri değişmektedir ki diğer istasyonlarda orta-yüksek değerlerde gözlenen azalış burada yerini artış eğilimine bırakmıştır. Burada 24 °C üstü toprak sıcaklıklarındaki artış eğilimi oldukça yüksektir ki sıcaklık değerleri %5 trend hattını aşmıştır. Karadeniz ikliminin aksine kıyı gerisinde bulunan ve daha karasal özellikler taşıyan Bayburt'ta, günlük toprak sıcaklık değer aralıklarında gözlenen trendin davranışı kıyı istasyonlarına göre tamamıyla farklılaşmaktadır: Orta-düşük, düşük ve çok düşük sıcaklık değerlerinde artış eğilimi olmakla birlikte çok düşük sıcaklık değerlerinde belirgin bir artış eğilimi vardır. Üstelik orta (ya da optimum) değerler, kıyı istasyonlarındakinin tersine azalış eğilimi göstermektedir (Şekil 66).

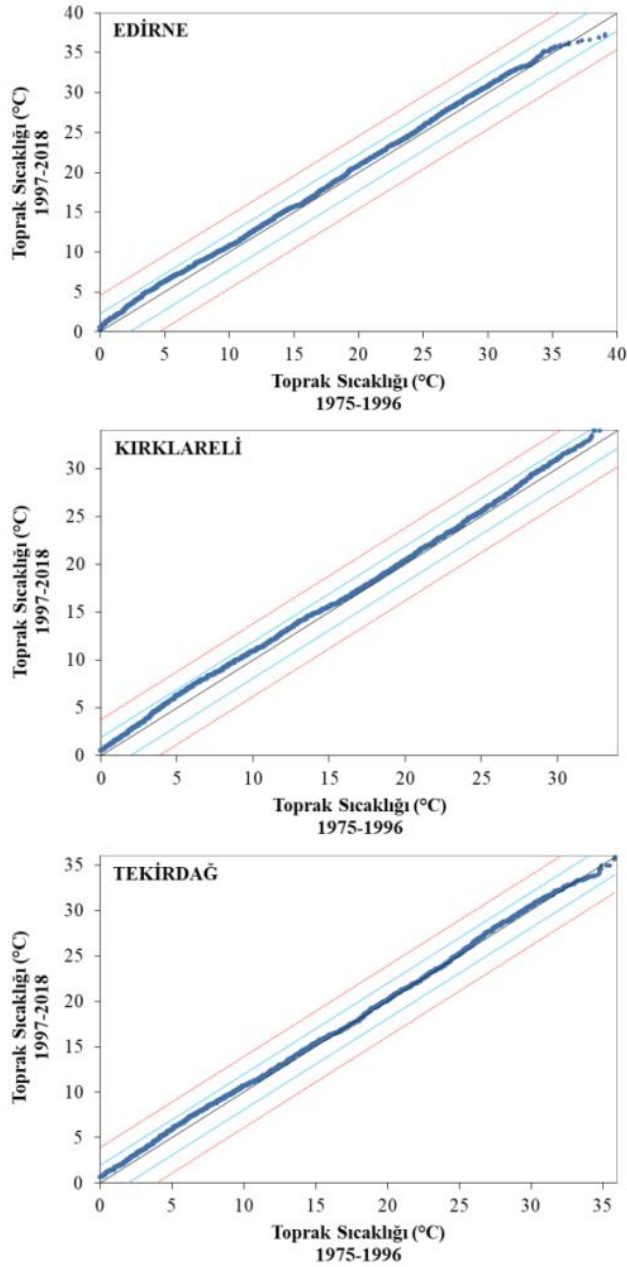


Şekil 66. Karadeniz kıyı ve gerisinde İTA yöntemine göre günlük toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde **mavi çizgi (-)**, % 5 trend hattını; **kırmızı çizgi (····)**, % 10 trend hattını göstermektedir.

İTA yöntemine göre Trakya’da 5 cm derinlikteki günlük toprak sıcaklıklarının trendlerinde (1975-2018), tüm istasyonlarda, 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir artış eğilimi tespit edilmiştir.

Edirne istasyonunda günlük toprak sıcaklıklarında (5 cm) gözlenen artış eğilimi, Kırklareli istasyonundan biraz daha yüksektir. Edirne’de gözlenen artış eğilimi, Tekirdağ’dan yaklaşık iki kat daha büyüktür.

Trakya’da günlük toprak sıcaklıklarındaki (5 cm) eğilimlerin grafiksel sonuçlarına göre Edirne istasyonunda yüksek toprak sıcaklık değerlerinde belirgin bir azalış eğilimi dışında diğer değer aralıklarında belirgin bir artış eğilimi görülmektedir. Kırklareli istasyonunda yüksek değerler gözlenmemekle birlikte tüm toprak sıcaklık değerlerinde belirgin bir artış trendi vardır. Tekirdağ istasyonuna bakıldığında orta-yüksek ve yüksek bazı değerlerde (34-35 °C) azalış eğilimi gözlense de genel olarak artış trendi bulunmaktadır (Şekil 67).



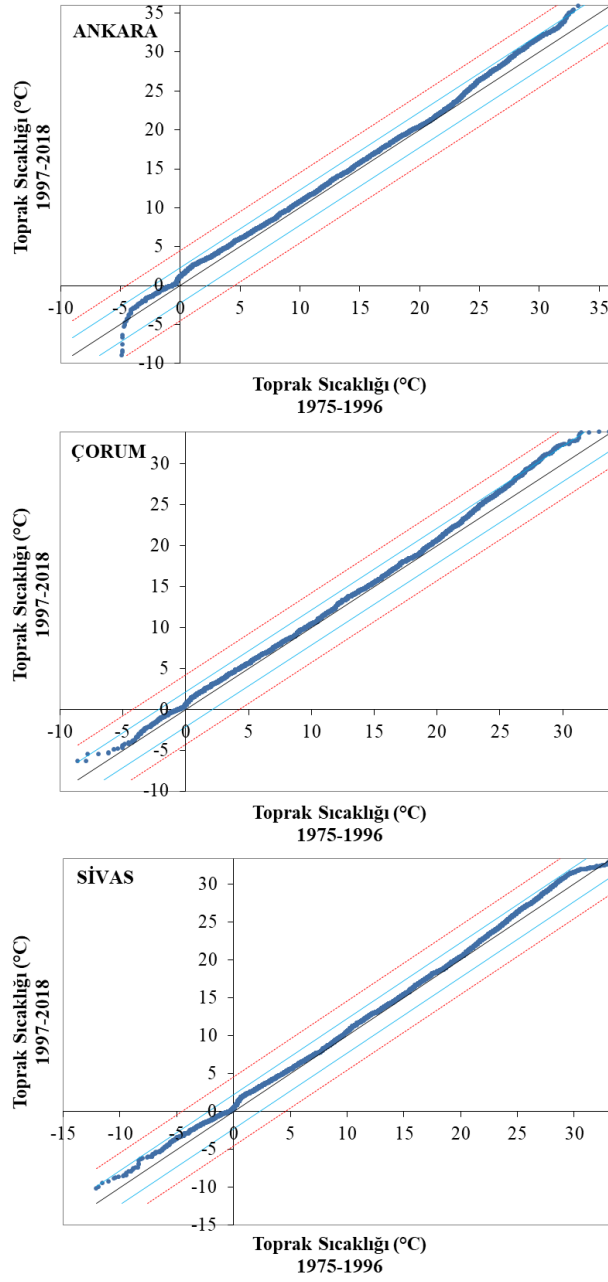
Şekil 67. Trakya’da İTA yöntemine göre günlük toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde **mavi çizgi (—)**, % 5 trend hattını; **kırmızı çizgi (---)**, % 10 trend hattını göstermektedir.

İTA yöntemine göre Karasal İç Anadolu’da 5 cm derinlikteki günlük toprak sıcaklıklarının trendlerinde (1975-2018), tüm istasyonlarda, 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir artış eğilimi tespit edilmiştir.

Ankara istasyonunda günlük toprak sıcaklıklarında gözlenen artış trendinin eğilimi, Çorum istasyonundan biraz daha büyüktür. Ankara’da gözlenen artış eğilimi, Sivas istasyonundan 1.3 kat daha fazladır.

Karasal İç Anadolu'da günlük toprak sıcaklıklarındaki eğilimlerin grafiksel sonuçlarına göre Ankara istasyonunda çok düşük sıcaklık değerlerinde belirgin bir azalış ve orta-yüksek değerlerde belirgin bir artış eğilimi dikkati çekmektedir. Buna ek olarak diğer toprak sıcaklığı değer aralıklarında genel bir artış eğilimi vardır. Çorum istasyonuna bakıldığında Ankara istasyonuna kıyasla çok düşük toprak sıcaklık değerlerinde belirgin bir azalış değil artış eğilimi gözlenmiştir. Diğer değer aralıklarında da genel bir artış eğilimi olup 28 °C üstü sıcaklık değerlerinde artış daha güçlüdür ki değerler %5 trend hattının üstüne çıkmıştır. Çorum istasyonunda olduğu gibi daha soğuk bir bölge olan Sivas'ta da tüm değer aralıklarında bir artış trendi vardır (Şekil 68).



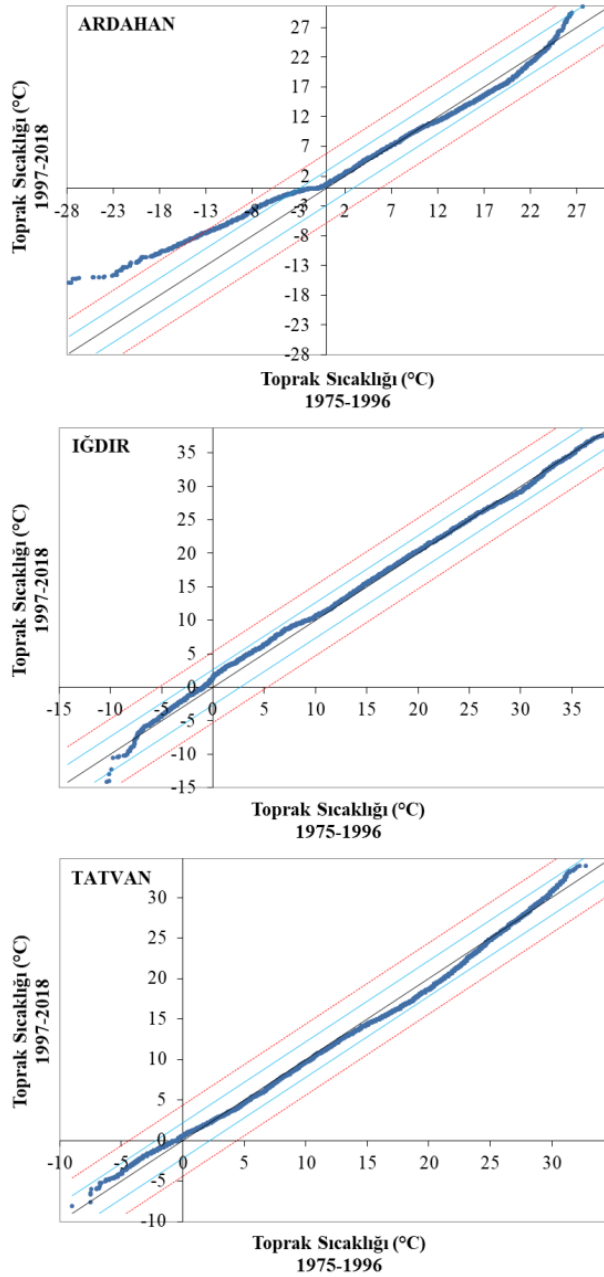


Şekil 68. Karasal İç Anadolu’da İTA yöntemine göre günlük toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde **mavi çizgi (—)**, % 5 trend hattını; **kırmızı çizgi (---)**, % 10 trend hattını göstermektedir.

İTA yöntemine göre Karasal Doğu Anadolu’da 5 cm derinlikteki günlük toprak sıcaklıklarının trendlerinde (1975-2018), Ardahan ve Iğdır istasyonlarında, 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir artış eğilimi tespit edilmiştir. Aksine Tatvan istasyonu, 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir azalış eğilimi sergilemiştir.

Ardahan istasyonunda günlük toprak sıcaklıklarında (5 cm) gözlenen artış eğilimi, Iğdır ve Tatvan istasyonundan daha büyüktür. Ardahan'da gözlenen artış eğilimi, Iğdır istasyonundan 1.6 kat daha fazladır.

Karasal Doğu Anadolu'da yer alan Ardahan istasyonunda günlük toprak sıcaklıklarında (5 cm) çok düşük sıcaklık değerlerinde belirgin bir artış, 10-24 °C değer aralığında azalış ve 25-30 °C değer aralığında belirgin bir artış eğilimi vardır. Bu gidiş İTA trend grafiğinde çanak şeklinde bir yapının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Burada özellikle -10 °C altı toprak sıcaklık değerlerinde gözlenen artışlar o kadar güçlüdür ki %10 trend hattını bile aşmıştır. Iğdır istasyonunda günlük toprak sıcaklıklarında trendin davranışı Ardahan'ın tam zıttı yöndedir. Çok düşük değerlerde (≤ -8 °C); orta-yüksek ve yüksek değerlerde, 26-39 °C, bir azalış eğilimi ortaya çıkmış olup diğer değer aralıklarında belirgin bir artış eğilimi gözlenmektedir. Tatvan istasyonuna bakıldığında toprak sıcaklık eğilimlerinde sadece şekilsel salınım Ardahan istasyonuna benzemekle birlikte değişkenlik daha düşüktür. Tatvan'da günlük toprak sıcaklık trendi spesifik bir davranış sergilemektedir ki çok düşük, düşük ve orta-yüksek günlük toprak sıcaklık değerlerinde belirgin bir artış ancak ara değerlerde belirgin bir azalış eğilimi vardır (Şekil 69).

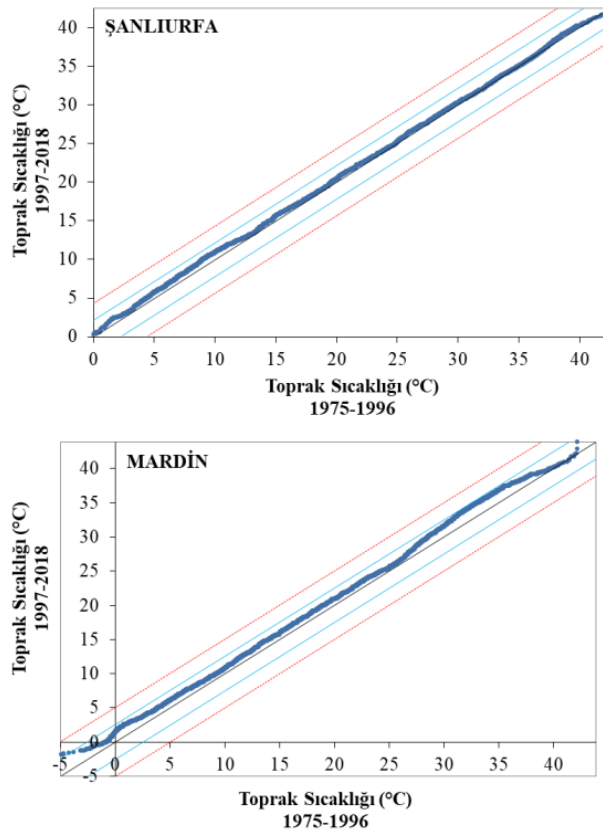


Şekil 69. Karasal Doğu Anadolu’da İTA yöntemine göre günlük toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde **mavi çizgi (-)**, % 5 trend hattını; **kırmızı çizgi (---)**, % 10 trend hattını göstermektedir.

İTA yöntemine göre Karasal Güneydoğu Anadolu’da 5 cm derinlikteki günlük toprak sıcaklıklarının trendlerinde (1975-2018), tüm istasyonlarda, 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir artış eğilimi tespit edilmiştir.

Mardin istasyonunda günlük toprak sıcaklıklarında (5 cm) gözlenen artış eğilimi, Şanlıurfa istasyonundan daha büyüktür. Mardin’de gözlenen artış eğilimi, Şanlıurfa istasyonundan üç kat daha fazladır.

Karasal Güneydoğu Anadolu’da 5 cm’de günlük toprak sıcaklıklarındaki eğilimlerin grafiksel sonuçlarına göre Şanlıurfa istasyonu grafiğinde 41 °C üstü sıcaklıklarda azalma gözlenirse de veri noktalarının büyük kısmı 1:1(45°) çizgisinin üzerinde toplanmış olup belirgin bir artış eğilimi ortaya çıkmıştır. Karasal Güneydoğu Anadolu’da ovalık alanda yer alan Şanlıurfa istasyonuna nispeten platoluk sahaları temsil eden Mardin istasyonunda trendin davranışı farklılıklar göstermektedir: Orta-yüksek ve çok yüksek toprak sıcaklık değerlerinde diğer değer aralıklarına nispeten güçlü bir artış eğilimi vardır (Şekil 70).

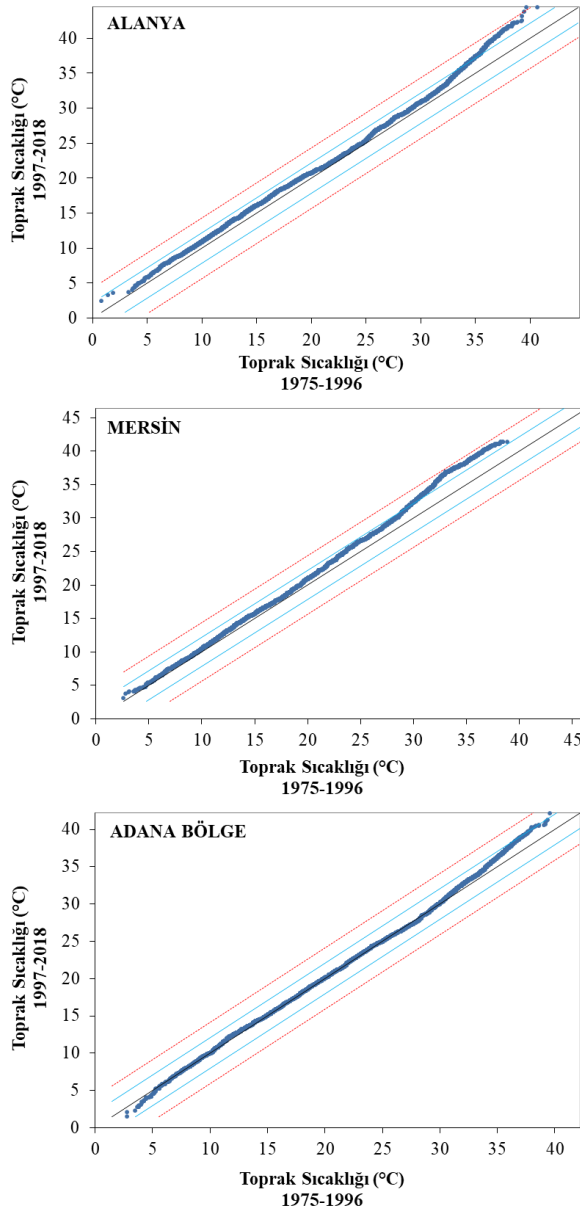


Şekil 70. Karasal Güneydoğu Anadolu’da İTA yöntemine göre günlük toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde mavi çizgi (—), % 5 trend hattını; kırmızı çizgi (····), % 10 trend hattını göstermektedir.

İTA yöntemine göre Akdeniz kıyılarında 5 cm derinlikteki günlük toprak sıcaklıklarının trendlerinde (1975-2018), tüm istasyonlarda, 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir artış eğilimi tespit edilmiştir.

Mersin istasyonunda günlük toprak sıcaklıklarında (5 cm) gözlenen artış eğilimi, diğer istasyonlardan daha büyüktür. Mersin'de gözlenen artış eğilimi, Adana'dan yaklaşık beş kat daha fazladır.

Akdeniz bölgesinde Alanya istasyonunda toprak sıcaklık (5 cm) eğilimlerinde gözlenen değişkenlik diğer istasyonlardan daha yüksektir. Diğer değer aralıklarının aksine yüksek ve çok yüksek günlük toprak sıcaklık değerlerinde normal dışı artışlar görülmektedir. Bu artışlar oldukça güçlüdür ki değerler %5 trend hattını bile aşmıştır. Mersin istasyonunda da Alanya istasyonuna benzer bir toprak sıcaklık eğilimi vardır. Diğer değer aralıklarının aksine orta-yüksek ve yüksek günlük toprak sıcaklık değerlerinde belirgin bir artış gözlenmektedir ki bu değerler %5 trend hattının üstünde bir davranış sergilemektedir (Şekil 71).



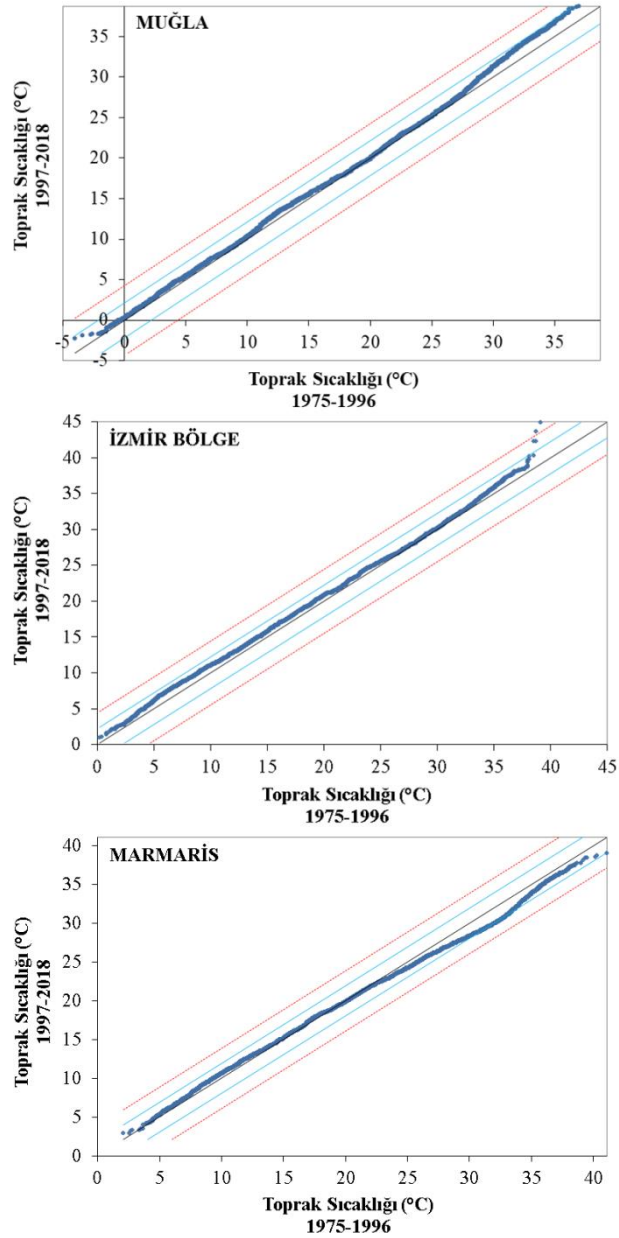
Şekil 71. Akdeniz kıyılarında İTA yöntemine göre günlük toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde **mavi çizgi** (—), % 5 trend hattını; **kırmızı çizgi** (---), % 10 trend hattını göstermektedir.

İTA yöntemine göre Ege kıyılarında 5 cm derinlikteki günlük toprak sıcaklıklarının trendlerinde (1975-2018) ve değer aralıklarındaki trendlerde yerel ölçekte farklılıklar tespit edilmiştir. Tüm istasyonların, 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir artış ya da azalış eğilimi sergilediği söylenemez.

Ege kıyılarında günlük toprak sıcaklıklarındaki (5 cm) eğilimlerin grafiksel sonuçlarına göre Muğla istasyonunda günlük toprak sıcaklıklarında düşük sıcaklık değerlerinde, orta-yüksek ve yüksek değerlerde belirgin bir artışın varlığı göze

çarpmaktadır. Aksine yüksek değer kümelerinin gözlendiği ve düşük değer kümelerinin gözlenmediği İzmir Bölge istasyonunda genel trendin yönü yönü benzer orta-düşük, yüksek ve çok yüksek sıcaklık değerlerinde belirgin bir artış trendi hâkimdir. Bununla birlikte orta ve orta-yüksek değer kümelerinde belirgin olmayan bir azalış trendi vardır. Burada orta-düşük sıcaklık değerlerinde artış yaklaşık %7'dir ancak çok yüksek toprak sıcaklık değerlerinde artış diğer değer kümelerindeki artışlara nispeten daha güçlüdür ki değerler, %10 trend hattının üstüne çıkmıştır (Şekil 72).

İTA test sonucuna göre Marmaris istasyonu günlük toprak sıcaklık değerleri (5 cm) Muğla ve İzmir Bölge istasyonlarından farklı olarak 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir azalış trendi sergilemektedir. Orta-düşük ve orta toprak sıcaklık değerlerinde artış eğilimi gözlenirse de orta-yüksek, yüksek ve çok yüksek toprak sıcaklık değerlerinde belirgin bir azalış eğilimi vardır (Şekil 72).



Şekil 72. Ege kıyılarında İTA yöntemine göre günlük toprak sıcaklık eğilimlerinin grafiksel sonuçları. Grafiklerde **mavi çizgi** (—), % 5 trend hattını; **kırmızı çizgi** (---), % 10 trend hattını göstermektedir.

8.5. Tartışma

Tezin “Eğilim” bölümünde Türkiye’de bölgesel olarak günlük, aylık ve yıllık ölçekte toprak sıcaklık dizilerinde gözlenen değişimler araştırılmıştır. Eğilim (trend) analizlerinde Mann Kendall (MK) testi, Sneyers (Sıralı Mann-Kendall) testi, Sen (1968) trend eğim yöntemi İnovatif Trend Analiz (İTA) yöntemi gibi çok çeşitli yöntemler bir arada kullanılmış ayrıca toprak sıcaklık eğilimleri ile birlikte hava sıcaklıklarındaki eş zamanlı değişimlerde tanımlanmaya çalışılmıştır.

Toprak sıcaklık değişkenine dair veri boyutunun büyüklüğü, kullanılan metotların çeşitliliği ve ortaya çıkan anlamlı ve çözümlüğü yüksek bilgilerin genişliği dikkate alındığında daha önce böyle bir çalışma yapılmamıştır. Son beş yılda hava sıcaklığı, yağış, akış, buharlaşma, solar radyasyon ve su kalitesi gibi parametrelere uygulanan İTA yöntemi dünya da ilk kez tarafımızdan bu araştırmada günlük ve yıllık toprak sıcaklık dizilerine uygulanmıştır. Dahası Araghi vd. (2017)'nin İran'ın kuzeydoğusunda 23 yıllık günlük toprak ve hava sıcaklığına ait MK Z-değerlerindeki değişimlere dayalı yaklaşımı, ilk kez bizim tarafımızdan Türkiye için uygulanmış ve bu kapsamda çok sayıda istasyona ait 44 yıllık günlük toprak ve hava sıcaklık kayıtları kullanılmıştır.

Türkiye'de 5 cm toprak sıcaklıklarında ortalama trendin artış hızı $0.35\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ yıl iken hava sıcaklığında bu oran biraz daha yüksek olup $0.39\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ yıldır. Yıl içinde kasım-ocak dönemi dışında hava sıcaklıklarındaki artış hızı, toprak sıcaklıklarından az da olsa fazladır. Dünyada toprak sıcaklık eğilimlerine bakıldığında seçilen derinliklerin ve periyotların farklı olmasından kaynaklı bölgeler arası karşılaştırmaların yapılması güç olsa da Türkiye'de ortalama toprak sıcaklık artış oranı Kanada'dan yüksek olmakla birlikte Hırvatistan'dan düşüktür (Qian, vd., 2011; Sviličić, vd., 2016).

Türkiye genelinde yıllık ortalama toprak ve hava sıcaklığına ilişkin zaman serilerinde trendlerinin başlangıç yılı genellikle 2000'li yıllarda, özellikle de 2010'lu yıllarda, toplanmıştır. Her iki değişkene ait trendlerin başlangıç yılı, kısa süreli dalgalanmalardan (beşer yıllık) kötü bir şekilde etkilenmiştir.

Türkiye'de şu ana kadar toprak sıcaklıklarında trendlerin başlangıç yılına yönelik analizler daha önce yapılmadığı için sonuçların tutarlılığı değerlendirilememiştir. Bununla birlikte ortalama hava sıcaklıklarında ve rekor maksimum hava sıcaklık olaylarında trend değişim noktası, toprak sıcaklıklarının (5 cm) trend başlangıç yılı hakkında fikir verebilir. Şöyle ki tespit edilen Türkiye'de 1950-2014 dönemlerinde gerçekleşen rekor maksimum hava sıcaklık olaylarının yarısının 2000-2014 döneminde kaydedildiği ve frekansın en yüksek olduğu yılların sırasıyla 2010, 2007 ve 2008 olduğu ileri sürülmüştür (Erlat ve Türkeş, 2015). Sadece Türkiye'de değil diğer pek çok ülkede de 2000 yılından sonraki yıllarda sıcaklık artışı belirgindir (Çelik ve Özalp, 2011). Coğrafi olarak Türkiye'de toprak sıcaklıklarında gözlenen eğilimlerin değişim noktası ile Rusya'nın Avrupa kesimi ve

Hırvatistan bölgesi toprak sıcaklıklarındaki trend, küresel anlamda hem hava hem de sığ toprak katmanında belirgin ısınmanın başlangıcı ile benzerlik göstermektedir (Reshotkin ve Khudyakov, 2019; Sviličić, vd., 2016). Bunun dışında hem toprak hem de hava sıcaklık eğilimlerinde tespit edilen pozitif yönlü bölgesel trendlerin başlangıç yılı, küresel karbondioksit salımlarında (CO₂) gözlenen eğilimler ile de iyi bir uyum sergilemektedir. Nitekim 2003-2011 döneminde küresel CO₂ salımlarında (arazi kullanımını değişikliğinden kaynaklananlar hariç) yıllık artış hızı, 1970-2003 dönemine göre tam iki kat artmış olup emisyon artışı, yılda %3.2'ye yükselmiştir. Artışın bu denli yükselmesinde Çin'in 2002'de Dünya Ticaret Örgütü'ne üye olması sonrasında hızlı bir şekilde sanayileşme sürecine girmesinin büyük bir katkısı olduğu ileri sürülmektedir (Olivier ve Peters, 2020). Sonuç olarak fosil yakıtlar ve endüstriye dayalı karbon salımlarından kaynaklı ortaya çıkan küresel ısınma, bazı yerel ölçekteki soğumalar dışında, son 20 yıldır Türkiye toprakların da önemli düzeyde ısınmaya yol açmıştır.

Tüm aylarda ki toprak sıcaklıklarında trendlerdeki bölgesel değişkenlik, hava sıcaklıklarından yüksektir. Bu özelliğin ortaya çıkmasında, haziran-ekim döneminde (5 ay) hava sıcaklıklarındaki eğilimlerin aksine toprak sıcaklıklarında, özellikle 0-20 cm'de, Anadolu'nun doğusunda ve güneybatısında ortaya çıkan negatif yönlü trend bölgelerinin oluşması etkilidir.

Türkiye'de 5 cm'de yıllık toprak sıcaklığındaki azalma eğilimlerinde özellikle haziran-ekim döneminde (özellikle ekimde) gerçekleşen azalma eğilimlerinin katkısı büyüktür. Bu durum, güneybatı Anadolu kıyıları, Antalya Körfezi'nin doğu kıyısı, Göller Yöresi ve Van Gölü kıyıları ve batısındaki alanlarda toprak sıcaklıklarındaki değişimlerin hava sıcaklıklarındaki değişimler ile tek başına açıklanamayacağını göstermiştir ki daha önceki bölümlerde de bu alanlarda hava sıcaklığı ve toprak sıcaklığı arasında zayıf-orta düzeyli ilişkiler tespit edilmiştir. Dahası ilginçtir ki haziran-ekim döneminde gözlenen toprak sıcaklıklarındaki azalışların, etki alanları azalmakla birlikte 100 cm derinliğe kadar devam etmektedir.

Güneybatı Anadolu'da Menteşe ovalarında yani Finike, Elmalı, Tefenni'de ve Göller Yöresinde Burdur'da hava sıcaklık artışlarının aksine eylül ve ekim aylarında özellikle 5 cm ve 10 cm derinliklerdeki toprak sıcaklıklarında azalış eğilimleri dikkati

çekmektedir. Özellikle Burdur'da eylül-aralık döneminde toprak sıcaklık azalışları 100 cm derinliğe değin devam etmektedir. Dahası güneybatı Anadolu kıyılarında Köyceğiz ve Marmaris'te mayıs-ekim döneminde 5 cm, 10 cm ve 20 cm derinliklere kadar istatistiksel açıdan önemli negatif yönlü toprak sıcaklık eğilimleri görülmüştür ki Köyceğiz'deki toprak sıcaklık düşüşleri 100 cm'ye değin devam etmektedir. Türkiye'de negatif ve anlamlı toprak sıcaklıklarının gözlemlendiği Van Gölü kıyısı ve batısındaki alanların yağış rejiminden farklı olarak Burdur-Marmaris-Finike üçgeninde yer alan bölge, topoklimatoloji açısından özel bir öneme sahiptir. Şöyle ki Akdeniz üzerinde oluşan gezici orta enlem depresyonları, eylül sonlarında Türkiye'ye Menteşe Dağları Yöresi olarak da bilinen bu bölgeden giriş yapmakta ve ekim ayında etkin olmaktadır. Güney batılı hava akımlarıyla gelen görece sıcak ve nemli hava kıyı ovalarında ve hemen gerisinde KD-GB doğrultusunda uzanan dağlarda ve Göller Yöresinde şiddetli sağanak şeklinde yağmur yağışlarına yol açmaktadır. Muhtemeldir ki güneybatı Anadolu'da, eylül ve ekimde, toprak sıcaklıklarındaki azalışlar, ani ve şiddetli sağanak tipi yağmur yağışlarındaki artışa bağlı toprak nem artışından kaynaklanabilir. Antalya Körfezi'nin doğu kıyısında Alanya ve Manavgat'ta ekim ayında 5 ve 10 cm derinliklerde toprak sıcaklıklarındaki azalışlardan da eylül ve ekim aylarında gerçekleşen ani ve şiddetli sağanak tipi yağmur yağışlar sorumlu olabilir. Çünkü yağmur sularının toprak sıcaklığını düşürücü bir etkisi olup genel olarak toprak üzerinde soğutucu bir etki yaratmaktadır (Boşgelmez, vd., 2001). Üstelik toprak fiziğinde ıslak toprakların ısınma kapasitesinin (özellik ısı) kuru topraklardan daha büyük olduğu ve ıslak topraklarda buharlaşmadan kaynaklı ısı kaybının daha fazla olduğu bildirilmektedir. Dolayısıyla ıslak topraklar, kuru topraklara göre 7-8 °C daha soğuktur (Boşgelmez, vd., 2001).

Toprak sıcaklıklarında yukarıda bahsedilen negatif trend bölgeleri ilk kez bu çalışmada tanımlanmış olup bu bölgelerin dışında Türkiye genelinde toprak sıcaklık artışları yüzeyden 100 cm derinliğe kadar devam etmektedir. Bu sonuç daha önceki çalışmalar ile uyum içindedir ki Türkiye genelinde tüm sezonda 50 cm sıcaklıklarında, Yeşilirmak Havzası'nda 10 cm sıcaklıklarında, Büyük Menderes Havzası'nda ve GAP Bölgesi'nde hemen hemen tüm derinliklerde ve tüm sezonda toprak sıcaklıklarının istatistiksel açıdan önemli bir artış eğilimi gösterdiği ortaya konulmuştur (Cıba, 2019; İçel ve Ataol, 2013; Tonkaz, vd., 2007; Yeşilirmak, 2014). Bundan başka Büyük Menderes Havzası'nda ve GAP Bölgesi'nde tüm derinliklerde en anlamlı ısınmanın ve en büyük ısınmanın yazın gerçekleştiği bildirilmiştir (Tonkaz, vd., 2007; Yeşilirmak, 2014). Dünya

üzerinde çeşitli iklim bölgelerinde Hırvatistan, kuzeydoğu İran, Tibet Platosu hariç Çin genelinde, Rusya'nın Avrupa kesiminde, Rusya/Irkutsk bölgesinde, kuzey İrlanda'da da benzer şekilde topraklarda ısınma eğilimleri tespit edilmiştir (Araghi, vd., 2017; García-Suárez ve Butler, 2006; Reshotkin ve Khudyakov, 2019; Sviličić, vd., 2016; Wang, vd., 2008; Zhang, vd., 2001). Toprak sıcaklıklarında gözlenen bu artışlar, Kuzey Yarım Küre'de toprak iklim bölgelerinin kuzeye kaymasına yol açması açısından önemlidir (Reshotkin ve Khudyakov, 2019).

Tarım yönetimi ve planlaması açısından bakıldığında günlük ekimlerin yapıldığı dönemlerde belirgin toprak sıcaklık artışları dikkati çekmektedir. Özellikle Türkiye'nin en yağışlı yerinde Rize'de 5 cm'deki toprak sıcaklıkları, ekim ayı bütününde ve ekim ayının ilk haftası dışındaki günlerde anlamlı (ya da anlamlıya yakın) artışlar göstermiştir. Buna ek olarak Karasal Doğu Anadolu'nun en verimli tarım arazilerinin yer aldığı soğuk yarı kurak bir iklime sahip Iğdır, ekim ayı bütününde ve kasım ayının ilk yarısında ortaya çıkan önemli toprak sıcaklık artışları ile Türkiye içinde farklılaşmaktadır. Bir diğer bitki ekim ve yetiştirme periyodu olan ilkbaharda ise bu artış trendleri Türkiye genelinde tüm toprak katmanında etkilidir. Özellikle mart ayının ilk yarısı ve nisan ayının ikinci yarısında Trakya'da, Karadeniz kıyılarında, Karasal İç Anadolu'da ve Akdeniz kıyılarında hava sıcaklıkları ile birlikte yaygın anlamlı ve pozitif yönlü toprak sıcaklık artışları vardır. Dahası mayıs ayının ilk yarısında Trakya'da, Karadeniz kıyılarında, Karasal İç Anadolu'da; mayıs ayının ikinci yarısında Akdeniz kıyı ovalarında önemli toprak ve hava sıcaklık artışları dikkati çekmektedir. Tüm bu iklimsel değişimler bahsedilen bölgelerde kuşkusuz tarımsal ürünlerde vejetatif gelişim dönemini kısaltacak olmakla birlikte orta-yüksek (30-35 °C) ve yüksek toprak sıcaklık değerlerinde (35-40 °C) gözlenen artış eğilimleri sıcaklık stresine yol açacak ve yaz kuraklığının şiddetlenmesini de tetikleyecektir.

Karasal Doğu Anadolu dışında tüm Türkiye'de 5 cm derinlik katında pozitif ve anlamlı (ya da anlamlıya yakın) MK Z-değerlerinin en çok toplandığı gün nisan ayının ikinci yarısı ile eylül arasındaki dönemdir. Toprak fizikindeki bu değişim, kuşkusuz bitki kök fizyolojisini etkileyecektir ancak kök sistemlerinin büyüüp gelişmesinde ne tür değişikliklerin yaşanacağı şu an tam olarak bilinmemektedir. Dünyada Türkiye topraklarında görülen bu değişim daha önce benzer şekilde nisan-eylül döneminde İran'ın

kuzeydoğusunda da tespit edilmiştir (Araghi, vd., 2017). Bununla birlikte İran'ın kuzeydoğusundan farklı olarak toprak sıcaklığı MK Z-değerlerinin daha sıcak aylarda ve daha kurak bölgelerde hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha büyük olma özelliği (Araghi, vd., 2017), Türkiye toprakları içinde büyük ölçüde geçerlidir. Nitekim Karasal İç Anadolu'nun büyük bölümünde (Konya Kapalı Havzası'nda) ve Karasal Güneydoğu'da ovalık alanlar dışındaki Mardin Platosu toprak sıcaklıklarında bu eğilim görülmektedir. Şunu açıkça ifade edebiliriz ki Türkiye'de sadece Koeppen iklim sınıflamasına göre soğuk yarı kurak (Bsk) olarak tanımlanan bölgelerde genellikle toprakların sıcaklıklarına ait MK Z-değerleri, hava sıcaklığı MK Z-değerlerinden daha büyüktür. Bu özellik, Türkiye'de diğer bölgeleri temsil eden istasyon kayıtlarına yansımamakla birlikte kışları soğuk ve nemli bir iklime sahip Karasal Doğu Anadolu'da kasımın ikinci yarısı-şubat döneminde ve Türkiye'nin en yağışlı yeri olan Rize'de ekim-aralık döneminde yani soğuk aylarda kısmen gözlenmiştir.

Van Gölü kıyıları ve batısındaki alanlarda bahsedilen dönemlerde toprak sıcaklık ölçümlerinde bir hata yok ise azalma eğilimlerinin gerçekleşebilmesi için tek koşul, ilkbaharda toprak neminde ve buharlaşma hızında bir artışın olması ile birlikte yaz dönemi ve eylül-ekim aylarında önemli düzeyde buharlaşma ve bulutluluk miktarında artışların olması gereklidir. Esasen Türkiye'de en etkili kar yağışlarının **özellikle Ardahan, Bitlis ve Bingöl çevrelerinde** aralık-nisan döneminde etkili kar ya da karla karışık yağışların gerçekleştiği ve nisan-mayıda hava sıcaklık artışları ile birlikte yalıtım görevi gören kar örtüsünün erimesi sonucu toprak neminin arttığını bilinmektedir. **Ardahan, Tatvan, Ahlat, Erciş, Bitlis, Bingöl, Solhan, Ergani, Siverek ve Elazığ istasyonları çevresinde** yaz döneminde, eylül ve ekimde derin toprak katmanına kadar devam eden bu toprak sıcaklık azalışlarını, ilkbaharda **ısınmaya bağlı gerçekleşen** kar erimesi ile birlikte konvektif yağışların artan etkinliği ve sonrasında yazın gerçekleşen buharlaşma aktivitesindeki artışlar ve sonbahar yağışlarındaki artışlar açıklayabilir. Bahsedilen bu istasyonlar çevresinde pek çok baraj ve doğal göllerden ve sulamalı tarım arazilerinden konveksiyon yoluyla yükselen nemlerin konvektif yağışları desteklediği de dikkate alınmalıdır. Yazın hava sıcaklığındaki artışların toprak sıcaklığına yansımaması da büyük ihtimalle toprakta artan ısının ilkbahardan arta kalan nemin buharlaşması için harcanması ve artan sonbahar yağışlarının soğutucu etkisinden kaynaklanabilir Bunun ötesinde kesin bir şey söyleyebilmek için istasyonların bulunduğu yerlerin yerinde görülmesi yanında

toprak sıcaklığı ile birlikte hava sıcaklığı, yağış miktarı, kar kalınlığı, bulutluluk miktarı ve buharlaşma gibi etmenlerin eş zamanlı detaylı bir şekilde günlük ve aylık ortalama ölçeğinde trend analizlerinin gerçekleştirilmesine ihtiyaç vardır. Nitekim daha önce bir çalışmada Büyük Menderes Havzası'nda toprak sıcaklıklarında önemli artış eğilimleri ile birlikte güneşlenme süresinde önemli artış eğilimleri ve yağışlarda önemli azalış eğilimleri tespit edilmiştir (Yeşilirmak, 2014). Bununla birlikte yerel ölçekte etkili toprak nemi, güneşlenme süresi, rüzgâr hızı ve buharlaşma hızı gibi başka etmenler ile toprak sıcaklığı arasında karmaşık ilgi ve bağlantılar olabilir.

Hem hava sıcaklığı hem de sığ toprak sıcaklığında (0-20 cm) istatistiksel açıdan önemli maksimum pozitif eğilimleri, Akdeniz kıyıları ve karasal iç kesimlerde ağustos ayında toplanmakta olup geniş alanlarda etkilidir. Bu koşullar gelecekte Türkiye'de serin iklim tahıllarında toprak tavını, tohum atım derinliğini ve çimlenme düzeyini değiştirebilir. Toprak sıcaklıklarındaki eğilimlerin devam etmesi ayrıca yetiştirme periyodunda mevcut sulama ve gübreleme ihtiyacını daha da arttırabilir. Buna ek olarak ağustos ayında trend değişimindeki özel değişimler ise mevcut yaz kuraklığını güçlendirebilir. Özellikle Doğu Karadeniz kıyıları ve kuzeydoğu Anadolu dışındaki alanların genelinde orta-yüksek ve yüksek toprak sıcaklık değerlerinde gözlenen belirgin artış trendinin mevcut su ve sıcaklık stresini arttırması beklenebilir. Dolayısıyla ürün kayıpları ve verim düşüşlerinin gerçekleşmesi de olasıdır. Günümüzde aşırı toprak sıcaklık olaylarının büyüklüğü ve sıklığının artması, tahıl ekolojisini nasıl etkileyecektir? Sorusunun cevabı net olarak bilinmese de bitki köklerinden besin alımı ve taşınımında zayıflama ve hücre yapılarında bozulma hatta bitki ölümlerinin gerçekleşmesi beklenen insan kaynaklı doğal değişimlerdir (Boşgelmez, vd., 2001).

Akdeniz kıyılarında özellikle Mersin ve Alanya'da haziran-ağustos döneminde; Karasal İç Anadolu'da özellikle Aksaray'da yani Konya Kapalı Havzası'nda haziran ve ağustos aylarında; Trakya'da ağustos bütününde; Karadeniz kıyılarında özellikle temmuz ve ağustos aylarında gerçekleşen toprak sıcaklık artışları yaşanan yaz kuraklığını daha da kuvvetlendirmektedir. Buna ek olarak tipik Akdeniz ve Karadeniz ikliminde nispeten daha sıcak ve kurak iklime sahip yerlerde (Mersin, Alanya ve Samsun) anlamlı ve büyük toprak sıcaklık artışları temmuz ve ağustos aylarının yanında haziran ayına da kaymakta olup toprak sıcaklıklarının yaz kuraklığı üzerindeki etkisi farklılaşmaktadır.

Daha sıcak ve belirgin yaz kuraklığı yaşanan bölgelerde, yani Karasal İç Anadolu, Trakya ve tüm kıyı ovalarında, 5 cm derinlikteki toprak sıcaklıklarına ait mutlak pozitif MK Z-değerleri mutlak negatif MK Z-değerlerden daha büyüktür. Aksine karasallığın güçlü olduğu daha soğuk bölgelerde yani Doğu Karadeniz kıyı gerisinde (Bayburt) ve Karasal Doğu Anadolu genelinde tam tersi bir eğilim vardır. Toprak sıcaklık eğiliminde tespit edilen bu özelliği daha önce benzer şekilde Araghi vd. (2017)'de İran'ın kuzeydoğusu için bildirmiştir. Bununla birlikte çok sıcak bir yaz ile karakterize edilen Karasal Güneydoğu Anadolu'da Şanlıurfa ve Siverek'te 5 cm toprak sıcaklıklarına ait mutlak negatif MK Z-değerleri, mutlak pozitif MK Z-değerlerden daha büyük çıkmıştır ancak bu ilginç bir sonuçtur. Bunun nedeni kuvvetle muhtemeldir ki Şanlıurfa ve Siverek'te sulanabilir arazilerin geniş yer kaplaması ile birlikte bitki yetişme periyotlarında ve yaz dönemlerinde geniş ölçekte yapılan sulamadır, öyle ki bölgede dolgu/yapı hacmi açısından dünyanın en büyük barajı olan Atatürk Barajı 1992 yılında bölgede hizmete girmiş ve GAP kapsamında 1995 yılında Harran Ovasına ilk kez su verilmiştir (Çopur, 2018). Sulanabilir tarımsal alanlardaki genişleme o kadar ani ve hızlı olmuştur ki NDVI görüntü analiz sonuçlarına göre 1992 yılında 58410 ha olan sulanabilen tarım alanı 1999'a gelindiğinde 137.362 ha çıkmıştır ki bu değer Harran Ovasının %61'ine karşılık gelmektedir (Çelik ve Gürsoy, 2013). Buna benzer arazi kullanım değişimlerini sonraki yıllarda Siverek Platosu'nda da görmekteyiz. Özetle Şanlıurfa ve Siverek'te toprak sıcaklıklarında negatif eğilimlerin baskın olmasında önemli hava sıcaklık artışlarına karşın sulamadan ve yakın çevredeki barajlardan (Atatürk Barajı gibi) kaynaklı artan toprak nemi ve güçlü buharlaşmanın etkili olabileceği ileri sürülebilir. Antropojenik etkilerden dolayı nisan-eylül döneminde toprağın 0-5 cm derinlik katında gerçekleşen bu fiziksel etkileşimlerin önemli düzeyde ısı kaybına yol açması olasıdır. Analiz sonuçlarında 5 cm derinlikteki toprak sıcaklığı MK Z-değerlerinde negatif eğilimlerin daha büyük mutlak değerlere sahip olmasına ek olarak yıllık ölçekte 2000'li yıllardan sonra belirgin biçimde artış gösteren hava sıcaklıklarının aksine toprak sıcaklıklarındaki artışların istatistiksel açıdan önemli olmaması bu düşünceyi desteklemektedir.

Türkiye topraklarında yaz kuraklığının şiddetlenmesi dışında bazı yerlerde bazı zaman dilimlerinde artan don tehdidi riski de bulunmaktadır. Don tehdidi riski, Trakya'da ocak ayının son haftasında, nisanın ilk yarısında ve aralık ayının ikinci yarısında; Karasal İç Anadolu'da eylülün son haftası ile ekim ayının ilk haftasında ve kasım ayının üçüncü

haftasında ve Karasal Doğu Anadolu'da nisanın ilk yarısında artmaktadır. Bunun dışında Akdeniz kıyılarında ocak ayının son haftasında, eylülün son haftasında ve ekim ayının ilk haftasında; Karadeniz kıyılarında kasım ayının ikinci yarısında, ocak ayının ilk ve son haftasında ve nisan ayının ilk yarısında da 5 cm derinlikte toprak don riski artmaktadır. Tarımsal planlama açısından baktığımızda Türkiye'de 5 cm derinlikteki toprak sıcaklıklarında gözlenen negatif eğilimler özellikle en erken donlar (ilk don) ile günlük ekimleri tehdit etmektedir. Bunun dışında özellikle Trakya'da nisan ayının ilk yarısında gözlenen anlamlı (ya da anlamlıya yakın) negatif eğilimler, en geç donlar (son don) yoluyla yazlık ekimleri tehdit etmektedir.

Karasal İç Anadolu'da sonbaharda artan toprak don riski, sonbaharda istatistiksel açıdan önemli düzeyde artan yağışların (Çiçek ve Duman, 2015) etkisiyle daha da kuvvetlenebilir dolayısıyla donma kuraklık (fizyolojik kuraklık) olaylarına ilişkin olasılık da artabilir. Topraktaki bu eğilimin don kabarması ya da don kesmesi gibi olayların frekansındaki artışı da destekleyebilir. Dolayısıyla beklenen olası sonuçlardan biri, diğer koşullar sabit olmak koşuluyla günlük ekimlerde verim kayıpları ve rekolte düşüşlerinin artarak devam etmesidir. Bunun dışında bölge genelinde mart sonu ve nisan başında toprak ve hava sıcaklıklarında MK Z-değerlerinde önemli (ya da anlamlıya yakın) bir düşüş dikkati çekmektedir. Trendlerdeki bu davranış, yazlık ekimlerde don tehdidi riskini arttırmaktadır. Ek olarak bölge genelinde ilkbahar yağışlarında bildirilen önemli azalışlar (Çiçek ve Duman, 2015); aşırı şiddetli yağışlı günlerde bildirilen önemli azalışlar ve hafif-orta-şiddetli yağışlı günlerde belirgin bir eğilimin gözlenmediği (Abbasnia ve Toros, 2020) dikkate alındığında serin iklim tahıllarında fizyolojik kuraklık olasılığının azalması beklenebilir. Kuşkusuz böylesi değişimler, toprak sıcaklık değerlerinin düşmesine karşın don kabarması ya da don kesmesi gibi olayların frekansında düşüş eğilimini de destekleyecektir.

Türkiye genelinde hava sıcaklığı yanında toprak sıcaklıklarında gözlenen önemli artışların gelecekte de devam edeceği düşünüldüğünde serin iklim tahıllarında halihazırdaki optimum ekim tarihlerini bir ya da iki hafta erkene çekebilir. Hem günlük hem de yazlık ekimlerde vejetatif gelişim dönemlerinin kısılmasının teşvik edilmesine bağlı olarak ürünlerin erken olgunlaşması beklenen değişim olabilir. Trakya'da ve Karasal İç Anadolu'da kasımın ilk yarısı (özellikle ikinci hafta), ocağın üçüncü haftası ve şubatın

ilk haftası ve üçüncü haftasında pozitif ve anlamlı eğilimler bu süreci teşvik edebilir. Karasal Doğu Anadolu'da özellikle Tatvan bölgesi, tahıl üretimi açısından hâlihazırdaki düşük tarım potansiyelini arttıracak gibi görünmekle birlikte ekim ayının ikinci ve üçüncü haftasında ve kasım ayının ilk haftasında toprak sıcaklıklarında gözlenen önemli düşüşler tohum atım tarihlerinin belirlenmesini destekleyebilir. Özellikle Türkiye genelinde şubat ayı toprak sıcaklıklarında pozitif eğilimlerin görülmesi erken ekimi desteklemekte olup yüzlek ekimi teşvik etmemektedir. Bununla birlikte Karadeniz kıyılarında kasım, ocak ve nisanda ve Karasal Doğu Anadolu'da nisan ayının ilk yarısında gözlenen negatif eğilimler, zaten tahıl üretimi için uygun olmayan toprak ve iklim koşullarını olumsuz yönde daha da güçlendirmektedir.

Çiçeklenme ve tane dolm aşamalarında orta-yüksek ve yüksek toprak sıcaklık değerlerindeki artışların bitki stresini daha da arttıracığı bir gerçektir. Özellikle Karasal İç Anadolu'da ve Karasal Güneydoğu Anadolu'da bu koşullara yatkındır ki Karasal İç Anadolu'da orta-yüksek toprak sıcaklık değerlerinde ve Karasal Güneydoğu Anadolu topraklarında bazı alanlarda çok yüksek değerlerinde azalma eğilimi olmakla birlikte genellikle orta-yüksek ve yüksek toprak sıcaklık değerlerinde belirgin bir artış eğilimleri vardır. Buna ek olarak Trakya bölgesi nispeten daha avantajlı bir konuma sahiptir.

Kuzeydoğu Anadolu'da mart, nisan ve mayıs aylarında gözlenen önemli toprak sıcaklık ve hava sıcaklık artışları yem bitkilerinin üretimi ve verimliliği açısından önemlidir. Güncel yağış miktarı ve yağışlı günlerdeki genel azalmalar ile birlikte bu sonuçlar düşünüldüğünde bölge ekolojisinin değiştiği ve değişeceği açıktır. Bu değişimlerin devam etmesi toprak verimliliğini dolayısıyla yem bitki çeşidi ve verimliliğini de etkileyecektir. Bu etkileşim, yakın gelecekte sıcak ve kuru iklime uygun çeşitli yonca türlerinin yetiştirilmesi için bir fırsat yaratabilir.

Bölgesel coğrafya açısından kasım ayında Trakya kesiminde toprak sıcaklıklarının trend değişimi Anadolu'dan farklılaşmaktadır. Bölgede pozitif yönlü anlamlı trendlerin ve yüksek trend eğilimlerinin yoğunlaşması dikkati çekmektedir. Tarımsal üretimi teşvik edici bu sonuç özellikle tahılların hem çimlenme yüzdesi hem de ortaya çıkış (emerjans) süresini güçlü bir şekilde etkileyecektir. Kasım ve aralık ayında kıyı bölgelerindeki trendlere bakıldığında Çukurova'da da benzer bir özellik söz konusudur. Türkiye'nin bu bahsedilen

tarım ovalarında toprak dinamiğinin değişimi elbette mikroorganizma aktivitesi, toprak besin elementi, toprak nem alımı ve organik madde miktarını da etkileyebilir. Özellikle tarımsal alanlarda Toplam Organik Madde (TOM) yoğunluğunun tanımlanması ve izlenilmesi önemlidir ki küresel ısınma sürecinde organik maddenin kaybedilmesi ile birlikte verimli toprakların verimsizleşmesine yol açacak birçok sorun öngörülmektedir (Melillo, vd., 2002).



DOKUZUNCU BÖLÜM

PROJEKSİYON

Küresel ısınmayla birlikte toprak sıcaklığının tohum çimlenme yüzdesi ve sorgumun ortaya çıkış süresini güçlü bir şekilde etkilemesi (Kanemasu, vd., 1975) yanında ekosistem işleyişinin toprak sıcaklık dinamikleri ile güçlü bir şekilde kontrol edilmesi (Wundram, vd., 2010), son yıllarda gelecek toprak sıcaklık projeksiyonlarına yönelik çalışmaların hız kazanmasına yol açmıştır (Araghi, vd., 2019; Bradford, vd., 2019). Esasında bu çalışmaların hız kazanmasında CMIP5 Genel Sirkülasyon Modelleri (GCMs) ve Temsili Konsantrasyon Rotalarının (RCP) tanımlanmasının büyük payı vardır. Başka bir deyişle oluşturulan gelecek hava verileri günümüzde toprak sıcaklık modellerinde önemli bir girdi kaynağını oluşturmaktadır.

Günümüzde gelecekte toprak sıcaklık değişimleri, ekosistem su dengesi simülasyon modeli olan SOILWAT2 (Bradford, vd., 2019); yabancı otların çimlenmesini ve ortaya çıkışını tahmin etmek amacıyla geliştirilmiş 1 boyutlu model olan Toprak Sıcaklık ve Nem Modeli (STM²) (Araghi, vd., 2019; Perreault, vd., 2013) ve tek boyutlu değişken olarak doymuş ortamlarda su, ısı ve çözünen hareketini simüle etmek için geliştirilmiş HYDRUS-1D gibi çeşitli programlama dilleri ile tasarlanmış araçlar kullanılarak araştırılabilmektedir (Şimûnek, vd., 2005). Bu araçlar gelecek toprak sıcaklıklarının tahmin edilmesinde araştırmacılar ve diğer kullanıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bu modeller arasında STM², daha az girdi parametresi kullandığı için diğer orta zorluktaki modellerden ayrılmaktadır. Bu özellik STM²'nin nispeten daha kullanışlı olmasını sağlamaktadır.

Küresel ısınma ile birlikte artan çölleşme tehdidi altında olan Türkiye'de Ts karakterinin tanımlanmasında toprak sıcaklıklarının gelecek projeksiyonları, iklim araştırmalarında önemli bir aşamadır. Toprak sıcaklıklarına yönelik projeksiyon analizi, tarımın yönetimi ve planlamasına ek olarak özellikle otçul ekosistemlerde habitat kaymalarının tahmin edilmesinde önemini korumaktadır. Buna karşın şu ana kadar tarihsel trendler ve gelecek iklim değişikliği projeksiyonlarının bölgesel sentezinde Ts'nin önemi tam anlamıyla kavranamamıştır ki bunu IPCC Değerlendirme Raporlarında da görebiliyoruz (IPCC, 2007; 2014; 2021).

Dünya’da gelecek toprak sıcaklıklarının projeksiyonuna yönelik çalışmalar sınırlıdır. Dolayısıyla küresel ısınmanın toprak sıcaklık-nem dengesini nasıl etkileyeceğini tam olarak bilemiyoruz. Nitekim Houle vd. (2012)’ne göre Kanada/Quebec ormanlık alanlarında iklim değişikliğinin gelecekteki toprak sıcaklığı ve toprak nemi üzerindeki etkileri belirsiz olduğunu öne sürmüştür. Bu alanlarda güncel 30 yıllık ortalamaya göre (1971-2000) 2040–69 ve 2070–99 dönemlerinde toprak sıcaklığının sırasıyla 1.1-1.9 °C ve 1.9-3.3°C arasında artacağı öngörülmektedir (Houle, vd., 2012). Kuzey enlemlerin aksine güney enlemlerde de toprak sıcaklığının gelecekteki davranışı benzerlik göstermektedir ki İran’ın kuzeydoğusunda 2025-2095 döneminde RCP senaryolarına (4.5, 6.0 ve 8.5) göre toprak sıcaklık artışlarının sırasıyla 0.8-1.5°C, 1.2-2.3°C ve 2.4-4.4°C arasında olduğu ileri sürülmektedir (Araghi, vd., 2019).

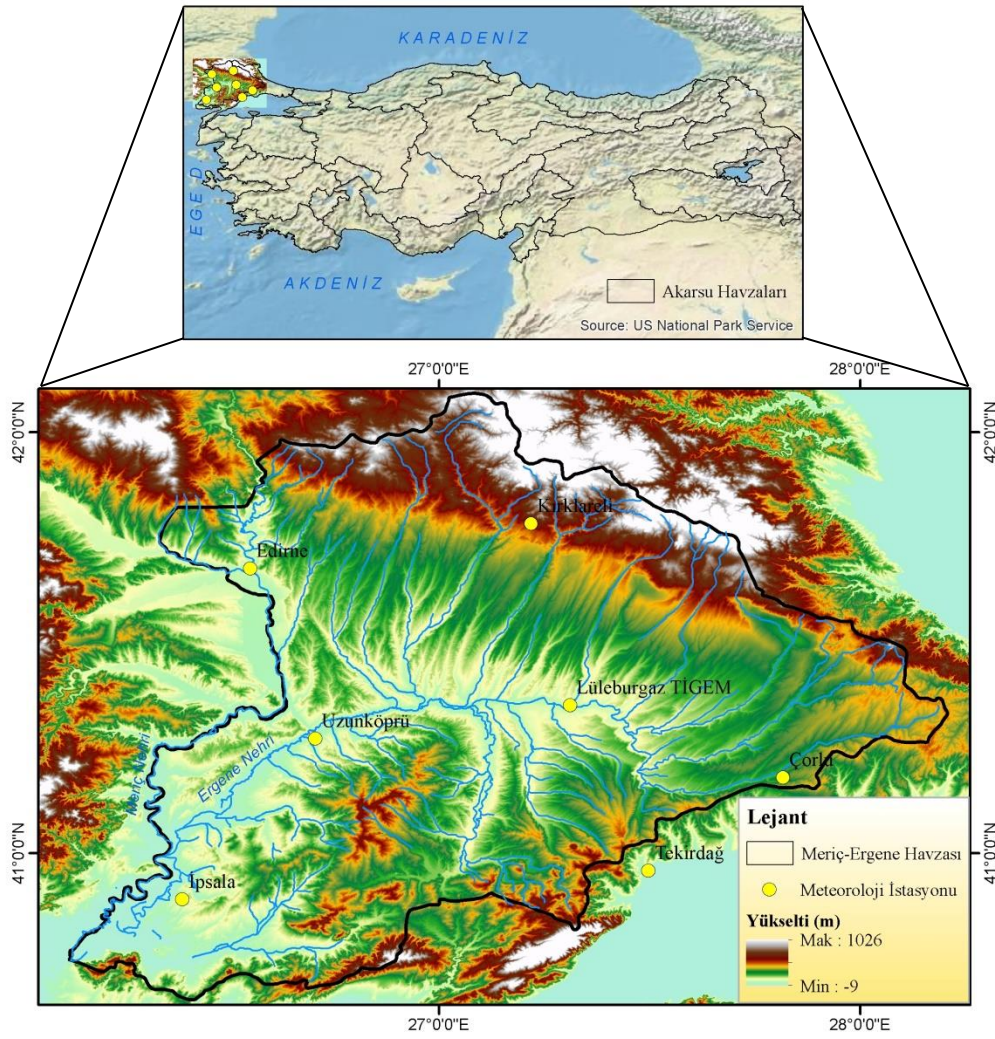
Türkiye’de şu ana kadar gelecekte toprak sıcaklıklarının nasıl bir değişim göstereceği ile ilgili bir çalışma yapılmamıştır. Bu anlamda Türkiye’nin tarımsal meteorolojisinde ve tarımsal klimatolojisinde önemli bir boşluk göze çarpmaktadır. Akdeniz bölgesinde küresel ısınma ve çölleşme sürecinin giderek şiddetlendiği ve etki alanını genişlettiği düşünüldüğünde ulaşılabilecek gelecek toprak sıcaklık verisinin ekolojide ekosistem tabanlı modellemelerde ve böcek popülasyonlarının izlenmesinde yardımcı parametre olarak daha sık kullanılacağı öngörülmektedir. Hazırlamış olduğum bu çalışmada ilk defa Türkiye’de toprak sıcaklıklarının kısa (2030 yılı), orta (2050 yılı) ve uzun vadedeki değişimi (2070 ve 2090 yılı), Araghi vd. (2009) tarafından ortaya konan yaklaşım izlenerek ortaya konulmuştur. Analizlerin kişisel bilgisayarlar ile yapımının güç ve zaman almasından kaynaklı bu çalışmada ön araştırma alanı olarak Meriç-Ergene Havzası ve yakın çevresi seçilmiştir. Araştırmada güncel meteorolojik veriler ile birlikte CMIP5 kapsamında tanımlanan GCMs ve RCP verileri girdi olarak kullanılmış olup tahminler STM² modeli koşturularak yapılmıştır.

9.1. Çalışma Alanı

Türkiye’de toprak sıcaklıklarının projeksiyon analizi için ön araştırma alanı olarak Trakya Yarımadası’nda bulunan Meriç-Ergene Nehri Havzası (MENH) seçilmiştir. Havzaya adını veren Ergene Nehri, Istranca Dağları’ndan kaynaklarını almakta ve Meriç Nehri ile birleşerek Saroz Körfezi’nden denize dökülmektedir. Türkiye yüzölçümünün

%1,8'ni kaplayan MENH'in toplam alanı, 14.510 km²'dir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2018: 2). Havza, ekolojik açıdan Marmara Geçiş Ekoloji Bölgesi'nin Ergene kuru orman-antropojen bozkır alt bölümünün özelliklerine sahiptir (Atalay, 2002). Bölge iklimi karasal iklim özellikler göstermekte olup ayrıntıda yarı kurak mezotermal bir iklim ile karakterize edilmektedir (Atalay, 2010). Bunun dışında Köppen-Geiger iklim tasnifine göre bölgenin iklimi tamamıyla sıcak yazlar ile temsil edilen Akdeniz iklim tipine (Csa) girmektedir.

Meriç-Ergene Havzası'nı içine alan Trakya Yarımadası'nın yükseltisi Anadolu Yarımadası'ndan oldukça düşüktür. İstasyonların yükseltisine ve yükselti modeline bakıldığında Meriç-Ergene Havzası'nın tamamı (kuzeydeki Istranca Dağları hariç) kabaca 0-250 m yükselti basamağı arasında yer almaktadır (Şekil 73 ve Tablo 10). Nitekim Anadolu Yarımadası'nın yükseltisi 1171.6 m iken Trakya Yarımadası'nın yükseltisi ortalama 159.8 m olduğu Koç ve Kesmen (2010) tarafından belirtilmiştir. Buna ek olarak Meriç-Ergene Havzası'nda eğimin 0-2° arasında değişmekte olduğu ve düz bir topoğrafya karakterinde olduğu ileri sürülmüştür. (Koç ve Kesmen 2010; Koç, 2013). Havzanın yıllık yağış ortalaması 550-650 mm arasında değişmekle birlikte yıllık sıcaklık ortalaması yaklaşık 14 °C'dir. Rüzgârın şiddet karakteri esinti-tatlı rüzgâr arasında değişmekte olup Marmara Denizi kıyılarında rüzgâr şiddetini arttırmaktadır. Toprak özellikleri açısından havzada hâkim toprak tipinin 1 m derinlik katmanında toprağın tekstürü, genellikle killi tın tipindedir. Dahası hâkim toprak tipinde ve benzer derinlikte ortalama organik madde (%) miktarı %1-2 arasında değişim göstermektedir (Tablo 10).



Şekil 73. Meriç-Ergene Havzası ve istasyonların coğrafik konumu.

Tablo 10

Meriç-Ergene Havzası ve yakın çevresi için seçilen istasyonlara ait coğrafi, iklimsel (1975-2018 dönemi) ve toprak bilgileri

İstasyon Adı	Enlem (°)	Boylam (°)	Yükselti (m)	Yıllık Yağış Toplamı (mm)	Yıllık Sıcaklık Ortalaması (°C)	Beaufort Rüzgâr Skalası	Kil, Silt ve Kum Fraksiyonları (%)	Toprak Tekstür Sınıfı	0-100 cm için Organik Madde (%)
Edirne	41.6767	26.5508	51	592	13.75	Hafif rüzgâr	31, 27.6, 41.4	Killi Tın	1.048
Kırklareli	41.7382	27.2178	232	565	13.43	Hafif rüzgâr	31, 27.6, 41.4	Killi Tın	1.048
Tekirdağ	40.9585	27.4765	4	592	14.15	Hafif rüzgâr	31, 27.6, 41.4	Killi Tın	1.048
Çorlu	41.1798	27.816	145	576	13.11	Tatlı rüzgâr	57.4, 22.6, 20	Kil	1.602
Uzunköprü	41.2726	26.7056	45	646	13.68	Hafif rüzgâr	31, 27.6, 41.4	Killi Tın	1.048
Lüleburgaz TİGEM	41.3513	27.3108	46	580	13.36	Esinti	57.4, 22.6, 20	Kil	1.602
İpsala	40.89	26.39	81	630	14.1	Esinti	28, 29.9, 42.1	Killi Tın	1.038

9.2. Veri ve Yöntem

Waen Associates tarafından geliştirilmiş ve Uluslararası Tarımsal Araştırma Danışma Grubu (CGIAR) İklim Değişikliği, Tarım ve Gıda Güvenliği Araştırma Programı (CCAFS) tarafından desteklenen çevrimiçi MarkSimGCM aracı, dünya genelinde simüle edilmiş günlük hava durumu verileri (minimum ve maksimum sıcaklık, yağış ve güneş radyasyonu) oluşturan stokastik bir hava durumu oluşturma platformudur (“CGIAR ve CCAFS”, t.y.), (“MarkSimGCM: Weather Generating Tool?”, 2022). Bu platformda, günlük yağış verileri üçüncü dereceden Markov süreci kullanılarak (Jones ve Thornton, 2013), günlük maksimum ve minimum hava sıcaklıkları ve günlük güneş radyasyon değerleri ise aylık ortalamaları kullanan Richardson’un yöntemleri ile (Richardson, 1981) tahmin edilir ve üretilir.

20 yılda geliştirildiği ileri sürülen MarkSimGCM, Tarımsal Teknoloji Transferi için Karar Destek Sistemini (DSSAT) beslemek için oluşturulmuş olup özellikle tropik ülkeler için tasarlanmıştır (Jones ve Thornton, 2013). Genel amaç, tarım ve iklim araştırmacılarını desteklemek ve küresel ölçekte oluşturulacak gelecek iklim verileri ile tarımsal modellerini beslemektir. WorldClim veri setini kullanan araç, 2013 yılında CMIP5’in bir parçası olan toplam 17 ayrı iklim modelinden gelen verileri içerecek şekilde güncellenmiştir. Dahası kullanıcılar sadece bir modeli ya da modeller arası kombinasyonu seçebilmekte hatta 17 model birlikte de çalıştırılabilme kolaylığına sahiptir. Buna ek olarak kullanıcılar, modeli hangi sera gazı emisyon yolu (RCP’ler) altında çalıştıracakını da seçebilmektedir (“CGIAR ve CCAFS”, t.y.), (“MarkSimGCM: Weather Generating Tool?”, 2022).

MarkSim aracındaki 17 GCMs ve RCP’ler, Dünya İklim Araştırma Programı’nın Birleşik Modeller Arası Karşılaştırma Projesi Aşama 5 (CMIP5) kapsamında tanımlanmış ve onaylanmıştır. CMIP5’te yeni iklim modeli simülasyonları için oluşturulan senaryolar yenidir. Bu senaryolar Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP’ler) olarak tanımlanmıştır. Bunlar RCP2.6, RCP4.5, RCP6 ve RCP8.5 olarak ifade edilmektedir. 2014 yılındaki IPCC Beşinci Değerlendirme Raporu (AR5)’de iklim modellerinde dört RCP’de kullanılmıştır (IPCC, 2013; IPCC, 2014). SRES emisyon senaryolarının aksine RCP’lerde CO₂ konsantrasyonlarını etkileyen karbon döngüsü belirsizlikleri dikkate alınmaz. Bununla

birlikte RCP'ler senaryo farklılıkları dışında hem desen hem de büyüklük açısından AR4'e benzemektedir (IPCC, 2013: 20).

Bu çalışmada MarkSimGCM'de replikasyon sayısı en yüksek seviyede tutulup 99'a ayarlanmıştır. Kısa, orta ve uzun vadede toprak sıcaklık değişimlerinin tahmini için subjektif olarak 2030, 2050, 2070 ve 2090 yılları seçildi. Bu yıllara ait günlük minimum ve maksimum hava sıcaklığı ve yağış verileri, 17 GCMs takımı RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında çalıştırılarak elde edilmiştir. Burada her bir istasyonun her bir yılı için tek ya da bir kaç model dışında 17 GCMs birlikte çalıştırıldı dahası replikasyon sayısı en üst düzeyde tutulup 99 stokastik günlük zaman serisinin ortalaması alındı. Böylelikle hava üreticisinden kaynaklı olası belirsizlikler ya da değişkenliklerin azaltılması hedeflendi. Model çalıştırılmadan önce yaygın şekilde kullanılan, en çok odaklanılan orta ve en kötü durum/salın senaryosu olarak tanımlanan RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları kullanıldı. 17 GCMs ve kullanılan RCP'lere ait ayrıntılı bilgiler sırasıyla Tablo 11 ve Tablo 12'de sunulmuştur.

Tablo 11

Bu çalışmada kullanılan MarkSim Küresel Sirkülasyon Modelleri (GCMs)

Sıra Numarası	Model	Kurum	Çözünürlük (Enlem x Boylam)
1	BCC-CSM	Beijing İklim Merkezi, Çin Meteoroloji Dairesi	2.8125 x 2.8125
2	BCC-CSM1.1 (m)	Beijing İklim Merkezi, Çin Meteoroloji Dairesi	2.8125 x 2.8125
3	CSIRO-MK 3.6.0	Commonwealth Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Kurumu ve Queensland İklim Değişikliği Mükemmeliyet Merkezi	1.875 x 1.875
4	FIO-ESM	Birinci Oşinografi Enstitüsü, Çin	2.812 x 2.812
5	GFDL-CM3	Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı, ABD	2.0 x 2.5
6	GFDL-ESM2G	Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı, ABD	2.0 x 2.5
7	GFDL-ESM2M	Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı, ABD	2.0 x 2.5
8	GISS-E2-H	NASA Goddard Uzay Çalışmaları Enstitüsü, ABD	2.0 x 2.5
9	GISS-E2-R	NASA Goddard Uzay Çalışmaları Enstitüsü, ABD	2.0 x 2.5
10	HadGEM2-ES	Met Office Hadley Merkezi, Birleşik Krallık	1.2414 x 1.875
11	IPSL-CM5A-LR	Pierre Simon Laplace Enstitüsü, Fransa	1.87 x 3.75
12	IPSL-CM5A-MR	Pierre Simon Laplace Enstitüsü, Fransa	1.2587 x 2.5
13	MIROC-ESM	Atmosfer ve Okyanus Araştırmaları Enstitüsü, Ulusal Çevre Araştırmaları Enstitüsü, Japonya	2.8125 x 2.8125
14	MIROC-ESM-CHEM	Atmosfer ve Okyanus Araştırmaları Enstitüsü, Ulusal Çevre Araştırmaları Enstitüsü, Japonya	2.8125 x 2.8125
15	MIROC5	Atmosfer ve Okyanus Araştırmaları Enstitüsü, Ulusal Çevre Araştırmaları Enstitüsü, Japonya	1.4063 x 1.4063
16	MRI-CGCM3	Meteoroloji Araştırma Enstitüsü, Japonya	1.125 x 1.125
17	NorESM1-M	Norveç İklim Merkezi, Norveç	1.875 x 2.5

Not. Araghi, vd. (2019)'den uyarlanmıştır.

Bu çalışmada sadece iyi ve kötü senaryo olarak sadece RCP4.5 ve RCP8.5 seçilmiştir. Seçili senaryo türlerine ait ayrıntılı bilgiler Tablo 12’de sunulmuştur.

Tablo 12

Bu çalışmada kullanılan RCP senaryolarına ait bilgiler

Senaryo	1750’ye göre 2100’de ışımsal zorlama	2100’e kadar öngörülen birleşik CO ₂ eşdeğer konsantrasyonu (ppm)	Sanayi öncesi döneme göre 2046-2065’te küresel ortalama yüzey sıcaklık değişimi (°C)	1986-2005’e göre 2081-2100’de küresel ortalama yüzey sıcaklığı tahmini (°C)	1850-1900’e göre 21. yüzyılın sonunda tahmini küresel yüzey sıcaklık artışı (°C)
RCP4.5	~4.5 W/m ²	630	~2.4	1.1-2.6 (ortalama 1.8).	>1.5
RCP8.5	~8.5 W/m ²	1313	~4.9	2.6-4.8 (ortalama 3.7)	>2.0 ve 4.0>

Not. IPCC (2014)’den uyarlanmıştır.

9.2.1. Toprak Sıcaklık ve Nem Modeli (STM²)

Toprak Sıcaklık ve Nem Modeli’ne (STM²) sınırlı ölçüde değişken girilmektedir. Organik madde ve tekstür gibi temel toprak özellikleri; iklim tipi, rüzgâr şiddeti gibi bazı iklimsel özellikler yanında enlem, boylam ve yükselti gibi bazı coğrafi parametrelere ihtiyaç vardır. Bununla birlikte modelde kullanılan birincil girdi, günlük maksimum ve minimum hava sıcaklığı ve yağış parametreleridir. Bu girdiler yoluyla her hangi bir derinlikte toprak sıcaklığı ve toprak nemi tahmin edilebilmektedir. Spokas ve Forcella (2009)’ya göre modelin hem dikey hem de yatay ölçekte tek boyutlu doğasından kaynaklı toprak nem tahminlerinde hata artabilmektedir ve hafif bir pozitif yanlılığa sahip olabilmektedir. Tüm bunlara rağmen STM², mevcut modellere göre kullanıcı dostu bir araç olduğu ve ot çimlendirme çalışmalarında faydalı olduğu bildirilmektedir (Spokas ve Forcella, 2009). STM² basit ve kullanışlı olması dışında özellikle toprak sıcaklık profillerini tahmin etmede güvenilir bir araçtır (Araghi, vd., 2019; Perreault, vd., 2013; Spokas ve Forcella, 2009).

Türkiye’de 0-100 cm derinlikte toprağın ortalama tekstür ve organik madde (%) bilgisi olmadığı için bu veriler, Uyumlaştırılmış Dünya Toprak Veri Tabanı (HWSD) versiyon 1.2 Görüntüleyicisinden elde edilmiştir. HWSD, 1:5 000 000 ölçekli FAO-UNESCO Dünya Toprak Haritası ile birleşik 16000’den fazla farklı toprak haritalama birimine sahip 30 yay saniyelik (veya ~1 km) raster görüntüden ve Microsoft Access 2003 formatında bir öznitelik veri tabanından oluşmaktadır (Nachtergaele, vd., 2012). Çalışmada

bu veri tabanında yer alan üst toprak (0-30 cm) ve alt toprağa (30-100) ait tekstür ve organik maddenin ağırlıklı ortalaması alınmıştır. Organik maddenin (%) tahmin edilmesinde toprak organik karbonun (TOK, %) değerlerinden faydalanılmıştır. Burada geleneksel yaklaşımda 1.724 faktörünün ötesinde Pribyl (2010)'in öne sürdüğü organik maddenin %50 karbon olduğu varsayımına dayanan 2'lik faktörü kullanılmıştır.

Tüm istasyon verilerinde toprak nemi alt sınır koşulu ve başlangıç su potansiyeli için sırasıyla varsayılan ayar olan -500 kPa ve -33.0 kPa değeri kullanılmıştır. Güneş ısıtması, buharlaşma ve nem ile ölçeklenen buharlaşma varsayılan olarak etkinleştirildi ve akış seçeneği %50 varsayılan değerine ayarlandı ancak toprak nemi alt sınır koşulu ve başlangıç su potansiyeli, her toprak profilinde bu değer değişebileceği unutulmamalıdır. Oluşabilecek tahmin hatasının nem ölçüm ortalamaları ya da yinelemeli sayısal yöntemler ile en aza indirilebileceği ve bu değer daha iyi tahmin edilebileceği ileri sürülmektedir (Perreault, vd., 2013).

9.2.2. STM² Çıktılarının Yanlılık Düzeltmesi (YD)

Yanlılık düzeltmesi (YD), ölçeklendirme sürecidir. Böylece iklim modeli çıktıların sistematik hataları dikkate alınarak, gözlemlere uygunlukları iyileştirilebilir (Soriano, vd., 2019). Yani STM² model çıktılarındaki belirsizlikler yanlılık düzeltme yöntemleri ile azaltılabilir (Araghi, vd., 2019). Bu aşamada STM² modeline gelecek iklim datası uygulanmadan önce en optimum YD yönteminin belirlenmesi modelin doğruluğu açısından önemlidir. Bunun için seçili istasyonların farklı derinliklere ait gözlenen güncel Ts değerleri STM² modeline girdi olarak kullanılabilir (Araghi, vd., 2019). Burada biz de seçili yedi istasyonun 2008 yılına ait hava datasını STM² modeline girdi olarak kullandık ve Ts'yi tahmin ettik. Daha sonra 2008 üzerinden tahmin edilen ve gözlenen Ts verilerine iki tür YD yöntemi kullandık. Yanlılık düzeltme yöntemleri olarak Lineer Ölçekleme yöntemini (Shrestha, vd., 2015; Teutschbein ve Seibert, 2012) seçtik. Bu yöntemin tercih edilmesinde popüler olması dışında sıcaklık değişkenine ilişkin model çıktılarında yaygın şekilde kullanılması etkili olmuştur (Araghi, vd., 2019).

Gelecek Ts değişimlerini tahmin için performansı en iyi YD yöntemi seçilmelidir. Bunun için pek çok ölçüm kriteri getirilmiştir. Bunlar arasında Kök Ortalama Kare Hatası

(RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (MAE) yaygın kullanılmasından kaynaklı ilk akla gelenlerdir. Bu araştırmada her bir istasyonun 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinlikleri için en iyi YD yöntemini tespit etmek için dört kriter seçilmiştir. Bu kriterler Uyum İndeksi (d), RMSE, MAE ve Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE) olup aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^N |O_i - \bar{O}_i| + |M_i - \bar{O}_i|^2} \right] \quad (9.1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n |M_i - \bar{O}_i| \right] \quad (9.2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2 \right]} \quad (9.3)$$

$$MAPE = 100 \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N \left| \frac{O_i - M_i}{O_i} \right| \right] \quad (9.4)$$

Denklem 10.1, 10.2, 10.3 ve 10.4'e göre O_i , M_i ve N sırasıyla gözlenen veri, model verisi ve veri uzunluğudur.

9.3. STM² Modelin Performansı

Günlük Ts değerlerini içeren STM² çıktılarına lineer ölçekleme (LÖ) yanlılık düzeltilmesi (YD) uygulanmış ve modelden kaynaklı belirsizlikler büyük ölçüde giderilmiştir. Modelin işlenmemiş çıktılarında (YD yok) RMSE değerleri, 1.4-3.6 °C arasında değişiklik gösterirken LÖ YD çıktıları 0.4-2.0 °C arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 13-19). LÖ sonrası model çıktılarında tüm istasyonlarda tüm derinliklerde RMSE değerleri ortalama yaklaşık 1 °C'dir. Dahası tüm istasyonlarda YD öncesi (YD yok) ve

sonrasında (LÖ) MAE ve MAPE değerlerinde yarı yarıya düşme tespit edilmiştir. LÖ ile yanlılıkların oldukça azalmasında günlük toprak sıcaklık değişkenliğinin düşük olması etkili olmuştur ki bu durum tüm istasyonlar ve tüm derinliklerde d ve R² performans ölçütlerine de yansımıştır (Tablo 13-19). Kısacası diğer YD yöntemlerine ilişkin bir analiz yapılmısa da LÖ, tahmin edilen STM² çıktıları ile gözlenen değerler arasında yanlılıkları önemli ölçüde azaltmıştır.

Tablo 13

Çorlu istasyonunda 2008 yılı STM² modelinin yanlılık düzeltme (YD) yöntemlerine dayalı performans değerlendirmesi

Derinlik (cm)	YD yöntemi	d (°C)	RMSE (°C)	MAE (°C)	MAPE (%)	R ²
5	YD yok	0.98	2.5	2.1	Sonsuz	0.97
	LÖ	0.99	1.4	1.1	20.1	0.98
10	YD yok	0.98	2.3	1.9	Sonsuz	0.98
	LÖ	0.99	0.8	0.7	8.4	0.99
20	YD yok	0.99	1.9	1.6	23.0	0.98
	LÖ	0.99	0.9	0.6	8.0	0.99
50	YD yok	0.95	3.0	2.6	30.6	0.99
	LÖ	0.99	1.1	0.8	8.5	0.98
100	YD yok	0.88	3.5	3.0	25.3	0.90
	LÖ	0.99	0.8	0.6	4.7	0.99

Tablo 14

Uzunköprü istasyonunda 2008 yılı STM² modelinin yanlılık düzeltme (YD) yöntemlerine dayalı performans değerlendirmesi

Derinlik (cm)	YD yöntemi	d (°C)	RMSE (°C)	MAE (°C)	MAPE (%)	R ²
5	YD yok	0.98	2.5	2.1	20.8	0.97
	LÖ	0.99	1.5	1.2	16.7	0.97
10	YD yok	0.98	2.2	2.0	17.2	0.98
	LÖ	0.99	1.1	0.9	10.8	0.98
20	YD yok	0.99	1.4	1.2	11.2	0.99
	LÖ	0.99	1.1	0.5	5.2	0.99
50	YD yok	0.96	1.9	1.5	13.3	0.96
	LÖ	0.99	0.9	0.6	5.6	0.98
100	YD yok	0.91	2.6	2.1	15.8	0.92
	LÖ	0.99	0.7	0.5	3.9	0.99

Tablo 15

Tekirdağ istasyonunda 2008 yılı STM² modelinin yanlılık düzeltme (YD) yöntemlerine dayalı performans değerlendirmesi

Derinlik (cm)	YD yöntemi	d (°C)	RMSE (°C)	MAE (°C)	MAPE (%)	R ²
5	YD yok	0.98	2.2	1.9	19.5	0.96
	LÖ	0.99	1.4	1.1	12.2	0.98
10	YD yok	0.98	2.1	1.8	18.2	0.97
	LÖ	0.99	1.1	0.9	8.3	0.98
20	YD yok	0.98	2.1	1.8	15.4	0.98
	LÖ	0.99	0.9	0.7	5.3	0.99
50	YD yok	0.95	2.8	2.4	18.0	0.93
	LÖ	0.99	1.1	0.8	6.2	0.98
100	YD yok	0.87	2.2	2.6	17.2	0.87
	LÖ	0.99	0.8	0.6	4.0	0.98

Tablo 16

Lüleburgaz TİGEM istasyonunda 2008 yılı STM² modelinin yanlışlık düzeltme (YD) yöntemlerine dayalı performans değerlendirmesi

Derinlik (cm)	YD yöntemi	d (°C)	RMSE (°C)	MAE (°C)	MAPE (%)	R ²
5	YD yok	0.96	3.4	3.0	35.5	0.96
	LÖ	0.99	1.6	1.9	20.4	0.97
10	YD yok	0.97	3.0	2.7	30.8	0.97
	LÖ	0.99	1.2	0.9	13.6	0.98
20	YD yok	0.96	2.0	1.6	25.2	0.99
	LÖ	0.99	0.7	0.5	7.1	0.99
50	YD yok	0.96	2.6	2.2	25.2	0.96
	LÖ	0.99	0.9	0.6	6.6	0.99
100	YD yok	0.86	3.6	3.0	27.3	0.88
	LÖ	0.99	0.8	0.61	4.9	0.99

Tablo 17

Kırklareli istasyonunda 2008 yılı STM² modelinin yanlışlık düzeltme (YD) yöntemlerine dayalı performans değerlendirmesi

Derinlik (cm)	YD yöntemi	d (°C)	RMSE (°C)	MAE (°C)	MAPE (%)	R ²
5	YD yok	0.97	2.7	1.8	31.2	0.97
	LÖ	0.99	1.5	1.2	29.1	0.97
10	YD yok	0.97	2.8	2.6	27.5	0.98
	LÖ	0.99	1.1	0.9	15.0	0.98
20	YD yok	0.99	1.9	1.6	18.2	0.99
	LÖ	0.99	0.7	0.5	6.0	0.99
50	YD yok	0.97	2.0	1.5	17.2	0.97
	LÖ	0.97	2.0	1.6	17.6	0.97
100	YD yok	0.93	2.2	1.8	15.8	0.93
	LÖ	0.99	0.5	0.4	3.3	0.99

Tablo 18

Edirne istasyonunda 2008 yılı STM² modelinin yanlılık düzeltme (YD) yöntemlerine dayalı performans değerlendirmesi.

Derinlik (cm)	YD yöntemi	d (°C)	RMSE (°C)	MAE (°C)	MAPE (%)	R ²
5	YD yok	0.97	3.1	2.5	Sonsuz	0.96
	LÖ	0.99	1.6	1.3	Sonsuz	0.97
10	YD yok	0.97	3.2	2.8	Sonsuz	0.97
	LÖ	0.99	1.3	1.0	Sonsuz	0.98
20	YD yok	0.98	2.4	2.0	31.9	0.98
	LÖ	0.99	1.1	0.8	12.6	0.99
50	YD yok	0.95	3.0	2.6	31.0	0.95
	LÖ	0.99	1.1	0.8	8.9	0.98
100	YD yok	0.90	3.3	2.7	23.3	0.92
	LÖ	0.99	0.7	0.5	4.2	0.99

Tablo 19

İpsala istasyonunda 2008 yılı STM² modelinin yanlılık düzeltme (YD) yöntemlerine dayalı performans değerlendirmesi

Derinlik (cm)	YD yöntemi	d (°C)	RMSE (°C)	MAE (°C)	MAPE (%)	R ²
5	YD yok	0.98	2.6	2.3	23.6	0.97
	LÖ	0.99	1.3	1.0	15.1	0.98
10	YD yok	0.98	2.5	2.3	21.8	0.98
	LÖ	0.99	1.0	0.7	9.7	0.99
20	YD yok	0.99	1.6	1.4	12.7	0.99
	LÖ	0.99	0.7	0.4	4.6	0.99
50	YD yok	0.99	1.7	1.3	12.2	0.98
	LÖ	0.99	0.7	0.5	4.0	0.99
100	YD yok	0.95	2.0	1.6	12.2	0.95
	LÖ	0.99	0.4	0.3	2.4	0.99

9.4. Gelecekte Toprak Sıcaklığının Değişimi

Türkiye’de Meriç-Ergene Nehri Havzası ve yakın çevresini temsil eden istasyonlar için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına dayalı olarak kısa (2030), orta (2050) ve uzun vadede (2070 ve 2090) Ts değişimine ilişkin projeksiyonlar Şekil 74-80’de sunulmaktadır. RCP4.5 senaryosu altında 2090 yılına kadar tüm istasyonlarda -0.6 °C ile 3.0 °C arasında ısınmalar tahmin edilmiş olup havza bütününde ortalama 1.2 °C’lik bir artış öngörülmüştür. RCP4.5 senaryosu altında 2090 yılına kadar Ts, Tekirdağ, Uzunköprü, İpsala, Edirne, Lüleburgaz TİGEM, Çorlu ve Kırklareli istasyonlarında sırasıyla 0.4-2.7 °C, 0.9-3.0 °C, -0.4-1.4 °C, 0.3-2.3 °C, -0.6-0.7 °C, 0.5-2.0 °C ve 0.2-1.9 °C aralığında değişmektedir. 2030, 2050, 2070 ve 2090 RCP8.5 simülasyonlarında maksimum Ts artışı RCP4.5 simülasyonuna göre yaklaşık iki katıdır ki Tekirdağ, Uzunköprü, İpsala, Edirne, Lüleburgaz TİGEM, Çorlu ve Kırklareli istasyonlarında Ts’nin, sırasıyla 0.5-4.9 °C, 0.9-5.6 °C, -0.3-3.6 °C, 0.4-4.8 °C, -0.5-3.0 °C, 0.6-4.1 °C ve 0.3-4.2 °C arasında değişeceği tahmin edilmiştir. RCP8.5 senaryosuna göre havza bütününde öngörülen ortalama artış, 2.0 °C’dir.

RCP4.5 senaryosu altında 2090 yılına kadar derinliğe bağlı Ts değişimleri Lüleburgaz TİGEM ve İpsala istasyonları dışındaki istasyonlar yani Tekirdağ, Uzunköprü, Edirne, Çorlu ve Kırklareli istasyonları belirgin pozitif yönlü benzer bir davranış sergilemektedir. İlginçtir ki Lüleburgaz TİGEM istasyonunda 2030 yılına kadar 5 cm derinlikte ve 2090 yılına kadar 100 cm derinlikte hafif bir azalma eğilimi vardır. Buna ek olarak İpsala istasyonunda 2030 yılına kadar 50 cm derinlikte ve 2050 yılına değin 100 cm derinlikte hafif bir azalma eğilimi görülmekte olup diğer derinliklerde belirgin bir Ts artışı dikkati çekmektedir. Bununla birlikte diğer istasyonlara kıyasla özellikle Lüleburgaz TİGEM ve Çorlu istasyonunda tüm derinliklerde gelecek toprak sıcaklık değişimleri ve hava sıcaklık değişimleri birbirine yakın değerler göstermektedir. Tüm bunların ötesinde Tekirdağ ve Edirne dışındaki alanlarda 2090 yılında değin hava sıcaklık artışları 5 cm derinlikteki toprak sıcaklık artışlarından daha fazladır. Özellikle Tekirdağ’da sadece 5 cm derinlikte değil sıg toprak katmanında (5-20 cm) Ts artışının 2090 yılına kadar hava sıcaklık artışından belirgin şekilde daha güçlü olacağı tahmin edilmektedir.

RCP8.5 senaryosunda ise 2090 yılına değin derinliğe bağılı Ts değışimleri Tekirdağ ve Edirne dışındaki istasyonlarda benzer bir örüntü görölmektedir ki bu istasyonlarda hava sıcaklık artışları, toprak sıcaklık artışlarından daha büyüktür. Projeksiyona göre havzada orta ve uzun vadede sadece Edirne'de 5 cm derinlikteki Ts artışları hava sıcaklık artışlarından biraz daha yüksektir. Havza dışındaki Tekirdağ'da durum farklılaşmaktadır ki sadece 5 cm değil sığ toprak katmanı (5-20 cm) genelinde Ts artışları, hava sıcaklık artışlarının üstüne çıkmıştır. Bununla birlikte en güçlü toprak ısınması sırasıyla Uzunköprü ve Tekirdağ istasyonlarında ortaya çıkmıştır.

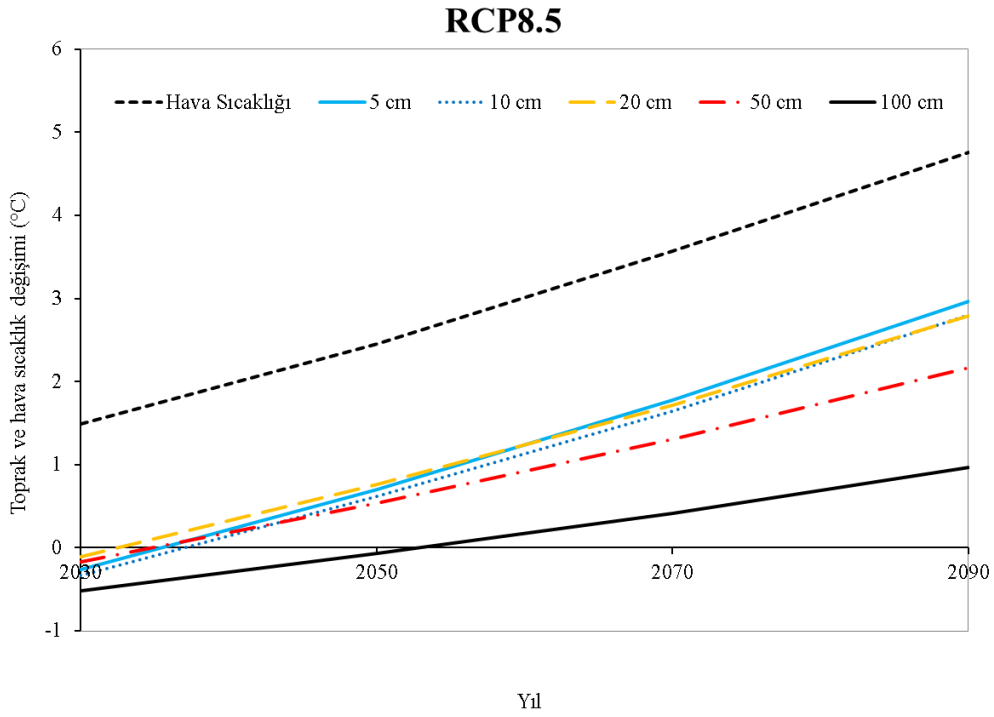
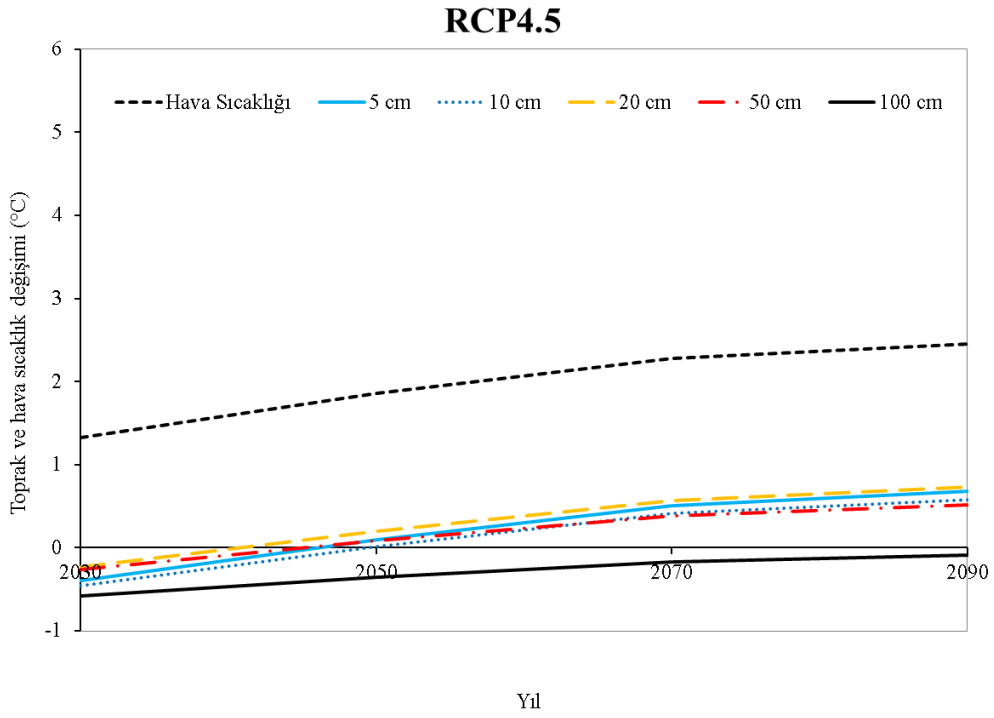
Her iki senaryo altında tüm istasyonlarda gelecek Ts değışimleri sığ toprak katmanında (5-20 cm) daha büyüktür. Bu durum atmosferik etkilerin sığ toprak katmanında daha güçlü olmasından kaynaklanabilir. Havza bütününde kısa, orta ve uzun vadede her iki senaryo altında özellikle 5 cm derinlikteki Ts artışları, genellikle diğer derinliklerden daha büyük çıkmıştır.

Meriç-Ergene Nehri Havzası ve yakın çevresinde derinliklere göre istasyonlar arasında gelecek Ts değışimlerine bakıldığında 5 cm ve 10 cm derinlikte Ts artışları bölgesel açıdan daha yaygındır. Projeksiyon sonuçlarına en güçlü Ts artışları 5 cm'den derine doğru gidildikçe azalmaktadır. Özellikle bu değışimler RCP8.5 senaryosu altındaki Ts model çıktılarında belirgindir. En yüksek Ts artışları sığ derinliğe (5 cm) en düşük toprak sıcaklık artışları ise daha derin derinliğe (100 cm) karşılık gelmektedir. Buna karşın Çorlu, İpsala ve Tekirdağ'da RCP4.5 senaryosu altında en yüksek Ts artışları, küçük değışkenliklerden dolayı 10 cm derinliklerde gözlenmiş olup bu özellik RCP8.5 senaryosu altında Çorlu ve Tekirdağ bölgelerine ait projeksiyon sonuçlarına da yansımıştır. Gelecek en yüksek Ts artışları bağlamında Lüleburgaz TİGEM Ts model çıktısı, diğer tüm istasyonlardan farklılaşmaktadır. Bu istasyonda RCP4.5 senaryosu altında en yüksek Ts artışları, 2090 yılına değin 20 cm derinlikte ortaya çıkmıştır. Tüm bunlara ek olarak 2090 yılına değin gelecek en yüksek ve en düşük toprak sıcaklık artışları arasındaki fark giderek artma eğilimi göstermektedir. Toprak fiziğinden kaynaklı bu özellik daha sıcak bir istasyon olan Tekirdağ'da belirgin şekilde görölmektedir.

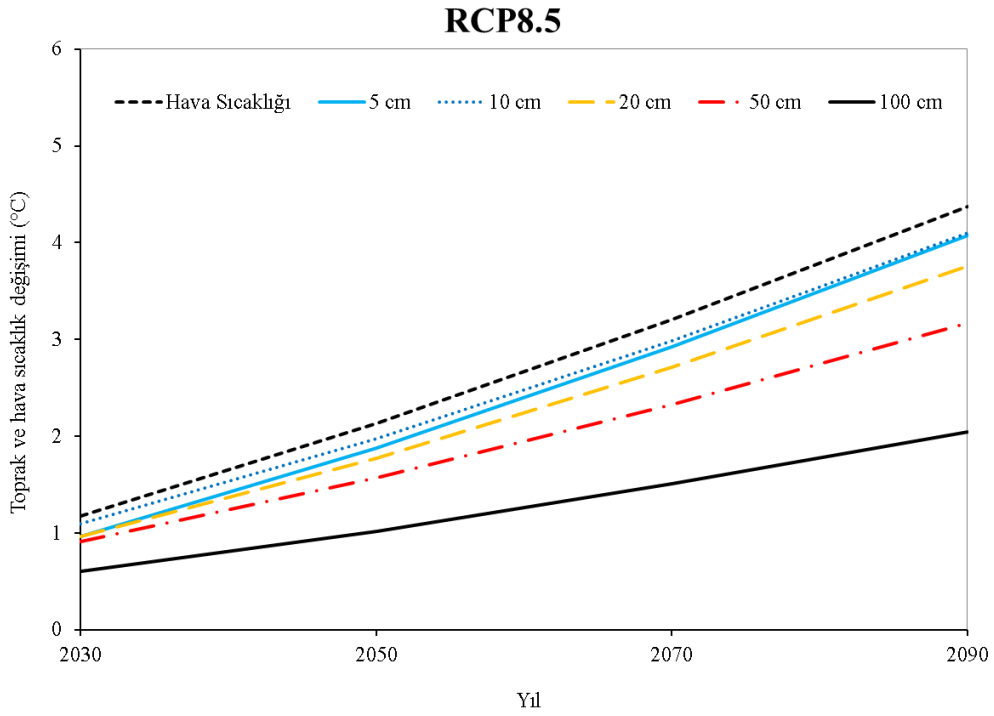
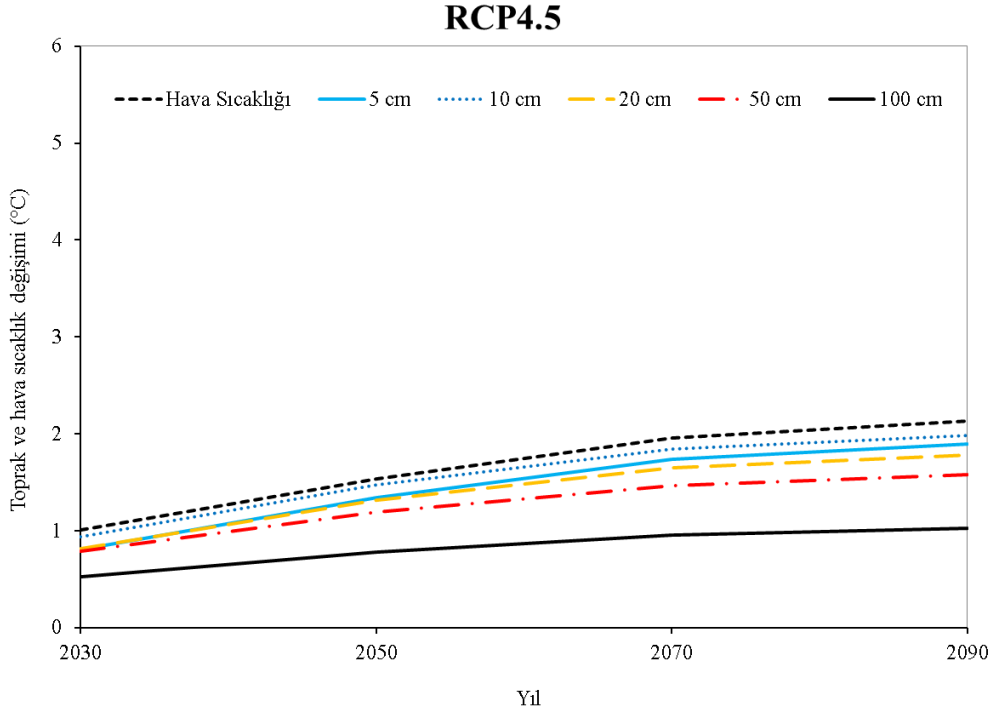
Çalışılan tüm istasyonlarda ve derinliklerde her iki senaryo altında toprak sıcaklığının gelecekteki gidiş deseni hava sıcaklığına paralellik gösterse de artış oranlarının

büyüklüğü arasında genellikle belirgin bir fark vardır. Bu fark zamanla artmakta olup bu durum RCP8.5 simülasyonlarında çok daha belirgindir. Buna ek olarak RCP4.5 senaryosu altında 2090 yılına değin Çorlu, Kırklareli ve Tekrdağ istasyonlarının sıg derinlik katında (5-20 cm) hava sıcaklığı ve toprak sıcaklığının gidişi benzerlik göstermektedir. Aksine özellikle Lüleburgaz TİGEM istasyonlarında bu benzerlik daha azdır.

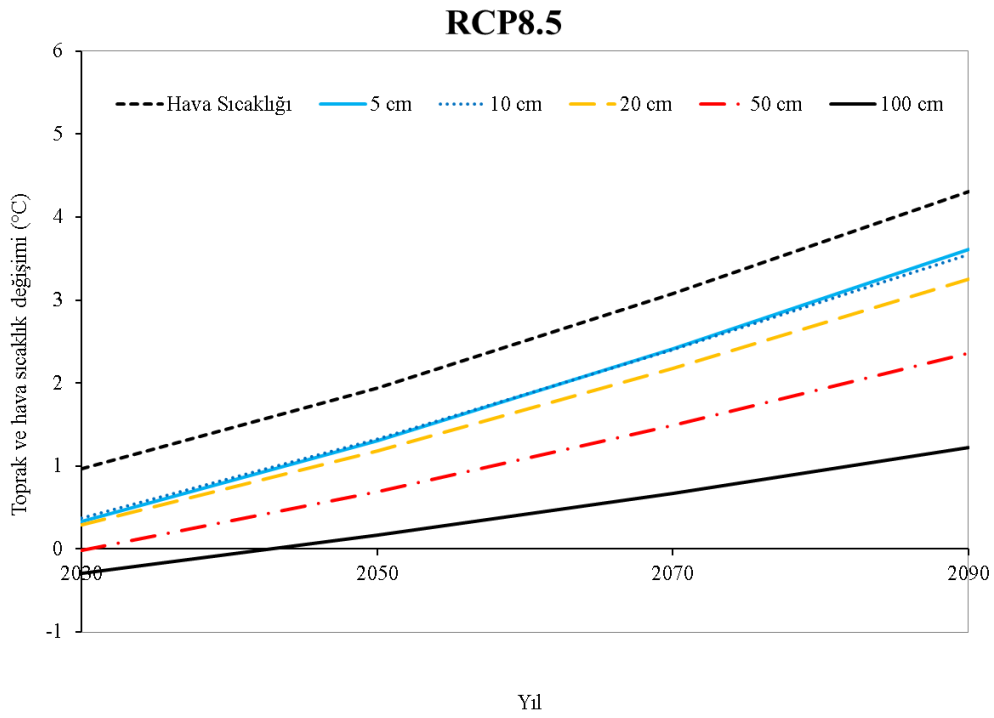
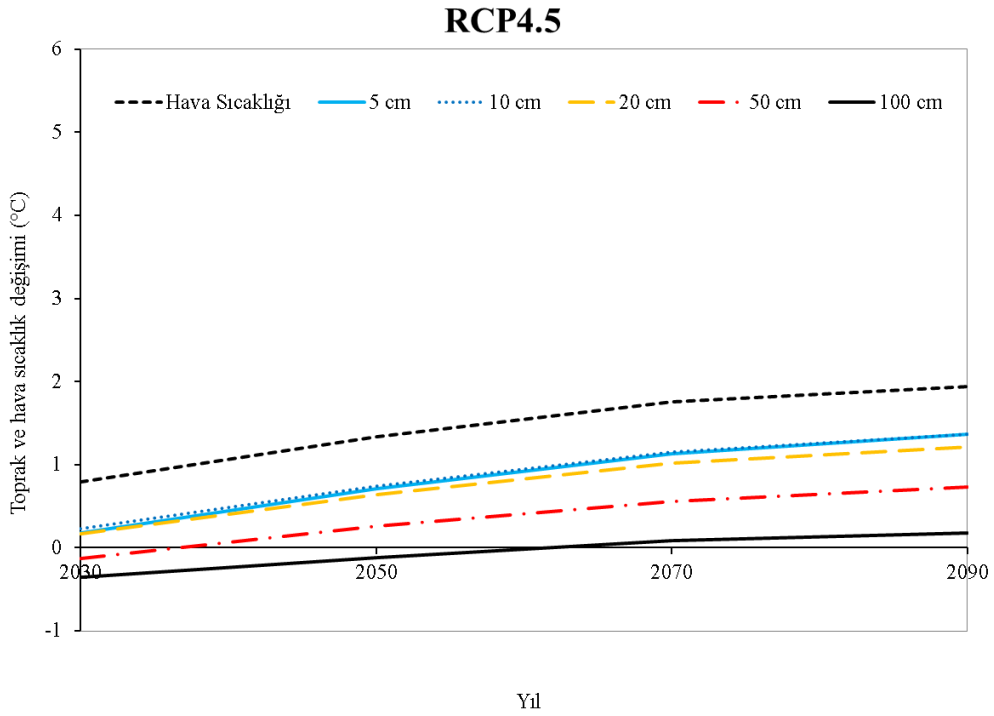
Çalışılan istasyonlarda toprak tekstürü ve organik madde açısından farklı büyüklüklere sahip istasyonlar olsa da benzer kategorilerde yer almaktadırlar. Bu nedenle bu kısmi farklılıklardan kaynaklı gelecek Ts değişimlerine yansıyan belirgin bir etki de gözlenmemiştir. Başka bir deyişle bölgesel bir farklılık yoktur. Şu aşama da toprak tekstürü ve organik maddenin Ts değişimlerini nasıl ve ne kadar etkilediği hakkında net bir şeyler söylemek güçtür. Bununla beraber Çorlu ve Lüleburgaz TİGEM nispeten daha fazla organik madde içermesine ve daha killi bir toprak yapısına sahip olmasına rağmen Lüleburgaz TİGEM istasyonu gelecek toprak sıcaklığı projeksiyonlarında çok farklı bir örüntü ortaya çıkmıştır. Lüleburgaz TİGEM istasyonu Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü (TİGEM) arazisinde yer aldığı için Ts değişimlerinin, antropojenik etkilere (gübreleme ve sulama vs.) daha açık olması beklenen bir durumdur. Gözlenen iklimsel değişimlerin model çıktılarını etkilemesi doğaldır ki diğer istasyonlara nispeten Lüleburgaz TİGEM istasyonu Ts projeksiyonunda kısa vadede Ts azalmaları ve 2090 yılına kadar yüksek Ts-hava sıcaklık farkı ortaya çıkmıştır.



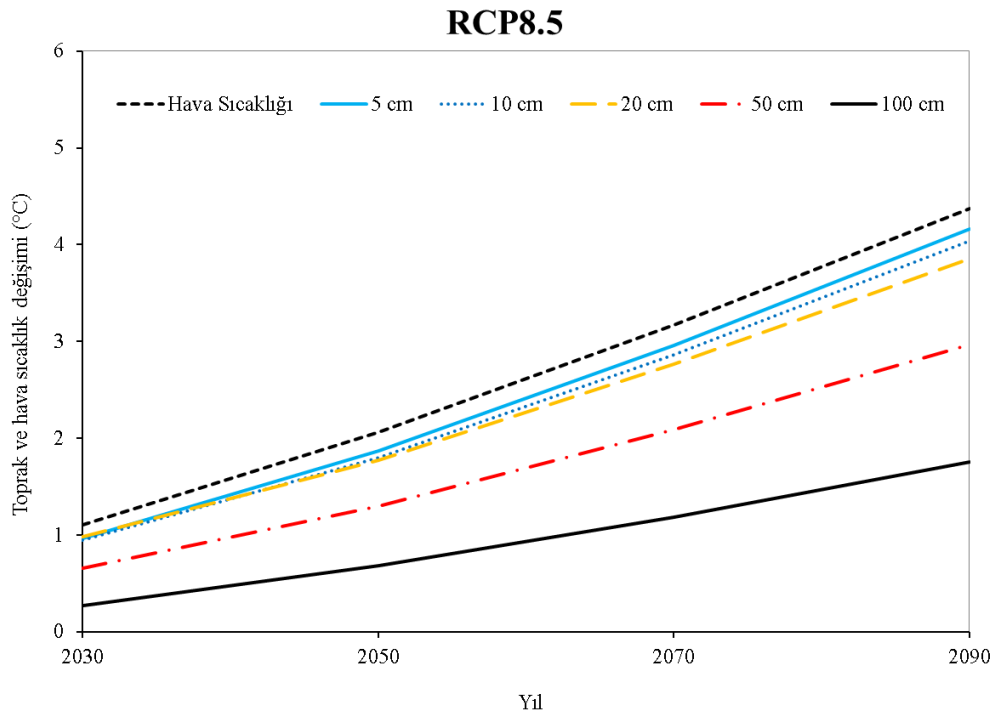
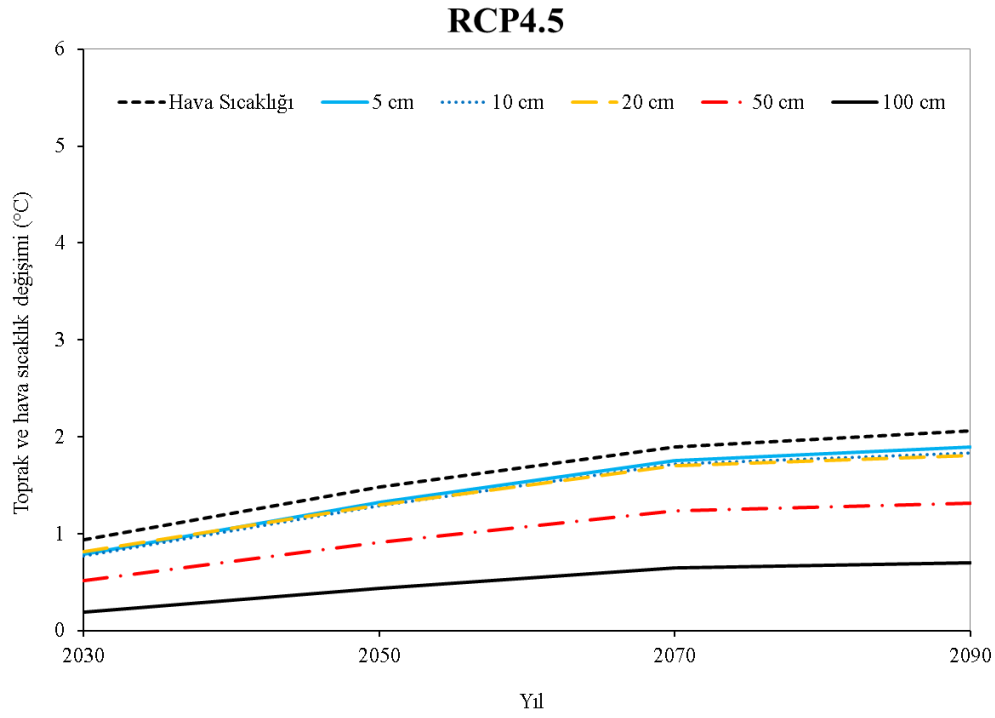
Şekil 74. 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **Lüleburgaz TİGEM istasyonunda** gelecekte toprak sıcaklığı ve hava sıcaklığı projeksiyonlarının değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) kullanılarak belirlenmiştir.



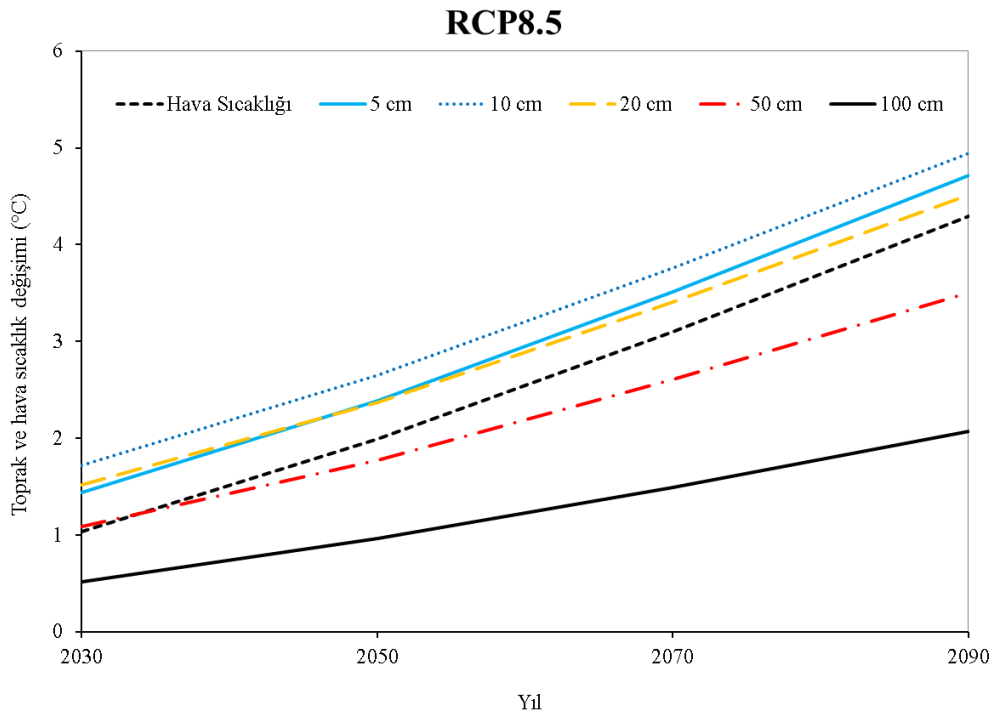
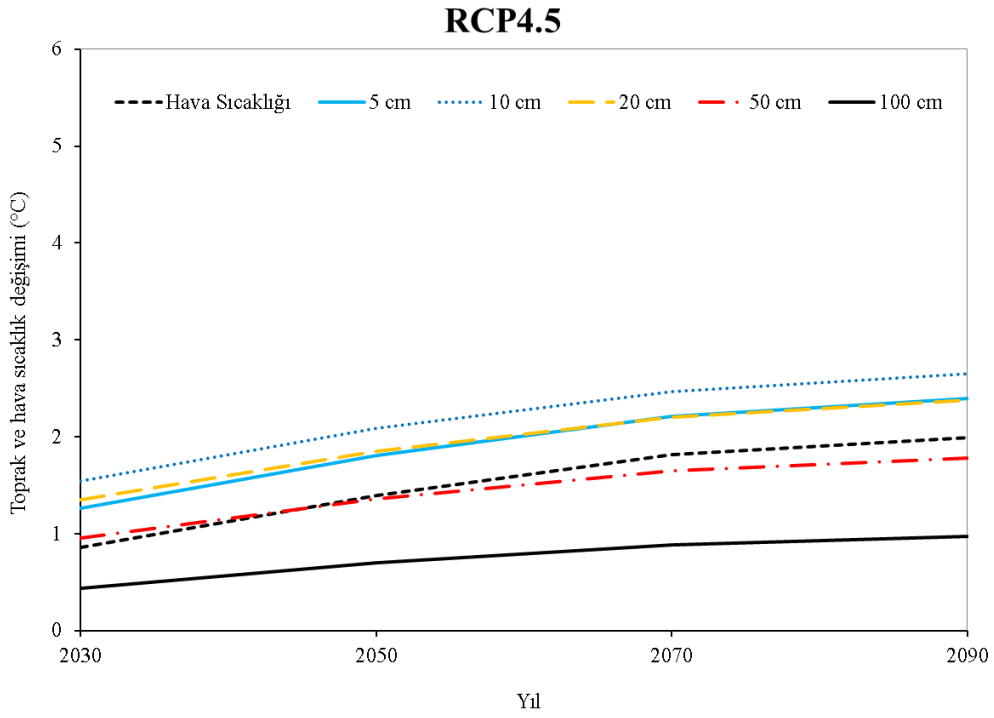
Şekil 75. 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **Çorlu istasyonunda** gelecekte toprak sıcaklığı ve hava sıcaklığı projeksiyonlarının değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) kullanılarak belirlenmiştir.



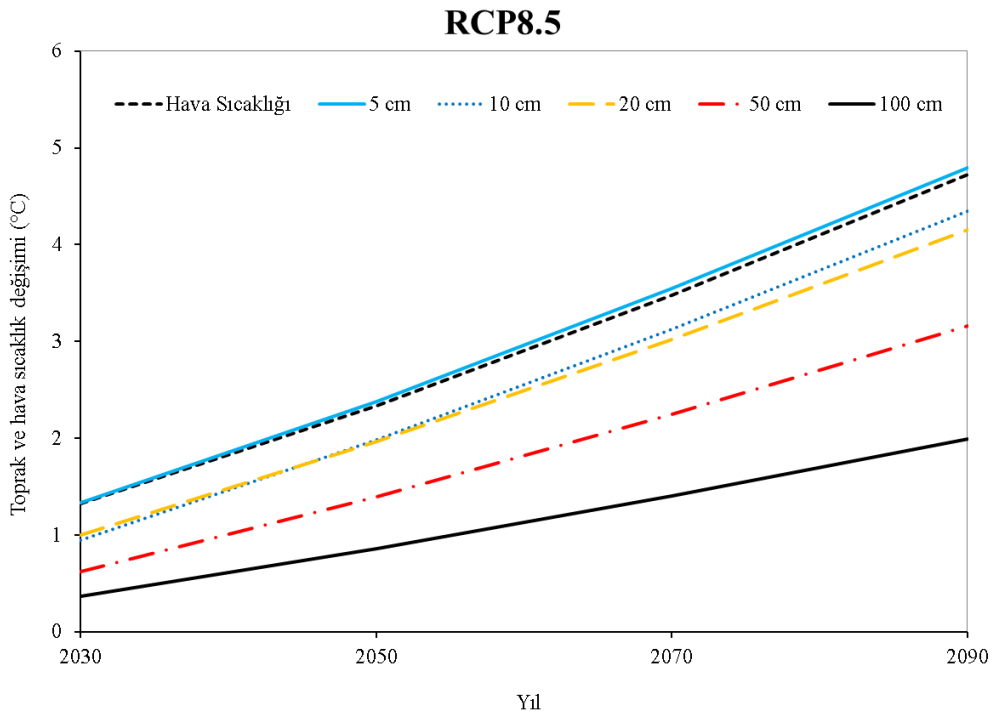
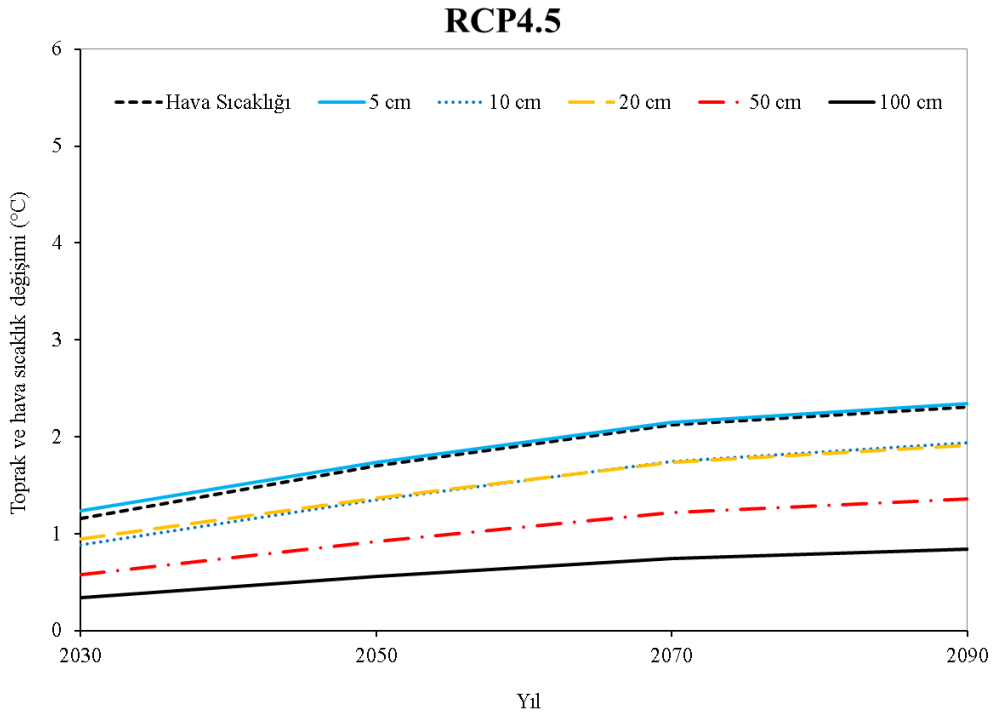
Şekil 76. 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **İpsala istasyonunda** gelecekte toprak sıcaklığı ve hava sıcaklığı projeksiyonlarının değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) kullanılarak belirlenmiştir.



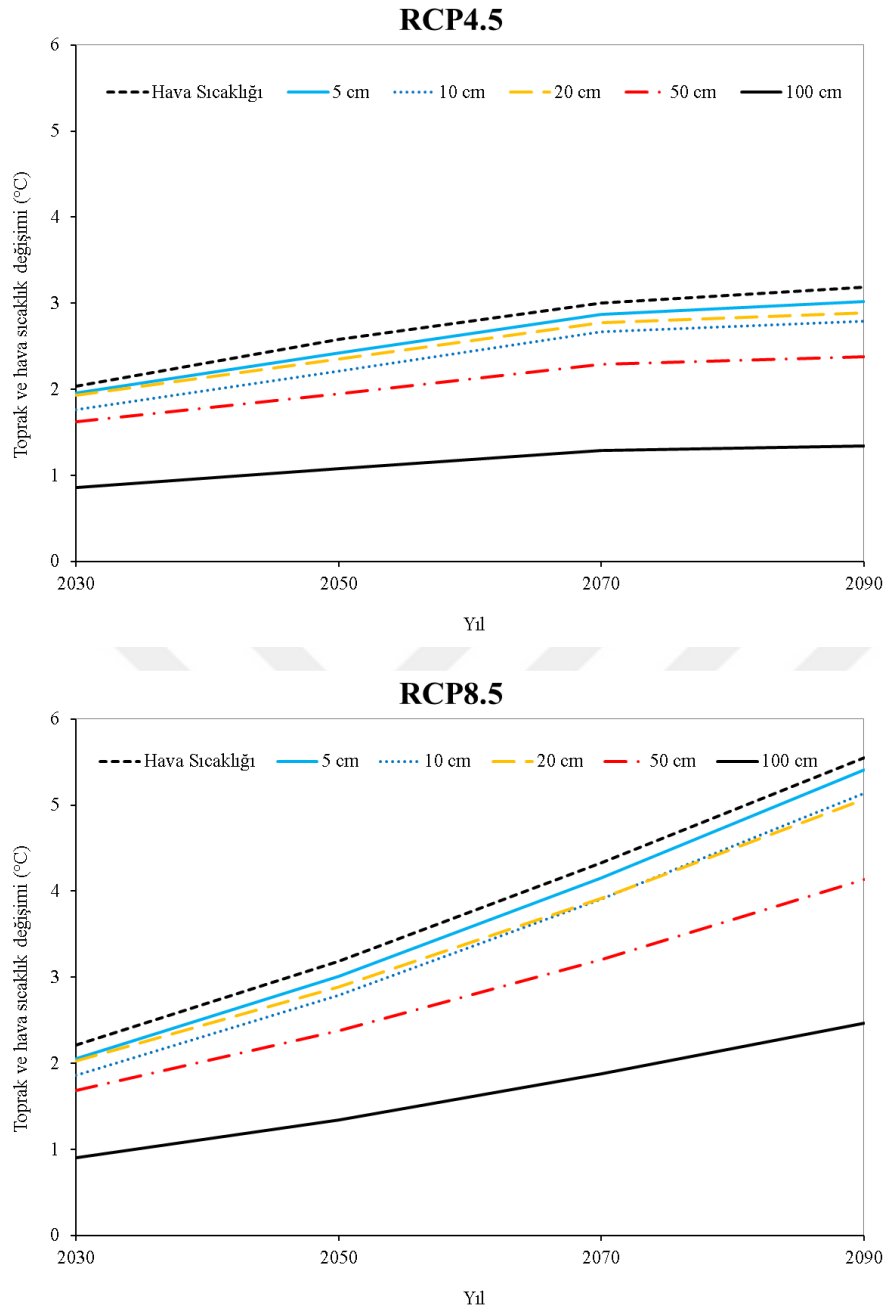
Şekil 77. 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **Kırklareli istasyonunda** gelecekte toprak sıcaklığı ve hava sıcaklığı projeksiyonlarının değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 78. 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **Tekirdağ istasyonunda** gelecekte toprak sıcaklığı ve hava sıcaklığı projeksiyonlarının değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) kullanılarak belirlenmiştir.



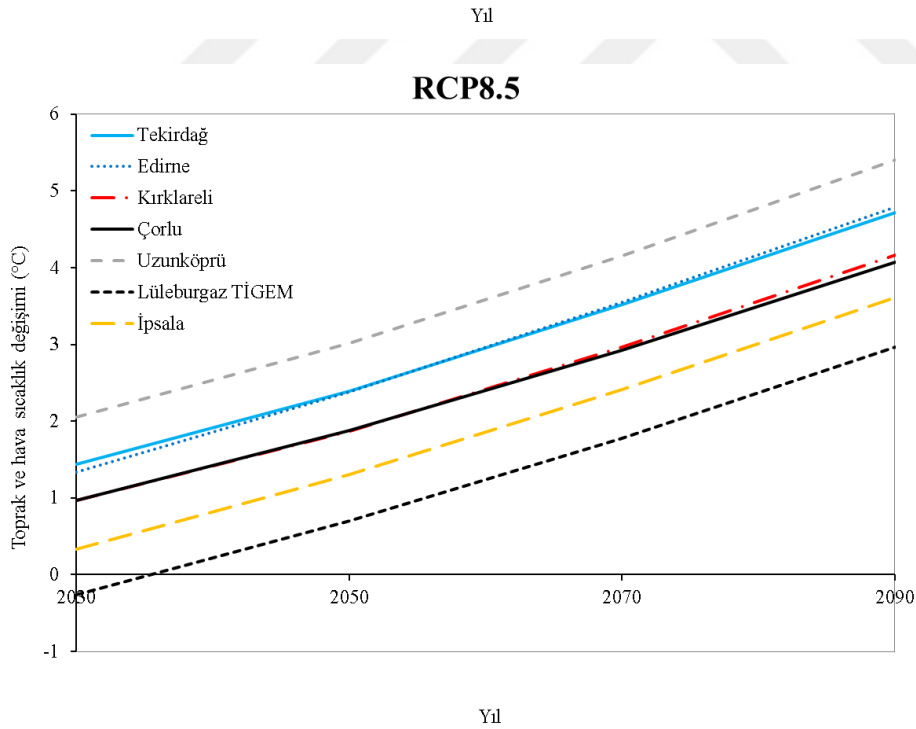
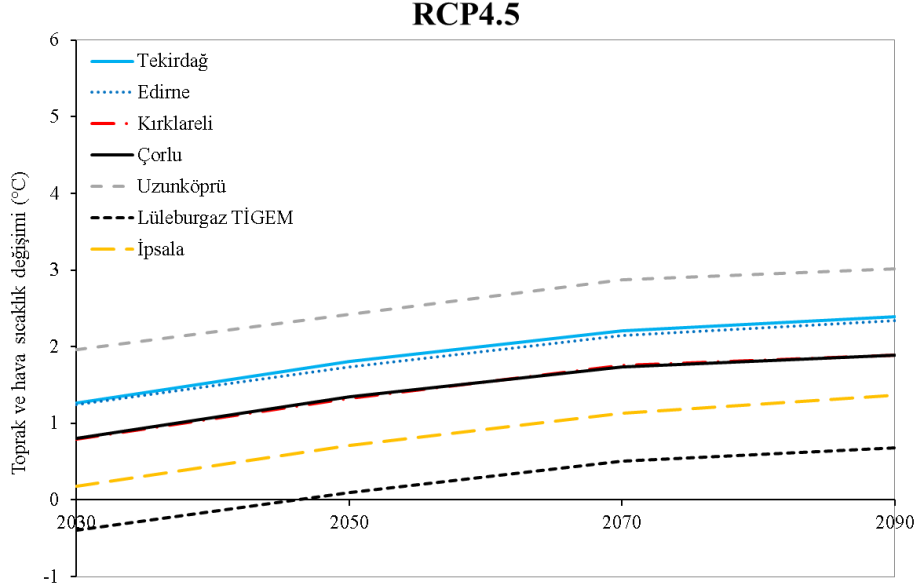
Şekil 79. 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **Edirne istasyonunda** gelecekte toprak sıcaklığı ve hava sıcaklığı projeksiyonlarının değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) kullanılarak belirlenmiştir.



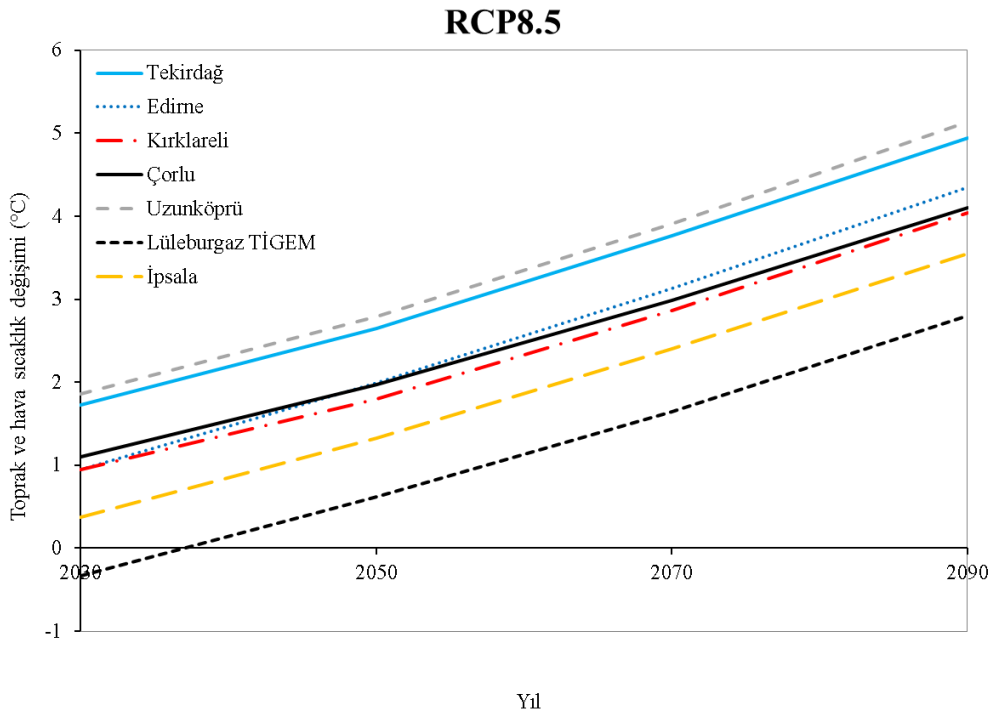
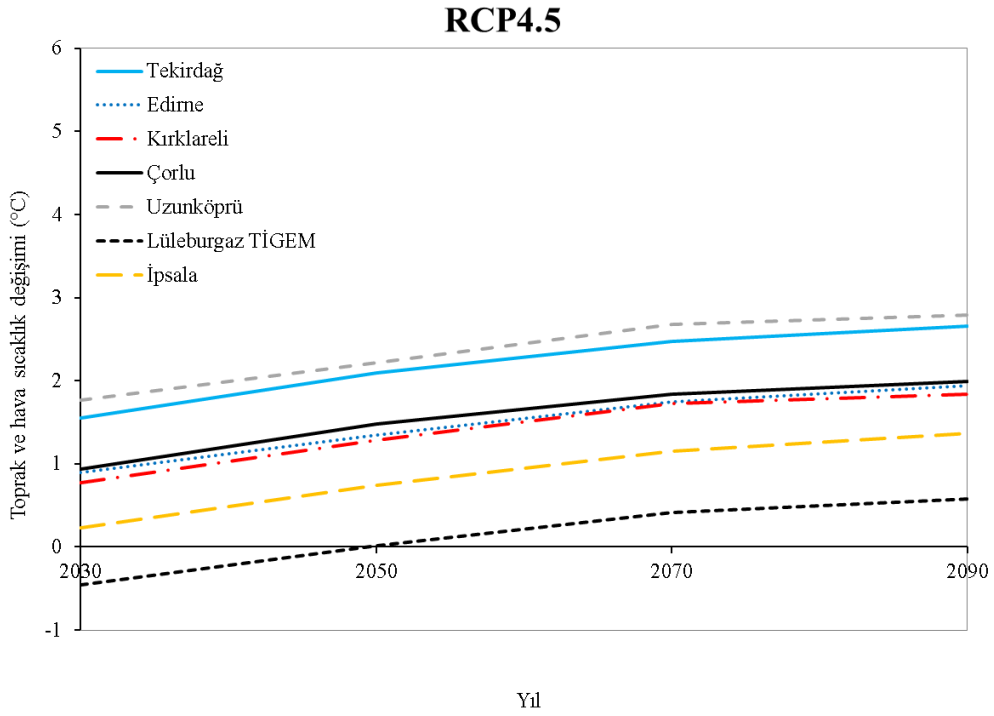
Şekil 80. 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **Uzunköprü istasyonunda** gelecekte toprak sıcaklığı ve hava sıcaklığı projeksiyonlarının değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) kullanılarak belirlenmiştir.

Derinliklere göre istasyonlar arasında gelecek Ts değişimlerine bakıldığında Ts artışları bölgesel açıdan daha homojendir. Kısa, orta ve uzun vade de en güçlü Ts artışları sırasıyla Uzunköprü ve Tekirdağ istasyonlarındadır. Bununla birlikte yapılan

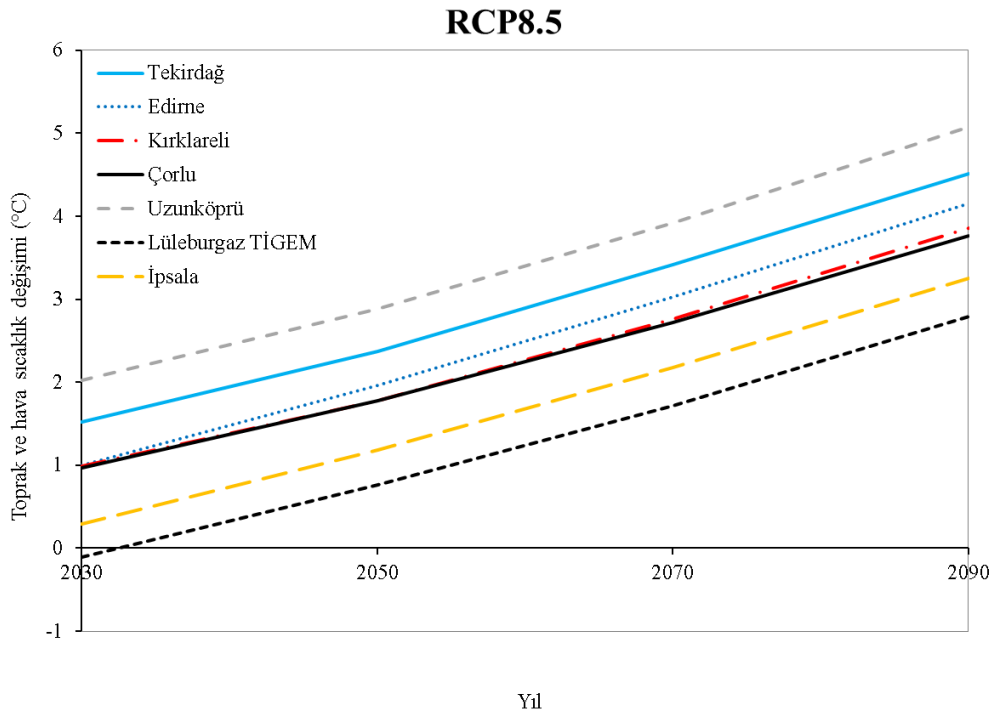
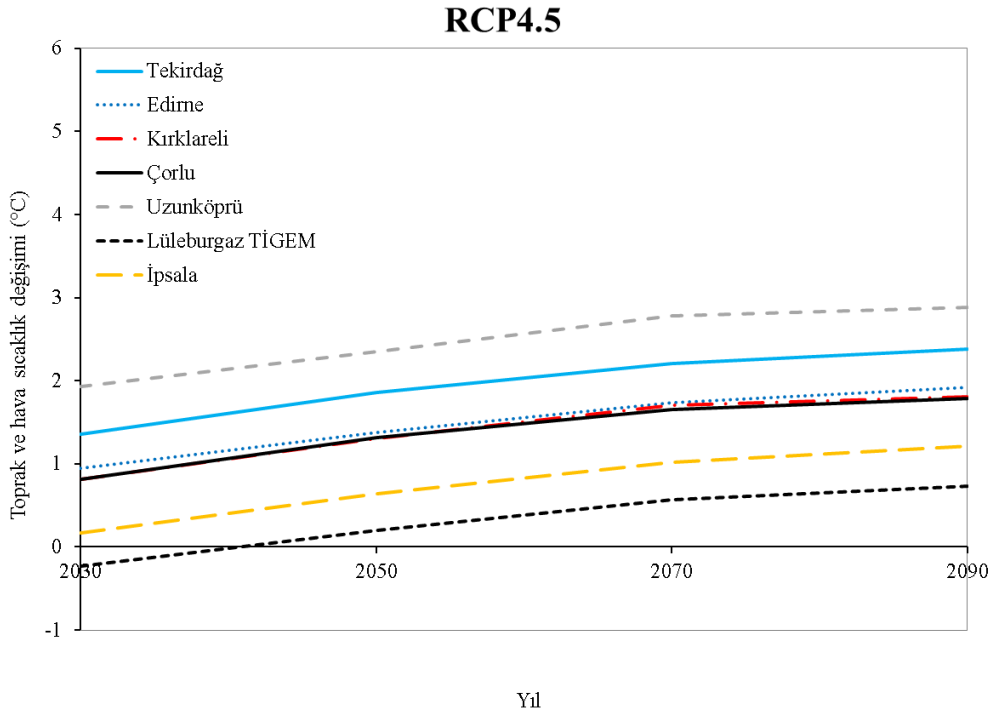
simülasyonlar en az toprak sıcaklık artışının Lüleburgaz TİGEM ve İpsala bölgesinde gerçekleşeceğini göstermektedir (Şekil 81-86).



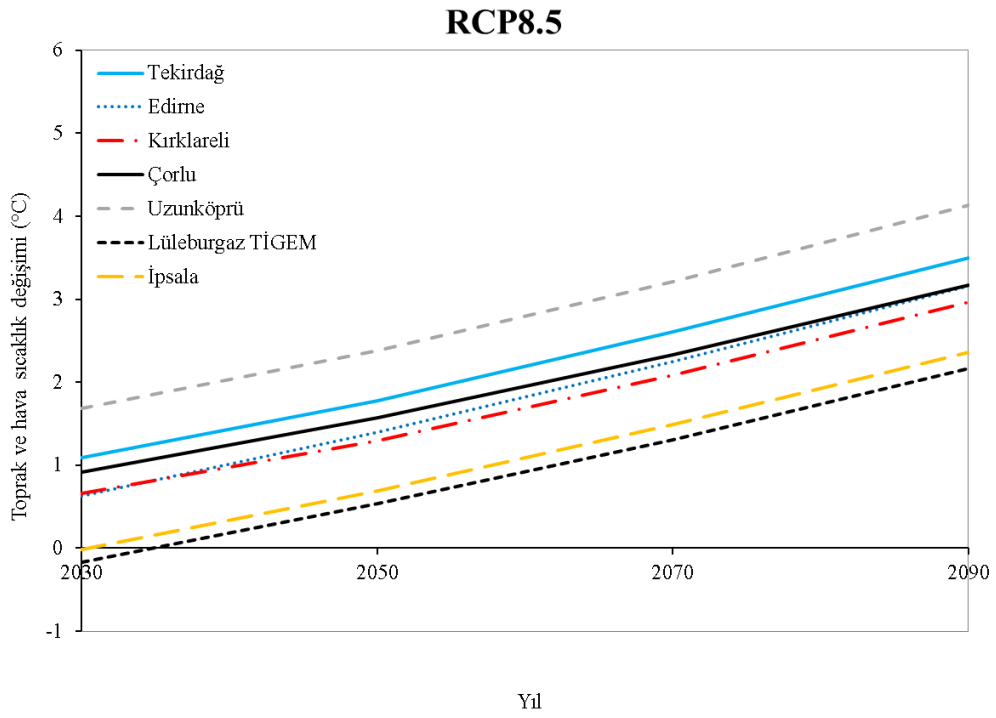
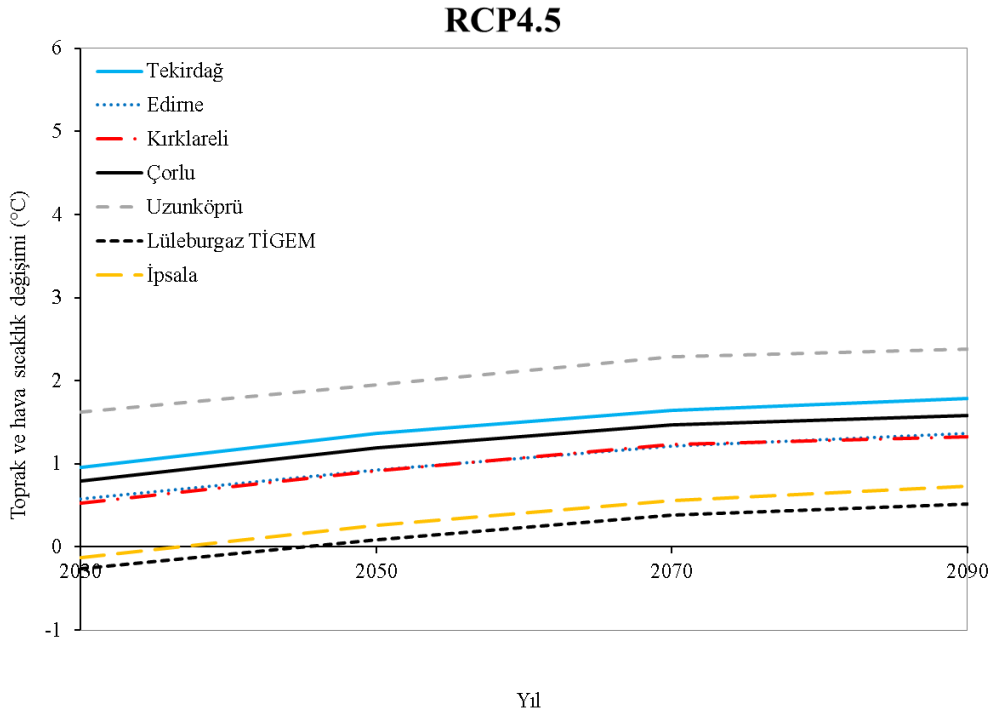
Şekil 81. Çalışılan meteoroloji istasyonlarında 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **5 cm derinlikte** toprak sıcaklıklarının gelecekteki değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) uygulanarak belirlenmiştir.



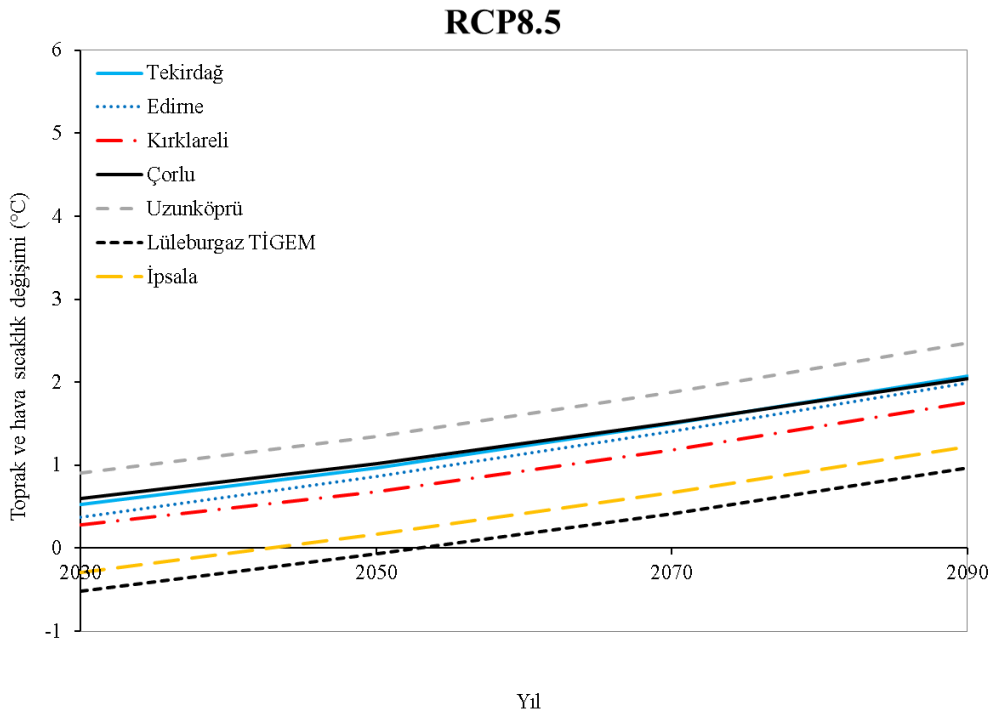
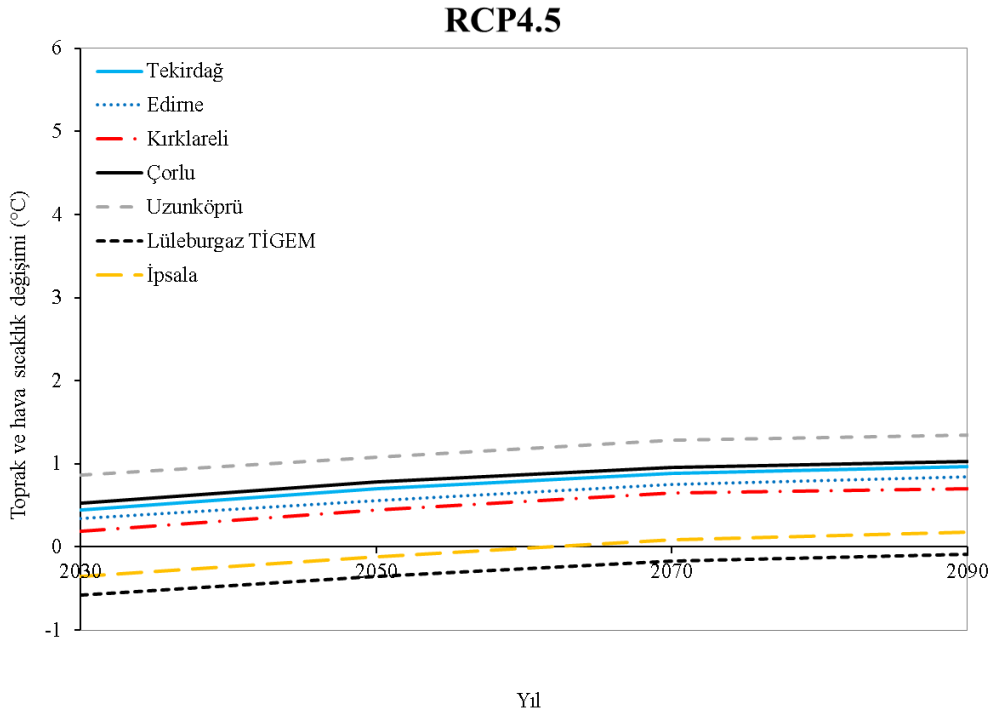
Şekil 82. Çalışılan meteoroloji istasyonlarında 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **10 cm derinlikte** toprak sıcaklıklarının gelecekteki değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) uygulanarak belirlenmiştir.



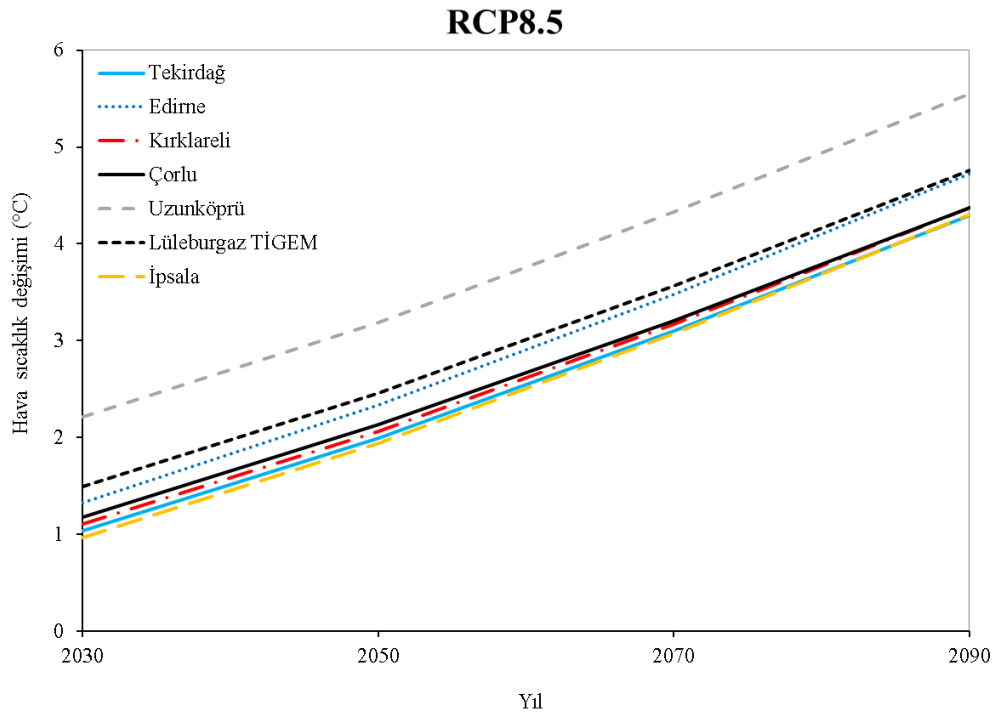
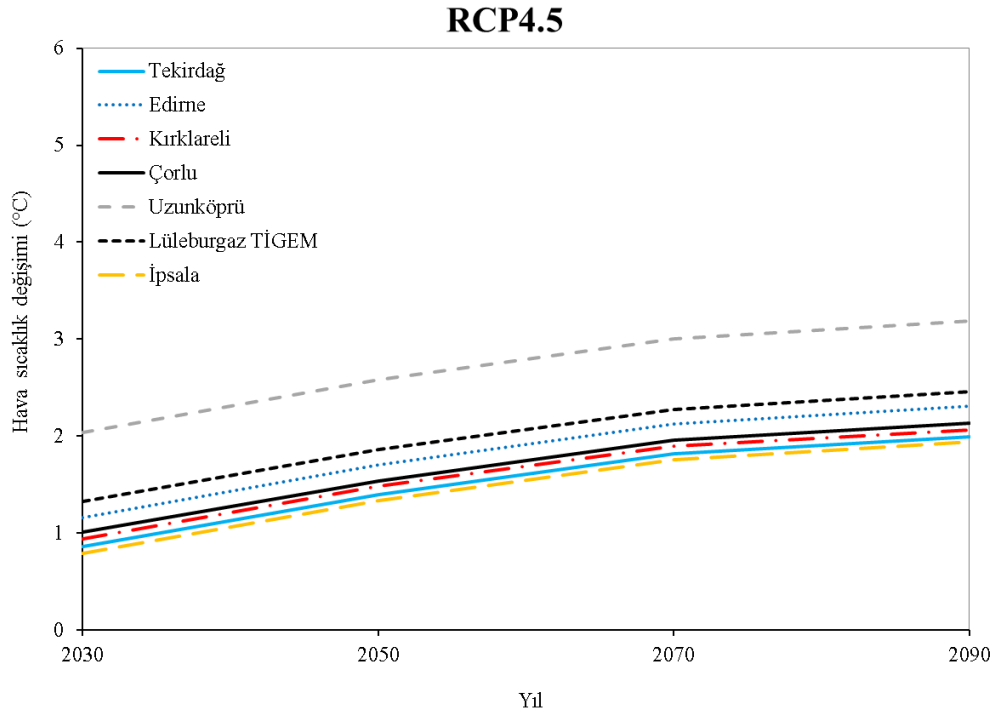
Şekil 83. Çalışılan meteoroloji istasyonlarında 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **20 cm derinlikte** toprak sıcaklıklarının gelecekteki değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) uygulanarak belirlenmiştir.



Şekil 84. Çalışılan meteoroloji istasyonlarında 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **50 cm derinlikte** toprak sıcaklıklarının gelecekteki değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) uygulanarak belirlenmiştir.



Şekil 85. Çalışılan meteoroloji istasyonlarında 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **100 cm derinlikte** toprak sıcaklıklarının gelecekteki değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) uygulanarak belirlenmiştir.



Şekil 86. Çalışılan meteoroloji istasyonlarında 1981-2010 standart referans dönemine kıyasla **hava sıcaklıklarının** gelecekteki değişimi. Değişimler iki Temsili Konsantrasyon Yolu (RCP) ve 17 Genel Sirkülasyon Modeli (GCMs) altında Toprak Sıcaklığı ve Nem Modeli (STM²) uygulanarak belirlenmiştir.

9.5. Tartışma

Ekosistemlerin fonksiyonunu tanımlayan toprak sıcaklık verileri, litosfer-atmosfer-biyosfer geri besleme mekanizmasından dolayı ekoloji, toprak bilimi ve iklim sistemi dinamiği ile bağlantılı pek çok disiplin için kritik öneme sahiptir (Lembrechts, vd., 2022). Buna karşın gelecek toprak sıcaklık verisine yönelik projeksiyonlar, son on yıldır yapılmakta ve bu çalışmalar nicelik açısından yetersizdir. Dolayısıyla dünyada toprağın sıcaklık elemanına yönelik projeksiyon çalışmaları daha yenidir denilebilir (Araghi, vd., 2019; Houle, vd., 2012; Oni, vd., 2017).

Türkiye’de şu ana kadar gelecek toprak sıcaklıklarının bir projeksiyonu yapılmamıştır. Türkiye ölçeğinde ilk kez bu çalışmada ön çalışma alanı olarak Meriç Ergene Nehri Havzası (MENH) ve yakın çevresi seçilmiş ve kısa, orta ve uzun vadede toprak sıcaklık projeksiyonları ortaya konmuştur.

Daha önce Svartberget havzasında kuzey İsveç boreal ormanlarında nehir kıyısı ve yüksek arazileri temsil eden iki toprak profilinde sırasıyla 10 cm, 20 cm, 60 cm ve 12 cm, 20 cm ve 50 cm derinliklerde 2061-90 döneminde toprak sıcaklığı tepkilerinin mekânsal varyasyonlarının incelediği bir çalışma nehir kıyısında 4.7-6.0 °C ve yüksek arazilerde 4.3-5.7 °C arasında bir ısınma aralığı öngörülmüştür (projected) (Oni, vd., 2017). Soğuk ılıman nemli bir iklim ile birlikte kar rejimi ile karakterize edilen kuzey enlem ormanlarında uzun vadede ortaya çıkan bu değişimler ile sıcak ve kurak yazların etkili olduğu Akdeniz iklimi ile karakterize edilen Meriç-Ergene Nehri Havzası ve yakın çevresi için uzun vadede öngördüğümüz toprak sıcaklıklarından oldukça farklıdır. Esasen organik maddenin düşük olduğu özellikle kar yağışları ve kar erimelerinin kuzey enlemler kadar etkili olmadığı Meriç-Ergene Nehri Havzası’nda yıl içinde ve derinlikler arasında toprak ısı değişkenliğinin büyük olması beklenen bir sonuçtur. Başka bir çalışmada, Kanada’da güney Québec’te üç ormanlık alanda 2040–69 dönemi için bildirilen 1.1-1.9 °C Ts sıcaklık artışı (Houle, vd., 2012), Lüleburgaz TİGEM ve Uzunköprü dışında çalışma alanı genelinde RCP4.5 senaryosu altında 2050 yılı Ts projeksiyon sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Buna ek olarak 2070–99 dönemlerinde öne sürülen 1.9-3.3 °C Ts artışı (Houle, vd., 2012), çalışma alanında RCP8.5 senaryosu altında 2070 ve 2090 yılı simülasyon sonuçları ile büyük bir tutarlılık göstermektedir. Bu sonuçlar hem orta enlemler

hem de kuzey enlemlerde gelecek toprak sıcaklık projeksiyonlarının benzer eğilimler sergilemesinin olası olduğuna işaret etmektedir.

Toprak sıcaklıklarındaki artış toprak sistemini büyük ölçüde değiştirebilir. İlk akla gelen etmen ayrışma hızıdır ki bölgesel olarak değişse de tahminlere göre toprak sıcaklığındaki 1 °C'lik artış 0 °C'nin üzerindeki ayrışmada ayrışma oranını %10'a kadar yükseltebilir (Oni, vd., 2017). Ayrışmadaki bu üstel artış hızını dikkate alınması Meriç-Ergene Nehri Havzası ve yakın çevresinde RCP4.5 senaryosu ve RCP8.5 senaryosu altında 2050 yılı Ts projeksiyonuna göre sırasıyla ayrışma oranının bölgesel ölçekte ortalama %10 ve %15 kadar artması anlamına gelmektedir. Avrupa Toprak Bürosu Ağı Avrupa Komisyonu (European Soil Bureau Network European Commission) (2005)'nda öne sürülen tek düze nem koşulları ve karşılaştırılabilir bitki örtüsü kuşaklarında sıcaklıktaki her 10 °C'lik düşüşte ortalama organik maddenin 2-3 kat artacağı dikkate alındığında kabaca Meriç-Ergene Nehri Havzası ve yakın çevresinde RCP4.5 senaryosu ve RCP8.5 senaryosu altında 2050 yılı Ts projeksiyonuna göre sırasıyla organik maddenin %0.7-%1.5 arasında ve %0.5-%1.3 arasına düşeceğini tahmin etmek zor değildir. Organik maddenin zaten düşük olduğu (%1-2) havzada toprak sıcaklık artışlarına bağlı olarak organik maddenin daha da düşmesi doğal olarak toprağın su tutma kapasitesi daha da azalması anlamına gelmektedir. Bu süreçte toprağın bir diğer kimyasal özelliği olan katyon değişim kapasitesinin azalması da beklenen bir durumdur (Onwuka ve Mang, 2018). Toprak sistemindeki bu değişimler kuşkusuz havzada gözlenen buğday-ayçiçeği-kanola-arpa bitki üretim desenini değiştirecektir. Tarihsel kayıtlardaki günlük ve aylık ortalama toprak sıcaklığı eğilimleri ve kısa ve orta vadede hava sıcaklığı ve toprak sıcaklığına ilişkin projeksiyonlar, havzada son yıllarda yaygınlaşan kanola ekimlerinin Edirne ve Kırklareli çevrelerine yaygınlaşabileceği, ayçiçeği tarım alanları pahasına kanola tarım alanlarının genişleyebileceğine işaret etmektedir. Konjoktürel koşullar dikkate alındığında (Trakya Kalkınma Ajansı, 2013) Meriç-Ergene Nehri Havzası'nda toprak ve hava sıcaklıklarında gözlenen ve öngörülen bu değişimlerin bu üretim sürecini teşvik etmesi kuvvetli ihtimaldir.

MENH ve yakın çevresinde aşırı toprak sıcaklıklarına en açık alan Edirne'dir. Çünkü RCP8.5 senaryosuna göre 2090 yılında 1981-2010 dönemine kıyasla aşırı toprak sıcaklıklarının süresinde ciddi bir artış öngörülmüştür. Bu bilgi sadece ayçiçeği tarımında

değil bölgede üretimi yapılan çeltik ve buğday ürünlerinde de yüksek sıcaklık stresine karşı önlemlerin geliştirilmesi açısından önemlidir. Bununla birlikte, bu istisnai koşullar dışında, diğer tüm yerler için yapılan aşırı toprak ve hava sıcaklık projeksiyon çıkarsamaları kısa ve orta vadede, buğday ve çeltik ile birlikte, ayçiçeği tarımını teşvik etmektedir.

Agroklimatolojik sonuçlar bağlamında bölgede gelecekte vejetasyon süresinde öngörülen uzamayı, toprak ya da kök sıcaklığı destekleyecektir. Başka bir deyişle öngörülen vejetasyon süresi, toprak sıcaklık artışlarından dolayı daha da uzayacaktır. Projeksiyon sonuçlarına göre bu artışın önümüzdeki 70 yılda devam edeceği ancak özellikle 2030 yılından 2050 yılına gelindiğinde bu artışın daha kuvvetli olacağı çıkarımında bulunulabilir. Bitkilerde ek üreme ısısı anlamına da gelen bu koşulların bitki fenolojisinde değişimleri ya da kaymaları da desteklemesi olasıdır. Bununla birlikte hava sıcaklıklarından farklı olarak RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında STM² model sonuçlarına göre 5 °C/8 °C ve üstü toprak sıcaklık kriterlerine dayalı vejetasyon süresinde, 1981-2010 referans iklim dönemine kıyasla kısa vadede (2030 yılı), İpsala ve Çorlu istasyonlarında kısılma öngörülmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre 5 °C/8 °C üstü toprak kriterlerinde İpsala'da bu azalma %18/0.2 oranında olup RCP8.5 senaryosunda Çorlu'da bu azalmalar %10.1/0.5 oranında değişmektedir.

MENH ve yakın çevresinde gelecek 70 yılda toprak ve hava sıcaklık artışları beraberinde ayçiçeği yetiştirme periyodunun yani büyüme sezonunun kısılmasını beraberinde getirmektedir. Bu sonuç ayçiçeği üretim bölgelerinin 21. yy içerisinde dar ekim pencerelerine sahip olacağına işaret etmektedir. Bu fenolojik değişimler ayçiçeği üretiminde net sulama ihtiyacının artması ve doğal olarak ekim tarihlerinde değişikliğe gidilmesi anlamına da gelmektedir (Ding, vd., 2020). Bununla birlikte çalışma alanı bütününde (Edirne istasyonu hariç) RCP4.5 senaryosuna göre kısa ve orta vadede RCP8.5 senaryosuna göre kısa vadede yetiştirme periyodunda belirgin bir uzama öngörülmektedir ve bu sonuç ayçiçeği üretimi için nispeten daha olumludur.

Gelecekte nisan ayı 8-10 °C toprak sıcaklık koşulları sıcaklık artışlarından dolayı ortadan kalkmaktadır. Dolayısıyla ayçiçeği tohumlarının optimum çimlenme süresine yönelik yapılan öngörüler, MENH ve yakın çevresinde yeterli toprak nemi olduğu

takdirde kısa vadede ayçiçeği ekim tarihinin erkene (mart başı ve ortasına) kaymasını teşvik etmektedir. Kısacası optimum ayçiçeği çimlenme koşullarındaki değişim, ayçiçeği tarımının sürdürülebilirliği açısından olumludur ancak gıda güvenliği açısından bakıldığında bu olumluluğun tarımsal yönetim uygulamaları, iklime uyarlanmış genotiplerin ıslahı ve genetik biyoçeşitliliğin artırılması yoluyla sağlanabileceği unutulmamalıdır (Fatima, vd., 2020).

MENH ve yakın çevresinde aşırı toprak sıcaklıklarına ($> 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$) en açık alan Edirne'dir. Çünkü RCP8.5 senaryosuna göre 2090 yılında 1981-2010 dönemine kıyasla aşırı toprak sıcaklıklarının süresinde ciddi bir artış öngörülmüştür. Bu bilgi sadece ayçiçeği tarımında değil bölgede üretimi yapılan çeltik ve buğday ürünlerinde de yüksek sıcaklık stresine karşı önlemlerin geliştirilmesi açısından önemlidir. Bununla birlikte, bu istisnai koşullar dışında, diğer tüm yerler için yapılan aşırı toprak ve hava sıcaklık projeksiyon çıkarsamaları kısa ve orta vadede, buğday ve çeltik ile birlikte, ayçiçeği tarımını teşvik etmektedir.

Şu ana kadar iklim değişikliği araştırmalarında toprak sıcaklığı bu araştırmadaki kadar detaylı bir şekilde analiz edilmemiştir. Toprak sıcaklıklarına yönelik ulaştığımız spesifik trend sonuçları gibi projeksiyon sonuçları da Türkiye agroklimatolojisine ve Türkiye fiziki coğrafyasına önemli katkılar sunmaktadır. Gelecekte tarihsel veriler ile birlikte yeniden analiz verileri, arazi ölçümleri ve uydu görüntüleri birlikte kullanılabilir. Böylelikle alansal ve zamansal çözünürlüğü yüksek veriler elde edilebilir. Elde edilen bu veriler, Ts ile birlikte toprak nemi-ayırışma hızı-organik madde ve katyon değişim kapasitesi gibi etmenler arasındaki ilgi ve bağlantıların anlaşılmasında kullanılabilir. Kuşkusuz gelecekte küresel ısınma ile birlikte artan kuraklık, çölleşme ve erozyon tehdidi altındaki yüksek riskli alanlara yönelik yapılacak kırılganlık analizleri ve bölgesel ölçekte oluşturulacak adaptasyon stratejileri, tarımsal yönetimin ve tarımsal sürdürülebilirliğin sağlanmasını destekleyecektir.

ONUNCU BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada, toprak sıcaklığını (Ts) etkileyen etmenler, genel karakter (tanıtıcı istatistiklere dayalı), kritik derinlikler ve kritik sıcaklıklar, toprak donu, Ts rejimi, eğilim (trend) ve projeksiyon şeklindeki araştırma alanları ile Türkiye’de toprak sıcaklıklarının değişimi güncel (1975-2018) ve gelecekteki (2030-2090) şekliyle incelenmiştir.

Bu araştırmada Türkiye’de toprak sıcaklıklarının değişimini ortaya koymak amaçlanmıştır. Çalışma boyunca güncel ve gelecek Ts rejiminde soğuk ve don koşullarından daha sıcak koşullara geçiş ile birlikte yerel ölçekteki toprak soğumaları dışında Türkiye genelinde toprak ısısında ciddi artışların devam edeceği öngörüsü nedeniyle toprak kullanımında ve ürün planlamasında Ts değişimlerinin dikkate alınması ve yakından izlenmesi gerektiği savunulmuştur. Araştırmanın sonuçları tanımlanan alt amaçlara göre aşağıda belirtilmiştir:

Türkiye’nin Ts istatistiklerinde gözlenen iki alansal örüntü, toprak sıcaklığını şekillendiren iklimsel ve coğrafi etmenler hakkında önemli ipuçları vermiştir. Hs ile Ts arasında önemli yüksek düzeyde ilişkiler tespit edilmiş olmakla birlikte toprak sıcaklıkları hava sıcaklıkları kadar yükseltiye bağlı değildir. Aylık değişimlerde enlemsel örüntü boylamsal örüntüden daha baskındır. Bu enlemsel dağılışı ülkenin doğu kesiminde yükselti ve karasallık nedeniyle değişkenliğin artmasından kaynaklı bozulmaktadır. Bu durum doğuda izoamplitüd değerlerindeki artışa ve doğu Anadolu’da Ts ile Hs arasındaki farkın yüksekliğine de yansımıştır.

5 ve 10 cm derinliklerde en düşük mutlak minimum Ts değerleri karasal iklimin görüldüğü bölgelerde gözlenmiştir. 5 cm derinlikte en yüksek mutlak maksimum değerleri Güneydoğu Anadolu Bölgesinde gözlenir iken 10 cm derinlikte bu özellik Ege ve Akdeniz kıyılarına kaymıştır. Burada 5 cm derinlikte Yüksekova, spesifik olarak hem en düşük mutlak minimum hem de en yüksek mutlak maksimum değerlerinin gözlendiği bir alan olmuştur. Toprak kullanımı açısından önemli olan 50 cm derinlikte ortalama sıcaklığın ≤ 5 °C olduğu en uzun devrenin sırasıyla Ardahan, Tatvan, Doğu Karadeniz kıyı ardı ve İç

Anadolu Bölgesi'nin doğu kesiminde ortaya çıkması yükselti dışında planeter etmenlerin (polar hava kütlelerinin) hâkimiyetini göstermiştir.

Dağlık alanlarda (+1500 m) toprak sıcaklığına dayalı don penetrasyonunun 1 metreden daha fazla olduğu analizlerle ortaya konmuştur. Van Gölü gibi geniş yüzeylere sahip su kaynakları, çevresine göre don oluşma olasılığı ve don şiddet olasılığının zayıflamasına yol açmıştır. Bununla birlikte 5 cm derinlikte donlu günlerin sayısı son 10 yılda azalma eğilimi göstermekte olup şiddetli don olayları kuzeydoğu Anadolu'da dar bir alanda etkindir. Bu koşullar Türkiye'nin doğu yarısında yüksek basınç koşullarının etkin olmaya başladığını akla getirmektedir.

Türkiye'nin Ts rejiminde don devresi, grafiksel klasik yaklaşıma göre kasım-şubat dönemi olup bu evre iç kesimlerde 2 aylık periyodu kapsar iken (ocak ve şubat) kuzeydoğu Anadolu'ya doğru gidildikçe uzamaktadır (4 ay, kasım-şubat). Bu aşırı değerler toprakta 90 cm'ye kadar etkili olmaktadır. Aksine yüksek Ts (35 °C ve üstü), temmuz ve ağustos döneminde Türkiye'nin önemli tarımsal alanlarında (Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Çukurova'da) etkin olup bu aşırı değerler 80 cm'ye kadar erişmektedir. Toprak Taksonomisi'ne göre Türkiye, frigid (soğuk), mesic (orta), thermic (sıcak) ve hyperthermic (çok sıcak) sıcaklık rejim bölgelerine sahip olmakla birlikte sıcak toprağa ya da orta toprağa sahip alanlar geniş yer kaplamaktadır. Bununla beraber küresel iklim değişikliğinden kaynaklı 1994 yılından sonra Türkiye genelinde hâkim olan orta Ts rejim tipi yerini sıcak rejim tipine bırakmıştır. Üstelik orta Ts rejimi pahasına çok sıcak rejimi de etki alanını ve frekansını arttırmaktadır. Özellikle son 10 yıldır bu eğilimler daha belirgin hale gelmiştir.

Aylık ortalama hava sıcaklıklarında tüm istasyonlarda trendler artış yönündedir. Mart ve ağustos dışında diğer aylarda sadece birkaç istasyonda anlamlı olmayan azalma eğilimleri vardır. 5 cm'de aylık ortalama Ts trendleri Hs trendlerinden farklılık göstermektedir: Ts'de nisan-ekim döneminde (yani 7 ayda) önemli azalış eğilimleri ($a = 0.05$) vardır. Bu azalışların %25'i eylül ayında gerçekleşmiştir. Genel olarak toprak sıcaklığındaki artış trendinin önemi ve büyüklüğü hava sıcaklığına nazaran düşüktür. Ts'de trendin bölgesel değişkenliği daha yüksektir. Ortaya çıkan negatif yönlü trend eğilim bölgeleri Anadolu'nun doğusunda ve güneybatısında yoğunlaşmaktadır. Bu bölgeler

haziran-ekim döneminde belirginleşmiştir. 10 cm derinliğe geçişte Ts trendinin davranışı 5 cm ile tutarlılık göstermiştir ancak trendin bölgesel değişiminde bazı farklılıklar da ortaya çıkmıştır: 10 cm’de Türkiye’nin iç kesimlerinde anlamlı pozitif yönlü trendler daha büyüktür. Trendin yıllık değişimi daha yüksektir ve geniş alanları etkilemiştir. Bu durumu, 0.08-0.12 °C/yıl trend kuşağındaki genişleme göstermiştir. Pozitif trend bölgelerindeki bu değişimler 50 cm derinliğe değin devam etmekle birlikte anlamlı negatif trend bölgesinde de toprak ısınması şeklinde belirgin bir değişim vardır. Bu değişim şudur ki haziran-eylül döneminde Van Gölü’nün kuzeyi ve batısında gözlenen negatif eğilim bölgesi ortadan kalkmış yerini anlamlı olmayan negatif eğilimleri almıştır. 50 cm’den 100 cm derinliğe geçişte trendlerde şöyle bir farklılık vardır: Ocak, şubat, kasım ve aralıkta yerel ölçekte pek çok yerde anlamlı düşük oranlı Ts azalışları ortaya çıkmıştır.

İTA test sonucu ile MK test sonucu tutarlılık göstermekle birlikte İTA yıllık ortalama Ts test sonuçlarına göre spesifik olarak Tekirdağ’da yüksek değer grubunda; Şanlıurfa’da düşük değer grubunda ve Tatvan istasyonunda orta değer grubunda bir azalış trendi tespit edilmiştir. Bununla beraber İTA test sonucuna göre incelenen istasyonlardan sadece Tatvan istasyonu 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan anlamlı bir azalış sergilemiştir. Gerek hava gerekse Ts artış trendlerinde trendin başlangıç yılı 2000’li yıllarda, özellikle de 2010’lu yıllarda toplanmıştır.

Günlük Hs ve Ts trendin davranışı bölgeden bölgeye değişmektedir. Bununla birlikte Türkiye’de Ts MK Z-değerleri, daha sıcak aylarda ve daha kurak bölgelerde (Bsk) yani Karasal İç Anadolu’nun büyük bölümünde ve Mardin Platosunda Hs MK Z-değerlerinden daha büyüktür. Akdeniz ve Ege kıyılarında günlük Ts ve Hs MK-Z değerlerindeki gidiş Ceyhan’da farklılaşmaktadır ki diğer kıyılara nazaran neredeyse tüm aylardaki günlük MK-Z değerleri pozitifdir. Ayrıca bu yerde ekimin son haftası, kasım-şubat döneminde tespit edilen Ts MK-Z değerleri, Hs MK-Z değerlerinden daha büyüktür. Bu ayırt edici özellik dışında Akdeniz ve Ege kıyılarındaki tüm istasyonlarda ocak-ağustos döneminde MK-Z değerleri pozitif bir davranış sergilemektedir.

Mann-Kendall testi dışında İTA günlük trend test sonuçlarına göre Karadeniz kıyılarında ve iç kesimlerde sırasıyla orta-yüksek Ts değerlerinde (30-35 °C) ve orta değerlerde (15-30 °C); Edirne’de yüksek Ts değerlerinde (35-40 °C); Ankara’da çok düşük

Ts değerlerinde (< -5 °C); Tatvan'da düşük ($-5-0$ °C), orta-düşük ($0-15$ °C) ve orta değerlerde ($15-30$ °C) ve Şanlıurfa'da 41 °C üstü Ts değerlerinde belirgin bir azalma tespit edilmiştir. Aksine Mersin ve Alanya'da yüksek ve çok yüksek Ts değerlerinde (> 40 °C) normal dışı artışlar ile birlikte Karadeniz kıyı gerisinde ve Ardahan'da çok düşük Ts değerlerinde belirgin artışlar dikkati çekmektedir.

Toprak sıcaklıklarında güncel dönemde gözlenen bu artışların gelecekte de devam edeceği öngörülmektedir. Geçiş iklim bölgesi olduğu için Türkiye ortalamasını en iyi şekilde yansıtacağı düşünülen ve pilot bölge olarak seçilen Meriç-Ergene Nehri Havzası ve yakın çevresinde bu sonuç ortaya çıkmıştır. RCP4.5 senaryosu altında, referans iklim dönemine (1981-2010) kıyasla 2090 yılına kadar 1 metrelik toprak katmanında -0.6 °C ile 3.0 °C arasında artışlar tahmin edilmiştir. Havza bütününde öngörülen ortalama artış 1.2 °C'nin üstünde olup RCP8.5 senaryosunda bu değer 2.0 °C'ye çıkmaktadır. RCP8.5 senaryosuna göre beklenen bu artışlar, -0.5 °C ile 5.6 °C arasında değişiklik göstermiştir. RCP4.5 senaryosu altında Ts projeksiyonları, Lüleburgaz TİGEM ve İpsala dışındaki yerlerde belirgin bir artış sergilemektedir. Referans iklim dönemine kıyasla bu iki istasyonda özellikle kısa vadede çeşitli derinliklerde toprak sıcaklıklarında bir azalışın olacağı simüle edilmiştir. En güçlü toprak ısınmasının sırasıyla Uzunköprü ve Tekirdağ istasyonunda olacağı öngörülmektedir. Tüm bunlara ek olarak iyimser ve kötümser senaryoya göre sığ toprak katında sıcaklık artışları daha büyüktür. Başka bir deyişle derine inildikçe öngörülen Ts artışları azalmaktadır. Bununla birlikte önümüzdeki 70 yılda havza genelinde (Tekirdağ ve Edirne dışındaki yerlerde) hava sıcaklık artışının toprak sıcaklık artışından daha yüksek olacağı öngörülmektedir.

Türkiye'de toprak sıcaklık karakteri çalışmalarında da tüm dünyada gözlenen veri yöntem eksiklikleri mevcuttur. Genel iklimsel istatistiklerin çıkarılmamış olması ve kullanılabilir değişkenlerin üretilmemesi bu eksikliklerden ilk akla gelenlerdir. Örneğin, agrometeoroloji açısından artık önemi yokmuş gibi görünen ama epistemolojik açıdan önemli olan Türkiye üzerinde hangi alanlarda topraklar soğuk hangi alanlarda sıcaktır? sorusu şu ana kadar net bir şekilde tanımlanmamıştır. Bu durum günümüzde Ülkesel Toprak Bilgi Sistemi ve tüm ulusa yaygınlaştırılmayan ulusal bölge planlamalarında da gözlenmektedir. Bu araştırma ile bu eksiklikler büyük ölçüde giderilmiştir. Toprak sıcaklığı trend ve projeksiyon sonuçlarının Türkiye iklim değişikliği araştırmalarına yeni

bir boyut kattığı Türkiye agroklimatolojisi çalışmalarına önemli bir katkı sunmaktadır. Bunu şu şekilde ifade edebiliriz ki öncelikle toprak sıcaklık değişkenine dair veri boyutunun büyüklüğü, kullanılan metotların çeşitliliği ve ortaya çıkan anlamlı ve çözünürlüğü yüksek bilgilerinin genişliği dikkate alındığında daha önce böylesi bir çalışma yapılmamıştır. İkincisi, son beş yılda hava sıcaklığı, yağış, akış, buharlaşma, solar radyasyon ve su kalitesi gibi parametrelere uygulanan İTA yöntemi dünya da ilk kez bu araştırmada günlük ve yıllık toprak sıcaklık dizilerine uygulanmıştır. Üçüncüsü, ilk defa İTA yöntemine dayalı günlük toprak sıcaklık trendlerinin analizinde fenolojik eşikler ve uzman görüşüne dayalı genel bir sınıflandırma da oluşturulmuştur. Dördüncüsü, günlük toprak ve hava sıcaklığına ait MK Z-değerlerindeki değişimlere dayalı yaklaşım, İran dışında ilk kez Türkiye için uygulanmış ve bu kapsamda çok sayıda istasyona ait 44 yıllık günlük toprak ve hava sıcaklık kayıtları kullanılmıştır. Beşincisi, Dünya’da toprağın iklimsel elemanlarına yönelik projeksiyon çalışmaları daha yenidir. Bu yüzden son on yıldır yapılan bu çalışmalar nicelik açısından yetersizdir. Doğal olarak Türkiye’de şu ana kadar gelecek toprak sıcaklıklarının bir projeksiyonu yapılmamıştır. Türkiye ölçeğinde ilk kez bu çalışmada ön çalışma alanı olarak Meriç-Ergene Nehri Havzası ve yakın çevresi seçilmiş kısa, orta ve uzun vade de toprak sıcaklık projeksiyonları ortaya konmuştur. Araştırmada ulaşılan uzun dönem ortalama toprak sıcaklığının aylık ve yıllar arası değişim bilgisi “*Türkiye’nin Toprak Sıcaklık Karakteri*” başlıklı bildiri halinde 2021 yılında düzenlenen 2. Uluslararası Coğrafya Sempozyumunda sunulmuş ve basılmıştır. Ayrıca tezdeki Türkiye’nin toprak sıcaklık rejimi bölümü, “*The Character of Soil Temperature Regime over Turkey*” adı ile International Journal of Environment and Geoinformatics dergisinde 2022 yılında İngilizce olarak yayınlanmıştır. Böylelikle Türkiye fiziki coğrafyasına ve Türkiye agroklimatolojisine güncel katkılar sunulmuştur.

Toprak sıcaklığı, Türkiye arazi envanterinde göz ardı edilen bir konudur. Daha önceki paragrafta ifade edildiği gibi bu eksiklikler T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı’nın geliştirdiği Ülkesel Toprak Bilgi Sistemi’nde gözlenmekte olup bu araştırma ile bu boşluğun önemli ölçüde giderileceği düşünülmektedir. Yapılan haritalar ve ulaşılan mekânsal bilgiler toplu planlama bilgisi olarak değerlendirilebilir. Ulaşılan sonuçlar gerek toprak klimatolojisi gerekse fenoloji çalışmalarına hizmet etmektedir. Ortalama ve standart sapma istatistiği, toprak sıcaklık gradyanı, 0 °C ve altı ile 35 °C ve üstü sıcaklıklara ilişkin yapılan değerlendirmeler ve ulaşılan sayısal değerler, toprak sıcaklık rejimine, trendlere ve

projeksiyona ilişkin veriler, bu kapsamda oluşturulan haritalar ve grafikler tür dağılım modellemesinde ve ekolojik modelleme tekniklerinde girdi olarak kullanılabilir. Araştırmada ortaya konan günlük toprak sıcaklıklarına ilişkin trend analizlerinin pratik önemi vardır ki bu analizler tarımsal sürdürülebilirliğin sağlanmasında çiftçiler için bir ek rehber niteliği taşımaktadır. Dahası sıcaklık stresi ile mücadele ve optimum tohum atım derinliği ve ekim takvimini desteklemede bulgularımız önem taşımaktadır.

MENH ve yakın çevresinde gelecekteki toprak sıcaklıkların projeksiyon sonuçları özellikle tahılların çimlenme süresinin ve ekim takviminin planlamasında önemli bir yere sahiptir. Nitekim bölgede yeterli toprak nemi koşullarında kısa, orta ve uzun vade projeksiyon sonuçlarında Hs ve Ts artışlarından kaynaklı buğday ve ayçiçeği optimum ekim tarihlerinde sırasıyla 1-2 ay ertelenme ve erkene kayma olasılığı vardır. Başka bir deyişle çiftçiler, tahıllarda farklı ekim pencerelerine sahip olabilir. Bu noktada gelecekte ekim tarihlerinin değiştirilmesi, özellikle ekimleri öne alınması, tahıllarda üretimi sürdürmede bir adaptasyon stratejisi olarak ön plana çıkabilir. Bununla birlikte gelecekte ayçiçeğinde optimum çimlenme koşullarının ortadan kalması yanında aşırı Ts olaylarının öngörülmemesi tarım yönetimi ve tarımsal stratejilerin oluşturulmasında pratik bir öneme sahiptir ve planlama bilgisi olarak düşünülebilir. Özetle MENH ve yakın çevresinde gelecek Ts ve Hs koşulları, buğday ve ayçiçeği ekiminin uygunluğunu desteklemektedir.

Araştırmada karasal bölgelerde 10 cm ve 20 cm derinliklerinde kış aylarında Ts rasatlarında önemli eksikliklerin gözlenmesi mekânsal çıkarımları sınırlandırmıştır. Dolayısıyla geleceğe yönelik Ts projeksiyonunda model kalibrasyonunu da güçleştirmektedir. Dolayısıyla bu durum Türkiye’de her bölgede Ts projeksiyon çalışmalarının yapılmasını engellemektedir. Bunun dışında elimizde istasyon tarihçe bilgileri olsa da Ts azalma eğiliminin gözlemlendiği istasyonlara arazi çalışmalarının yapılması planlanmış ancak zaman ve bütçe kısıtlamaları, iki yıl süren COVID-19 pandemisi ve başka sebeplerden dolayı gerçekleştirilememiştir. Bu süreç ve koşullar özellikle araştırmanın projeksiyon bölümünde araştırma tasarımını ve metodolojisini sınırlamıştır.

Gelecekte toprak sıcaklıklarının değişimi üzerine yapılacak araştırmalarda tarihsel veriler ile birlikte yeniden analiz verileri, arazi ölçümleri ve uydu görüntüleri birlikte

kullanılabilir. Böylelikle alansal ve zamansal çözünürlüğü yüksek veriler elde edilebilir. Elde edilen bu veriler, Ts ile birlikte toprak nemi-ayırışma hızı-organik madde ve kation değişim kapasitesi gibi etmenler arasındaki ilgi ve bağlantıların anlaşılmasında kullanılabilir. Toprak profilinde 5, 10, 20, 50 ve 100 cm derinliklerde yapılacak organik madde ve tekstür ölçümleri kullanılarak toprak sıcaklık projeksiyonları yeniden yapılabilir. Böylelikle Ts üzerinde organik madde ve tekstürün etkisi daha detaylı görülebilir. Kuşkusuz oluşturulacak bu veriler gelecekte küresel ısınma ile birlikte artan kuraklık, çölleşme ve erozyon tehdidi altındaki yüksek riskli alanlara yönelik yapılacak kırılganlık analizleri ve bölgesel ölçekte oluşturulacak adaptasyon stratejileri, tarımsal yönetimin ve tarımsal sürdürülebilirliğin sağlanmasını destekleyecektir. Bunların ötesinde Ts günlük trendlerin analizinde izlediğimiz yaklaşım, Türkiye’de başka alanlar için de uygulanabilir. Hatta küresel iklim değişikliğine uyum politikaları bağlamında bu yaklaşıma toprak nemi ya da yağış gibi parametreler de eklenebilir. Böylelikle ürün planlamasında, yani ürün seçimi, ürün deseni, ekim takviminin belirlenmesinde, daha doğru ve güncel agroklimatolojik bilgiler elde edilebilir.

KAYNAKÇA

- Abbasnia, M. and Toros, H. (2020). "Trend analysis of weather extremes across the coastal and non-coastal areas (case study: Turkey)". *Journal of Earth System Science*, 129 (1), 1-13.
- Acaröz, E. (1960). Türkiye’de Toprakaltı Suhneti. Yayınlanmamış Bitirme Tezi, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, İstanbul.
- ACER. (t.y.). Models to Scenarios. <https://www.acer-acre.ca/resources/climate-change-in-context/over-riding-concepts/models-to-scenarios>.
- adaptation options". *Scientific Reports*, 10 (1), 1-21.
- AE, A. and Al-Dashti, H. (2017). "Recent trends in soil temperature under arid agro-ecosystem in Kuwait as a prelude to the Gulf Region: Can root-zone soil temperature be predicted from ambient air temperature?". *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 8, 387.
- Aksakal, T. (1998). Tatvan’ın İklimi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Alpdündar, R. (1976). Afyon 1964 Yılı Aylık – Mevsimlik – Yıllık Ortalama Toprakaltı Suhnetleri. Yayınlanmamış Bitirme Tezi. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, İstanbul.
- Ambroise, V., Legay, S., Guerriero, G., Hausman, J. F., Cuypers, A. and Sergeant, K. (2020). "The roots of plant frost hardiness and tolerance". *Plant and Cell Physiology*, 61 (1), 3-20.
- Ankara Toprakların Termik Değişim Kanunları*, (1958). Ankara: Devlet Meteoroloji İşleri Umum Müdürlüğü.
- Araghi, A., Adamowski, J., Martinez, C. J. ve Olesen, J. E. (2019). "Projections of future soil temperature in northeast Iran". *Geoderma*, 349, 11-24.
- Araghi, A., Mousavi-Baygi, M. and Adamowski, J. (2017). "Detecting soil temperature trends in northeast Iran from 1993 to 2016". *Soil and Tillage Research*, 174, 177-192.

- Ardel, A., Kurter, A. ve Dönmez, Y. (1969). *Klimatoloji Tatbikatı*. Taş Matbaası, İstanbul.
- Asar, M., Yalçın, S., Yücel, G., Nadaroğlu, Y. ve Erciyas, H. (2007). *Zirai Meteoroloji*. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Asikoglu, O. L. and Ciftlik, D. (2015). Recent rainfall trends in the Aegean region of Turkey. *Journal of Hydrometeorology*, 16 (4), 1873-1885.
- Atalay, İ. (2002). Türkiye'nin Ekolojik Bölgeleri (Ecoregion of Turkey), Orman Bakanlığı Yayınları: İzmir.
- Atalay, İ. (2010). Uygulamalı Klimatoloji. Meta Basım: İzmir.
- Ayaz, M. (2000). Çan-Altıkulaç Ovası (Çanakkale) Topraklarının Doğal Yapılarının Toprak Taksonomisine Göre Sıcaklık ve Rutubet Rejimleri ile Sulu Arazi Tasnif ve Drenaj Sisteminin Ortaya Çıkarılması. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Edirne.
- Aydemir, S., Tonkaz, T., Doğan, E. and Akıl, H. (2006). "Estimation of soil temperature series for seeding timing operations on different crop varieties". *International Soil Meeting, (ISM) on Soils Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology*, 22-26 Mayıs 2006, Şanlıurfa. 858-863.
- Bai, Y. (2009). Distribution of soil temperature regimes and climate change in the Mojave Desert Region. Unpublished Ph.D. thesis, UC Riverside, Geological Sciences, USA.
- Balybina, A. S. and Trofimova, I. E. (2019). "Soil temperature dynamics in Transbaikalia under changing climate conditions". *Russian Meteorology and Hydrology*, 44 (10), 712-717.
- Başayığıt, L. ve Dinç, U. (2005). "Toprak Taksonomisine göre toprak iklim rejimleri ve Türkiye toprakları için örnekler". *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22 (1), 83-91.
- Bilgili, M. (2011). "The Use of artificial neural networks for forecasting the monthly mean soil temperatures in Adana, Turkey". *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35 (1), 83-93.

- Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ. İ., Savasçı, S. ve Paşlı, N. (2001). *Ekoloji II (Toprak)*. Başkent Klişe Matbaacılık, Ankara.
- Bradford, J. B., Schlaepfer, D. R., Lauenroth, W. K., Palmquist, K. A., Chambers, J. C., Maestas, J. D., et al. (2019). "Climate-driven shifts in soil temperature and moisture regimes suggest opportunities to enhance assessments of dryland resilience and resistance". *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 358.
- Brady, N. C. (1990). *The Nature and Properties of Soil*. Macmillan, New York.
- Brouwers, N. C., Mercer, J., Lyons, T., Poot, P., Veneklaas, E. and Hardy, G. (2013). "Climate and landscape drivers of tree decline in a Mediterranean Ecoregion". *Ecology and Evolution*, 3 (1), 67-79.
- Calleja-Cabrera, J., Boter, M., Oñate-Sánchez, L. and Pernas, M. (2020). "Root growth adaptation to climate change in crops". *Frontiers in Plant Science*, 11, 544.
- Callendar, H. L. and McLeod, C. H. (1895). "Observations of soil temperatures with electrical resistance thermometers". *Roy. Soc. Canada Proc. and Trans., 2d ser.*, 1 (3), 63-83.
- CCAFS. (t.y.). Bias-Correction. http://ccafs-climate.org/bias_correction/. Changnon, S. A. (1959). *Summary of Weather Conditions at Champaign-Urbana, Illinois*. Illinois State Water Survey, Urbana.
- Chowdhury, A., Das, H. P. and Pujari, A. D. (1991). "Sub-soil temperature variation and estimation". *Mausam*, 42 (4), 357-360.
- Chudinova, S. M., Frauenfeld, O. W., Barry, R. G., Zhang, T. and Sorokovikov, V. A. (2006). "Relationship between air and soil temperature trends and periodicities in the permafrost regions of Russia". *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 111 (F2), F02008.
- Cıba, Ö. F. (2019). Yeşilirmak Havzası Toprak Sıcaklığı Veritabanının Oluşturulması ve Toprak Sıcaklığı ile Coğrafik, Topografik ve Bazı Toprak değişkenleri Arasındaki Olası İlişkilerin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Araştırılması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.

- Çağlayan, M. (1974). Göztepe'deki Yıllık Ortalama Toprakaltı Sıcaklıkları (1959 Yılı). Yayınlanmamış Bitirme Tezi. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, İstanbul.
- Çelik, M. A. ve Gülersoy, A. E. (2013). "Güneydoğu Anadolu Projesi'nin (GAP) Harran Ovası tarımsal yapısında meydana getirdiği değişimlerin uzaktan algılama ile incelenmesi". *Journal of International Social Research*, 6 (28). 46-54.
- Çelik, S. ve Özalp, Y. (2011) "Sıcak yıllar meteorolojik kaynaklı afetler ve 2010 yılı", *5th Atmospheric Science Symposium*, 27-29 Nisan 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Çetin, Ö. (2020). "Pamuk bitkisinde yüzey ve yüzeyaltı damla sulamanın toprak sıcaklığı ve toplam kuru madde (biomass) miktarına etkisi". *Toprak Su Dergisi*, 9 (1), 45-54.
- Çiçek, İ. and Duman, N. (2015). "Seasonal and annual precipitation trends in Turkey". *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 10 (2), 77-84.
- Çolakoğlu, C. A. (2009). Aydın İlinde Zeytin Üretimi ile İklim Verileri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- Çopur, O. (2018). "GAP Projesinin Türkiye pamuk üretimine etkisi: son on yıldaki değişimler". *Adyütayam Dergisi*, 6 (1), 11-18.
- Dabanlı, İ. (2017). Türkiye'de İklim Değişikliğinin Yağış-Sıcaklığa Etkisi ve Kuraklık Analizi: Akarçay Örneği. Yayınlanmamış Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demircan, M., Gürkan, H., Eskioğlu, O., Arabacı, H. ve Coşkun, M. (2017). "Climate change projections for Turkey: Three models and two scenarios". *Türkiye Su Bilimleri ve Yönetimi Dergisi*, 1 (1), 22-43.
- Ding, Y., Wang, W., Zhuang, Q. and Luo, Y. (2020). "Adaptation of paddy rice in China to climate change: The effects of shifting sowing date on yield and irrigation water requirement". *Agricultural Water Management*, 228, 105890.

- Dong-liang, L., Hai-ling, Z., Qing-bai, W., Yong-jun, Z., Yi-ling, H. ve Mao-cang, T. (2005a). "Analyses on changes of surface temperature over Qinghai-Xizang Plateau". *Plateau Meteorology*, 24 (3), 291-298.
- Dong-liang, L., Miao, L., Hai-ling, Z. and Qing-bai, W. (2005b). "Interdecadal change trend of surface air and ground temperatures along Qinghai-Xizang Railway and relationship between the change and terrain". *Plateau Meteorology*, 24 (5), 694-699.
- Ekberli, İ. ve Sarılar, Y. (2015). "Toprak sıcaklığının profil boyunca sönme derinliğinin ve gecikme zamanının belirlenmesi". *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 55 (2), 219-227.
- Ekberli, İ., Gülser, C. ve Özdemir, N. (2017). "Farklı toprak derinliklerindeki sıcaklığın tahmininde parabolik fonksiyonun kullanımı". *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5 (1), 34-38.
- Erinç, S. (1962). *Klimatoloji ve Metodları*. Baha Matbaası, İstanbul.
- Erinç, S. (1965). "Türkiye’de toprak çalışmaları ve Türkiye toprak coğrafyasının ana çizgileri". *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 15, 1-39.
- Erinç, S. (1969). *Klimatoloji ve Metotları*. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları, İstanbul.
- Erinç, S. ve Bener, M. (1963). "Türkiye’de toprak altı suhnetleri". *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 7 (13), 14-35.
- Erlat, E. ve Türkeş, M. (2015). "Türkiye rekor maksimum ve minimum hava sıcaklıklarının frekanslarında 1950-2014 döneminde gözlenen değişmeler ve atmosfer koşullarıyla bağlantıları". *Ege Coğrafya Dergisi*, 24 (2), 29–55.
- Erol, A. S. (2016). Comparing soil thermal properties under different plant canopies. Unpublished Ph.D. thesis, Çankırı Karatekin University, Çankırı.
- Fang, X., Luo, S. and Lyu, S. (2019). "Observed soil temperature trends associated with climate change in the Tibetan Plateau, 1960–2014". *Theoretical and Applied Climatology*, 135 (1-2), 169-181.

- Fatima, Z., Ahmed, M., Hussain, M., Abbas, G., Ul-Allah, S., Ahmad, S., ... and Hussain, S. (2020). "The fingerprints of climate warming on cereal crops phenology and adaptation options". *Scientific Reports*, 10 (1), 18013.
- García-Suárez, A. M. and Butler, C. J. (2006). "Soil temperatures at Armagh Observatory, Northern Ireland, from 1904 to 2002". *International Journal of Climatology*, 26 (8), 1075-1089.
- Geng, S., Auburn, J., Brandstetter, E. and Li, B. (1988). *A Program to Simulate Meteorological Variables: Documentation for SIMMETEO*. University of California, Agricultural Experiment Station: Davis.
- Ghahreman, N., Bazrafshan, J. and Gharekhani, A. (2010). Trend analysis of soil surface temperature in several regions of Iran. *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*, August 1-6, Brisbane, 71-74.
- Giardina, J. A., Digonzelli, P. A., Romero, E. and Duarte, D. (2013). "Frost severity effect on sprouting and seedling emergence of high quality seed cane in Tucuman, Argentina". *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, 28, 1-11.
- Goncharova, O. Y., Matyshaka, G. V., Epstein, H. E., Sefilian, A. R. and Bobrik, A. (2019). "Influence of snow cover on soil temperatures: Meso- and micro-scale topographic effects (a case study from the Northern West Siberia discontinuous permafrost zone)". *Catena*, 183, 104224.
- Government of Canada. (t.y.). Glossary. https://climate.weather.gc.ca/glossary_e.html.
- Hill, T. C., DeMott, P. J., Tobo, Y., Fröhlich-Nowoisky, J., Moffett, B. F., Franc, G. D., et al. (2016). "Sources of organic ice nucleating particles in soils". *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16 (11), 7195-7211.
- Houle, D., Bouffard, A., Duchesne, L., Logan, T. and Harvey, R. (2012). "Projections of future soil temperature and water content for three southern Quebec Forested Sites". *Journal of Climate*, 25 (21), 7690-7701.
- Husnjak, S., Mesarić, M. and Mesić, M. (2014). "Determination of soil temperature regimes in Croatia". *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 79 (3), 139-143.

- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Erişim: 10 Nisan 2022, <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Erişim: 10 Nisan 2022, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.
- IPCC (2021). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Erişim: 10 Nisan 2022, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
- IPCC. (t.y.). What is a GCM?. https://www.ipccdata.org/guidelines/pages/gcm_guide.html.
- İçel, G. ve Ataol, M. (2011). Güneydoğu Anadolu Bölgesi toprak ve hava sıcaklıklarında eğilimler ve korelasyon (1975-2009). Uluslararası Katılımlı Coğrafya Kongresi. 07-10 Eylül 2011, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- İçel, G. ve Ataol, M. (2013). “Türkiye nin yıllık ortalama hava ve 50 cm toprak sıcaklıklarında eğilimler ve hava 50 cm toprak sıcaklıkları arasındaki ilişkiler (1975-2005)”. *6th Atmospheric Science Symposium*, 24-26 Nisan 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- İş, M. ř. (2009). Determination of ground temperature in Adana. Unpublished Master Thesis, Cukurova University, Turkey.
- Jones, P. G. and Thornton, P. K. (2013). “Generating downscaled weather data from a suite of climate models for agricultural modelling applications”. *Agricultural Systems*, 114, 1-5.
- Jones, P. G. and Thornton, P. K. (1993). “A rainfall generator for Agricultural applications in the tropics”. *Agricultural and Forest Meteorology*, 63 (1-2), 1-19.
- Jones, P. G. and Thornton, P. K. (2000). “MarkSim: Software to generate daily Weather data for Latin America and Africa”. *Agronomy Journal*, 92 (3), 445-453.

- Jun, D., Chun, L., Jian, L., Pa, P. and Hongya, L. (2007). "Responses of Climatic Change on Soil Temperature at Shallow Layers in Lhasa from 1961 to 2005". *J. Meteor Mon.*, 33 (10), 61-67.
- Jun, D., Jun, H., Ciren, L., Bao-qin, Z. and Hong-ya, L. (2008). "Response of Shallow Geotemperature to Climatic Change over Tibet from 1971 to 2005". *Journal of Glaciology and Geocryology*, 5, 745-751.
- Jun, H., Jun, D., Duo, B., Huilin, Z., Sang, G. and Yong, Y. (2007). "Interannual and Interdecadal Variations of Soil Temperature over Tibetan Plateau from 1971 to 2005". *Acta Geographica Sinica*. 62 (9), 925-934.
- Kanemasu, E. T., Bark, D. L. and Chin Choy, E. (1975). "Effect of soil temperature on sorghum emergence". *Plant and Soil*, 43 (1), 411-417.
- Kantarci, M. D. (2000). *Toprak İlimi*. İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Kaučić, D. (1989). "Karakteristike temperatura tla u Hrvatskoj". *Hrvatski meteorološki časopis*, 24 (24), 65-71.
- Kaya, B., Nadaroğlu, Y. ve Şimşek, O. (2015). Türkiye’de toprak sıcaklığı Yönünden serin iklim tahılların ekim zamanının belirlenmesi (s. 1-7) Erişim: 20 Aralık 2020, <http://212.174.109.9/FILES/genel/makale/ekimzamani.pdf>.
- Keklikçi, Z., Yılmaz, A., Dönmez, Ö., Keçeci, V., Yıldırım, A. İ. ve Aydın, A. (1991). *Konya Ovasında Kuru Şartlarda Kışlık Buğday Ekim Denemesi Sonuç Raporu*. Bahri Dağdaş Milletlerarası Kışlık Hububat Araştırma Merkezi Yayınları: Konya.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*. Griffin, London.
- Keys to Soil Taxonomy, (1999). Washington: USDA Soil Survey Staff.
- Keys to Soil Taxonomy, (2014). Washington: USDA Soil Survey Staff.
- Kılınç, M. ve Kutbay, H. G. (2019). *Bitki Ekolojisi*. Palme Yayınevi, Ankara.
- Kisi, O. and Ay, M. (2014). "Comparison of Mann Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey." *Journal of Hydrology*, 513, 362-375.

- Koç, T. (2001). *Kuzeybatı Anadolu'da İklim ve Ortam: Sinoptik, İstatistik ve Uygulama Boyutlarıyla*. Çantay Kitabevi: İstanbul.
- Koç, T. (2013). "Türkiye'nin Morfometrik Özellikleri". E. Öner (ed.). içinde *Prof. Dr. İlhan Kayan'a Armağan kitabı*. (248-298). Ege Üniversitesi yayınları Edebiyat Fakültesi Yayını: İzmir.
- Koç, T. ve Kesmen, E. (2010). "Türkiye'nin morfometrik özellikleri". *II. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu*, 11-13 Ekim 2010, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon. 104-105.
- Koçar, G., Okur, B. ve Şafak, S. (2006). "Toprak solarizasyonunda kullanılan değişik örtü malzemelerinin toprak sıcaklığı ile bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine olan etkileri". *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43 (2), 109-120.
- Kutlu, T. (2013). İklim Verilerinin Toprak Sıcaklığı Üzerine Etkisi ve Toprak Sıcaklığının Tahmininde Kullanılabilirliği. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Kyuma, K. (1985). "Soil temperature regime of Japanese soils". *Soil Science and Plant Nutrition*, 31 (3), 463-468.
- Lal, R. (2009). "Challenges and opportunities in soil organic matter research". *European Journal of Soil Science*, 60 (2), 158-169.
- Lal, R. (2014). "Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security". *Science*, 3 (10), 1623-1627.
- Leander, R. and Buishand, T. A. (2007). "Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows". *Journal of Hydrology*, 332 (3-4), 487-496.
- Lehmann, P. (1953). *Yerüstü Nebatlarının Isı Sarfiyatına Müdahale*. İlhami Atayık (çev.). T.C. Devlet Meteoroloji İşleri Umum Müdürlüğü: Ankara.
- Lenderink, G., Buishand, A. and Deursen, W. v. (2007). "Estimates of future discharges of the River Rhine using two scenario methodologies: Direct versus delta approach". *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1145–1159.

- Li, S., Zhijiang, L., Zuo, L. and Huiqing, M. (2010). "Variations trend of soil temperature at shallow layers in Liaoning Province in from 1959 to 2008". *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 23, 12869-12870.
- Liu, B., Henderson, M., Wang, L., Shen, X., Zhou, D. and Chen, X. (2017). "Climatology and trends of air and soil surface temperatures in the temperate steppe region of North China". *International Journal of Climatology*, 37, 1199-1209.
- Liu, Y., Wang, L., Liu, B. and Henderson, M. (2016). "Observed Changes in Shallow Soil Temperatures in Northeast China, 1960-2007". *Climate Research*, 67 (1), 31-42.
- Mann, H. M. (1945). "Nonparametric tests against trend". *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 13 (3), 245-259.
- Marakoğlu, T. (2000). Tahıl Ekim Makinalarında Farklı Gübre Uygulamalarının Verim Parametreleri Üzerine Etkisi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- MarkSimGCM: Weather Generating Tool (2022, 25 Nisan). Erişim adresi: <https://ccafs.cgiar.org/resources/tools/marksimgcm-weather-generating-tool>.
- Mazhitova, G. G. (2008). "Soil temperature regimes in the discontinuous permafrost zone in the East European Russian Arctic". *Eurasian Soil Science*. 41 (1), 48-62.
- Mehdizadeh, S., Fathian, F., Safari, M. J. and Khosravi, A. (2020). "Developing novel hybrid models for estimation of daily soil temperature at various depths". *Soil and Tillage Research*, 197, 104513.
- Melillo, J. M., Steudler, P. A., Aber, J. D., Newkirk, K., Lux, H., Bowles, F. P., Catricala, C., Magill, A. H., Ahrens, T. and Morrisseau, S. (2002). "Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system". *Science*, 298 (5601), 2173-2176.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2016). 15-19 Şubat 2016 aşırı sıcaklıklar. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yayinlar/2016/subat-rekor.pdf>.
- Mount, H. R., Bauer, R. F., Waltman, W. J. and Dubee, B. C. (1992). *Soil Climate Regimes on the Commonwealth of Puerto Rico and the United States Virgin Islands*. National Soil Survey Center, Lincoln.

- Nachtergaele, F. O., van Velthuisen, H., Verelst, L., Wiberg, D., Batjes, N., Dijkshoorn, K., van Engelen, V., Fischer, G., Jones, A., Montanarella, L., Petri, M., Prieler, S., Teixeira, E. and Shi, X. (2012). *Harmonized World Soil Database (version 1.2)*, FAO and IIASA: Rome and Laxenburg.
- Nalbant, A. (1974). 1965 Yılı Adana'nın Toprakaltı Sıcaklığı. Yayınlanmamış Bitirme Tezi, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, İstanbul.
- Navarro-Racines, C. E., Tarapues-Montenegro, J. E and Ramírez-Villegas, J. A. (2015). Bias- correction in the CCAFS-Climate Portal: A description of methodologies.
- Nullet, D., Ikawa, H. and Kilham, P. (1990). "Local differences in soil temperature and soil moisture regimes on a mountain slope, Hawaii". *Geoderma*, 47 (1-2), 171-184.
- Oelkers, E. H. and Cole, D. R. (2008). "Carbon dioxide sequestration a solution to a global problem". *Elements*, 4 (5), 305-310.
- Olivier, J. G. J. and Peters, J. A. H. W. (2020). Trends in global CO₂ and total greenhouse gas emissions; 2019 report. Erişim: 13 Nisan 2022, https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-trends-in-global-co2-and-total-greenhouse-gas-emissions-2019-report_4068.pdf.
- Ontl, T. A. and Moore, L. S. (2012). "Soil carbon storage". *Nature Education Knowledge*, 3 (10), 35.
- Ozturk, T., Ceber, Z. P., Türkeş, M. and Kurnaz, M. L. (2015). "Projections of climate change in the Mediterranean Basin by using downscaled Global Climate Model outputs". *International Journal of Climatology*, 35 (14), 4276-4292.
- Öndeş, A. D. (2013). Doğu Anadolu Bölgesi Van istasyonunda toprak sıcaklıklarının değişimleri ve hava sıcaklıkları ile ilişkileri (s. 1-9) Erişim: 20 Aralık 2020, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/vantoprak.pdf>.
- Özbek, A., Yılmaz, T., Yılmaz, A. ve Büyükalaca, O. (2014). "Numerical determination of mulching effect on soil temperature distribution in Adana, Turkey". *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 10 (4), 311-316.

- Özdemir, N. (1974). Fethiye Aylık Mevsimlik Ortalama Toprakaltı Suhunetleri. Yayınlanmamış Bitirme Tezi. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, İstanbul.
- Öztürk, M. Z., Çetinkaya, G. ve Aydın, S. (2017). “Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye’nin iklim Tipleri”. *Coğrafya Dergisi*, 35, 17-27.
- Paulhus and Kohler (1952). “Interpolation of missing precipitation records”. *Monthly Weather Review*, 80 (8), 129-133.
- Perreault, S., Chokmani, K., Nolin, M. C. and Bourgeois, G. (2013). “Validation of a soil temperature and moisture model in southern Quebec, Canada”. *Soil Science Society of America Journal*, 77 (2), 606-617.
- Polat, Z., Beşirli, G., Sönmez, İ. ve Özdemir, Y. (2017). “Marmara bölgesinde toprak solarizasyonu ve bazı malç malzemelerinin biberde gövde çürüklüğü (*Sclerotium rolfsii* Sacc.) hastalığı üzerine etkisi”. *Derim*, 34 (1), 23-28.
- Porter, J. R. and Gawith, M. (1999). “Temperatures and the growth and development of wheat: a review”. *European Journal of Agronomy*, 10 (1), 23-36.
- Porter, J. R. and Semenov, M. A. (2005). “Crop responses to climatic variation”. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360 (1463), 2021-2035.
- Pribyl, D. W. (2010). “A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor”. *Geoderma*, 156 (3-4), 75-83.
- Qian, B., Gregorich, E. G., Gameda, S., Hopkins, D. W. and Wang, X. L. (2011). “Observed soil temperature trends associated with climate change in Canada”. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116, D02106.
- Reshotkin, O. V. ve Khudyakov, O. I. (2019). “Soil temperature response to modern climate change at four sites of different latitude in the European part of Russia. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (012040)*. IOP Publishing: UK.
- Richardson, C. W. (1981). “Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation”. *Water Resources Research*, 17 (1), 182-190.

- Rodríguez, M., Neris, J., Tejedor, M. and Jiménez, C. (2010). "Soil temperature regimes from different latitudes on a subtropical island (Tenerife, Spain)". *Soil Science Society of America Journal*, 74 (5), 1662-1669.
- Romero, E. (2002). Dinámica de la brotación, emergencia y crecimiento inicial de la caña de azúcar. Efecto del genotipo, factores ambientales y manejo. Unpublished Ph.D. thesis, Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Argentina.
- Sağlık, A., Güngör, A. G. (2008). Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi. KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü: Ankara.
- Sakai, A. and W. Larcher. (1987). *Frost Survival of Plants: Responses and Adaptation to Freezing Stress (Vol. 62)*. Springer-Verlag: Berlin.
- Salmi, T., Maata, A., Antilla, P., Ruoho-Airola, T. and Amnell, T. (2002). Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates-the Excel Template Application MAKESENS. Finnish Meteorological Institute: Helsinki.
- Sen, P. K. (1968). "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau". *American Statistical Association Journal*, 63, 1379–1389.
- Shabalala, Z. P. Moeletsi, M. E., Tongwane, M. I. and Mazibuko, S. M. (2019). "Evaluation of infilling methods for time series of daily temperature data: Case study of Limpopo Province, South Africa". *Climate*. 7 (7), 86.
- Sharan, G. ve Ratan, J. (2002). "Soil temperature regime at Ahmedabad". *Journal of Agricultural Engineering*, 39 (1), 27-32.
- Shrestha, S., Shrestha, M. and Babel, M. (2016). "Modelling the potential impacts of climate change on hydrology and water resources in the Indrawati River Basin, Nepal". *Environmental Earth Sciences*, 75 (4), 1-13.
- Šimůnek, J., Van Genuchten, M. Th., Šejna, M. (2005). The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media (version 3.0). Erişim: 01 Mayıs 2022, https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20360500/pdf_pubs/P2119.pdf.

- Singh, V. P. (1992). *Elementary Hydrology*. Prentice Hall, New Jersey.
- Smith, G. D., Newhall, F., Robinson, L. H. ve Swanson, D. (1964). *Soil-Temperature Regimes Their Characteristics and Predictability*. Tech. PubI 144. SCS, U.S. Gov. Print Office, Washington, DC.
- Sneyers, R. (1990). On the Statistical Analysis of Series of Observations (No. 143). World Meteorological Organization, Geneva.
- Snyder, R. L. and Melo-Abreu, J. D. (2005). *Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics (Volume 1)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome.
- Soriano, E., Mediero, L. and Garijo, C. (2019). “Selection of bias correction methods to assess the impact of climate change on flood frequency curves”. *Water*, 11 (11), 2266.
- Spokas, K. and Forcella, F. (2009). “Software tools for weed seed germination modeling”. *Weed Science*, 57 (2), 216-227.
- Středová, H., Fukalová, P. and Středa, T. (2012). “Comparison of soil frost depth and its duration determined by soil frost tube and soil temperature interpolation”. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 42 (3), 255-268.
- Subedi, M. and Fullen, M. A. (2009). “Temporal changes in soil temperature at the Hilton Experimental Site, Shropshire, UK (1982–2006): Evidence of a warming trend?”. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 55 (1), 105-113.
- Sviličić, P., Vučetić, V., Filić, S. and Smolić, A. (2016). “Soil temperature regime and vulnerability due to extreme soil temperatures in Croatia”. *Theoretical and Applied Climatology*, 126, 247-263.
- Şahin, Ş., Parlak, J. ve Üçgül, İ. (2007). “İsparta’da toprak altı sıcaklık gradientinin belirlenmesi”. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 99, 33-36.
- Şen, Z. (2002). *Hidrolojide Veri İşlem, Yorumlama ve Tasarım (Seminer Notları)*. Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Şen, Z. (2012). “Innovative trend analysis methodology”. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17 (9), 1042-1046.

- Şen, Z. (2017). “Innovative trend significance test and applications”. *Theoretical and Applied Climatology*, 127, 939-947.
- Şimşek, O., Nadaroğlu, Y., Yücel, G., Yıldırım, M. ve Erciyas, H. (2017). *Don Hadisesi ve Türkiye'nin Don Takvimi*. Ziraî Meteoroloji Şube Müdürlüğü: Ankara.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Adana İl Tarım ve Orman Müdürlüğü (2020). Buğday Yetiştiriciliği. Erişim: 04 Haziran 2020, https://adana.tarimorman.gov.tr/Belgeler/SUBELER/bitkisel_uretim_ve_bitki_sagli gi_sube_mudurlugu/hububat_yetistiriciligi_ve_mucadelesi/Bu%C4%9Fday%20Yeti%C5%9Ftiricili%C4%9Fi.pdf.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (2018). Havza koruma eylem planlarının nehir havzası yönetim planlarına dönüştürülmesi için teknik yardım (Meriç-Ergene Nehir Havzası Yönetim Planı). Erişim: 26 Nisan 2022, <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/NHYP%20DEN%C4%B0Z/ME%C4%B0%C3%87-ERGENE%20NEH%C4%B0R%20HAVZASI%20Y%C3%96NET%C4%B0M%20OPLANI.pdf>
- Takata, Y., Kuwagata, T., Kohyama, K. ve Obara, H. (2011). Delineation of Japanese Soil Temperature Regime Map. *Soil science and plant nutrition*, 57 (2), 294-302.
- Taranaki Regional Council (2020). Land Resource Inventory Mapping. Erişim:09 Haziran 2020, <https://www.trc.govt.nz/assets/Documents/Guidelines/Land-infosheets/LM07landresourceinventorymapping2.pdf>.
- Tarım (Serin İklim Tahılları), (2016). Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı (MEB).
- Temuçin, E. (1991). *Manisa-Akhisar Ovalarında İklim ve Ortam İlişkileri (Uygulamalı Bir Coğrafya Araştırması)*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, İzmir.
- Teutschbein, C. and Seibert, J. (2012). “Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods”. *Journal of Hydrology*, 456, 12-29.

- TODAP (2020). *Buğday ve Arpa Ekimi*. Erişim: 04 Haziran 2020, <https://todab.org.tr/files/BUGDAY%20VE%20ARPA%20TARIMI/B%c3%b6l%cb3%bcm-4.pdf>.
- Tonkaz, T., Doğan, E. ve Aydemir, S. (2007). “GAP Bölgesi toprak sıcaklıklarının alansal değişimleri ve hava sıcaklığı ile ilişkileri. *HR.Ü.Z.F. Dergisi*, 11, 55-61.
- Topal, A. (1993). Konya Ekolojik Şartlarında Arpa Çeşitlerinde (*Hordeum vulgare* L.) Farklı Ekim Zamanlarının Kışa Dayanıklılık, Dane Verimi, Verim Unsurları ve Kalite Özelliklerine Etkileri Üzerine Bir Araştırma. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Konya.
- TT-DEWCE WMO (2016). *Guidelines on the Definition and Monitoring of Extreme Weather and Climate Events: Draft Version; First Review by TT-Dewce December 2015*. Erişim: 10 Haziran 2020, <https://www.wmo.int>.
- Turkoglu, N. (2010). “Analysis of urban effects on soil temperature in Ankara”. *Environmental Monitoring and Assessment*, 169 (1-4), 439-450.
- Türkeş, M. (1996). “Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey”. *International Journal of Climatology*, 16, 1057-1076.
- Wang, L., Henderson, M., Liu, B., Shen, X., Chen, X., Lian, L., vd. (2018). “Maximum and minimum soil surface temperature trends over China, 1965–2014”. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123 (4), 2004–2016.
- Wentao, Y., Binhui, L., Yanling, L., Feng, P. ve Lin, W. (2011). “Change trend of Soil surface temperature in Heilongjiang Province from 1960 to 2000”. *Journal of Northeast Forestry University*, 2, 67-71.
- Wierenga, P. J., Nielsen, D. R., Horton, R. and Kies, B. (1982). “Tillage effects on soil temperature and thermal conductivity”. *Predicting Tillage Effects on Soil Physical Properties and Processes*, 44, 69-90.
- Wikipedia (2020). Representative Concentration Pathway. Erişim: 17 Haziran 2020, https://en.wikipedia.org/wiki/Representative_Concentration_Pathway.

- Xia, Z., Zhang, G., Zhang, S., Wang, Q., Fu, Y. and Lu, H. (2021). "Efficacy of root zone temperature increase in root and shoot development and hormone changes in different maize genotypes". *Agriculture*, 11 (6), 477.
- Xing, C., Rongyi, C., Jufang, Y., Fen, J. and Jin, W. (2011). "Characteristics of soil temperature and its relationship with air temperature in autumn in the hinterland of the Guerbantonggute Desert". *Journal of Arid Meteorology*, 29 (4), 433-438.
- Yener, D., Özgener, Ö. ve Özgener, L. (2016). "Manisa/Türkiye’de yeraltı ısı değıştiricisi uygulamaları için toprak sıcaklıklarının tahminlenmesi". *Karaelmas Science & Engineering Journal*, 6 (1), 56-58.
- Yeşilirmak, E. (2014). "Soil temperature trends in Büyük Menderes Basin, Turkey". *Meteorological Applications*, 21 (4), 859-866.
- Yli-Halla, M. ve Mokma, D. L. (1998). "Soil temperature regimes in Finland". *Agricultural and Food Science in Finland*, 7, 507-512.
- You, G., Zhang, D. Y., Schaefer, D., Sha, L., Liu, Y., Gong, H., et al. (2013). "Observed air/soil temperature trends in open land and understory of a subtropical mountain forest, SW China". *International Journal of Climatology*, 33 (5), 1308-1316.
- Yuyi, X. And Jun, D. (1999). "Features of Tibet soil temperature and its relation with rainfall". *Journal of Chengdu Institute of Meteorology*, 01, 23-28.
- Yuzhu, Q., Jinyong, P., Yang, L., Jie, M. and Xiaolong, W. (2013). "A study on variation characteristics of shallow geotemperature in Tianshui in recent 50 Years". *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 35, 317-322.
- Yüksel, O. (1985). *Toprak Sıcaklığına Meteorolojik Elemanların Etkileri*. T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Zengin, M. ve Özbahçe, A. (2011). *Bitkilerin İklim ve Toprak İstekleri*. Atlas Akademi Yayınları, Konya.
- Zhang, T. (1993). Climate, seasonal snow cover and permafrost temperatures in Alaska North of the Brooks Range. Unpublished Ph.D. thesis, University of Alaska Fairbanks Geophysical Institute, USA.

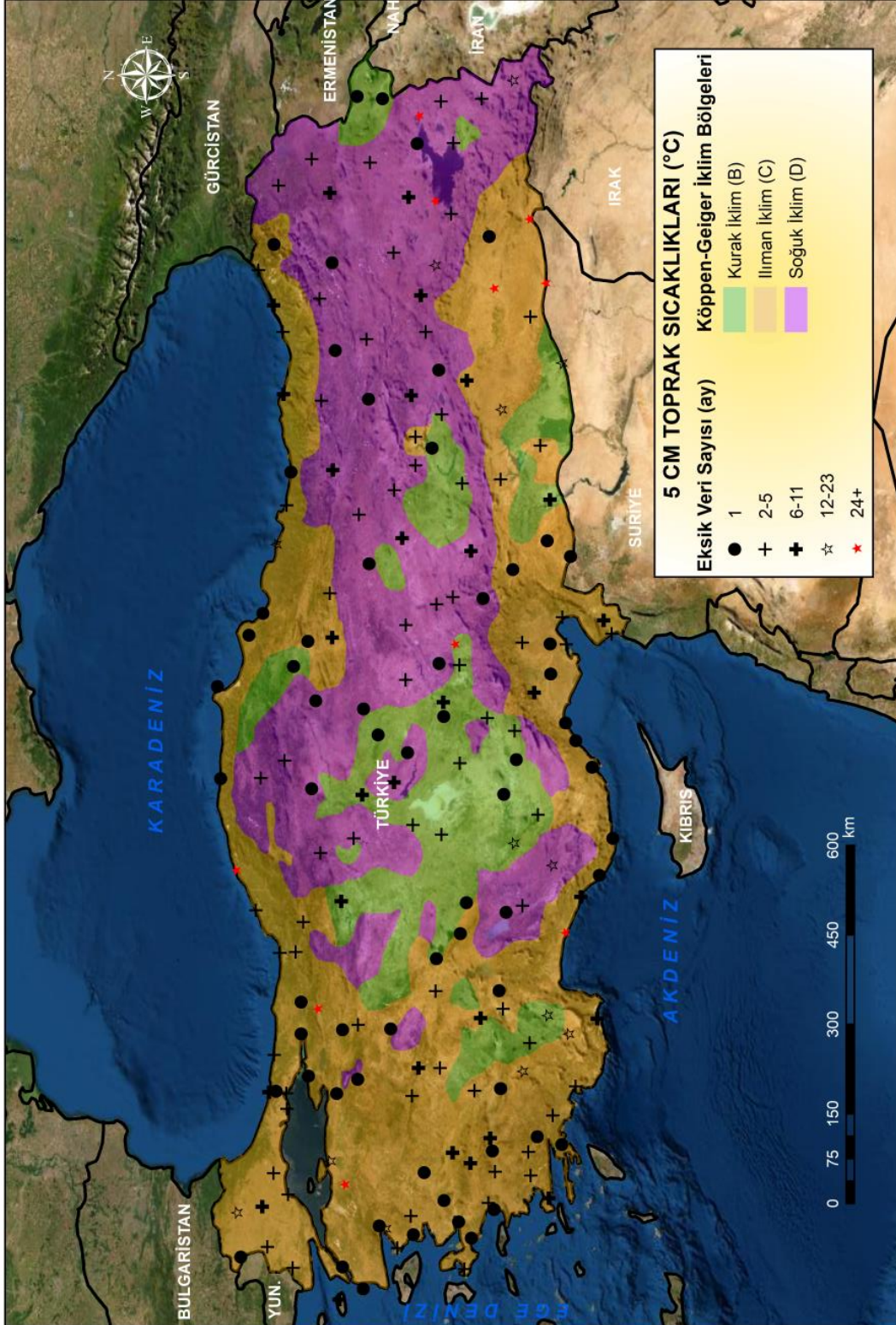
Zhang, T., Barry, R. G., Gilichinsky, D., Bykhovets, S. S., Sorokovikov, V. A. and Ye, J. (2001). "An amplified signal of climatic change in soil temperatures during the last century at Irkutsk, Russia". *Climatic Change*, 49 (1-2), 41-76.



EKLER

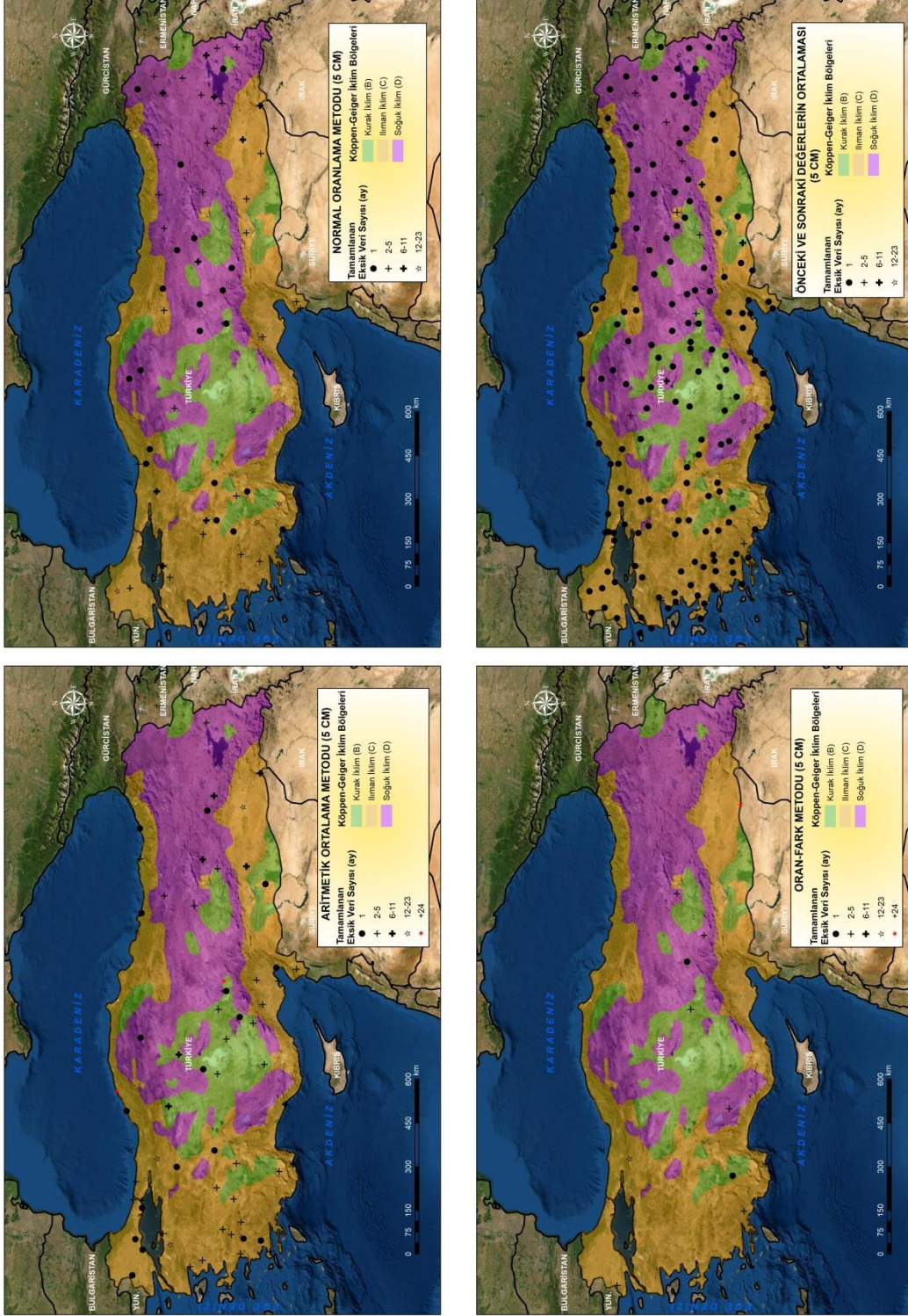
EK 1

TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 5 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENEN EKSİK VERİ SAYISI (AY)



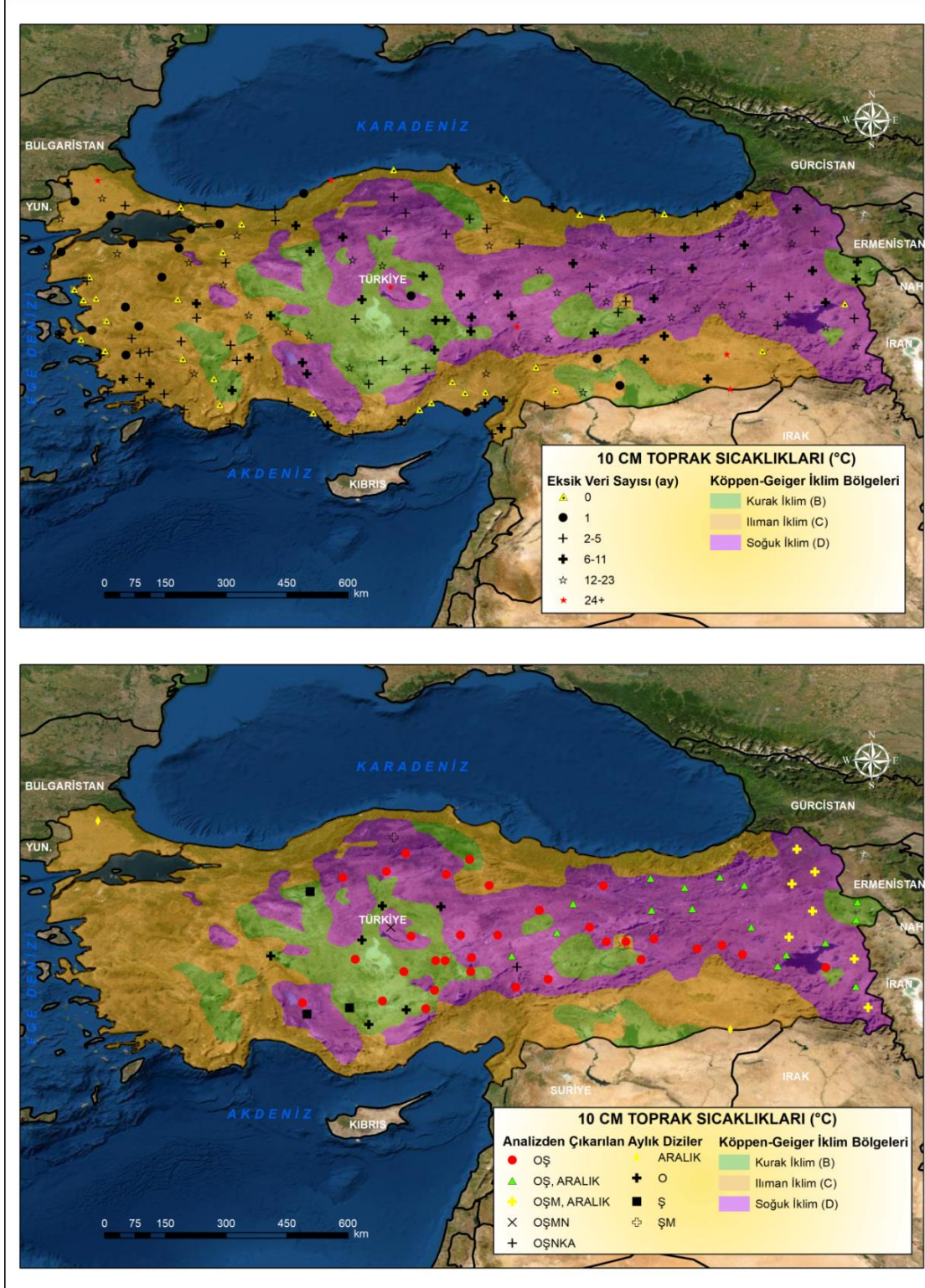
EK 2

TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 5 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENEN ÇEŞİTLİ BÜYÜKLÜKLERDEKİ EKSİK VERİLER (AY) VE SEÇİLEN EKSİK VERİ TAMAMLAMA METOTLARI)



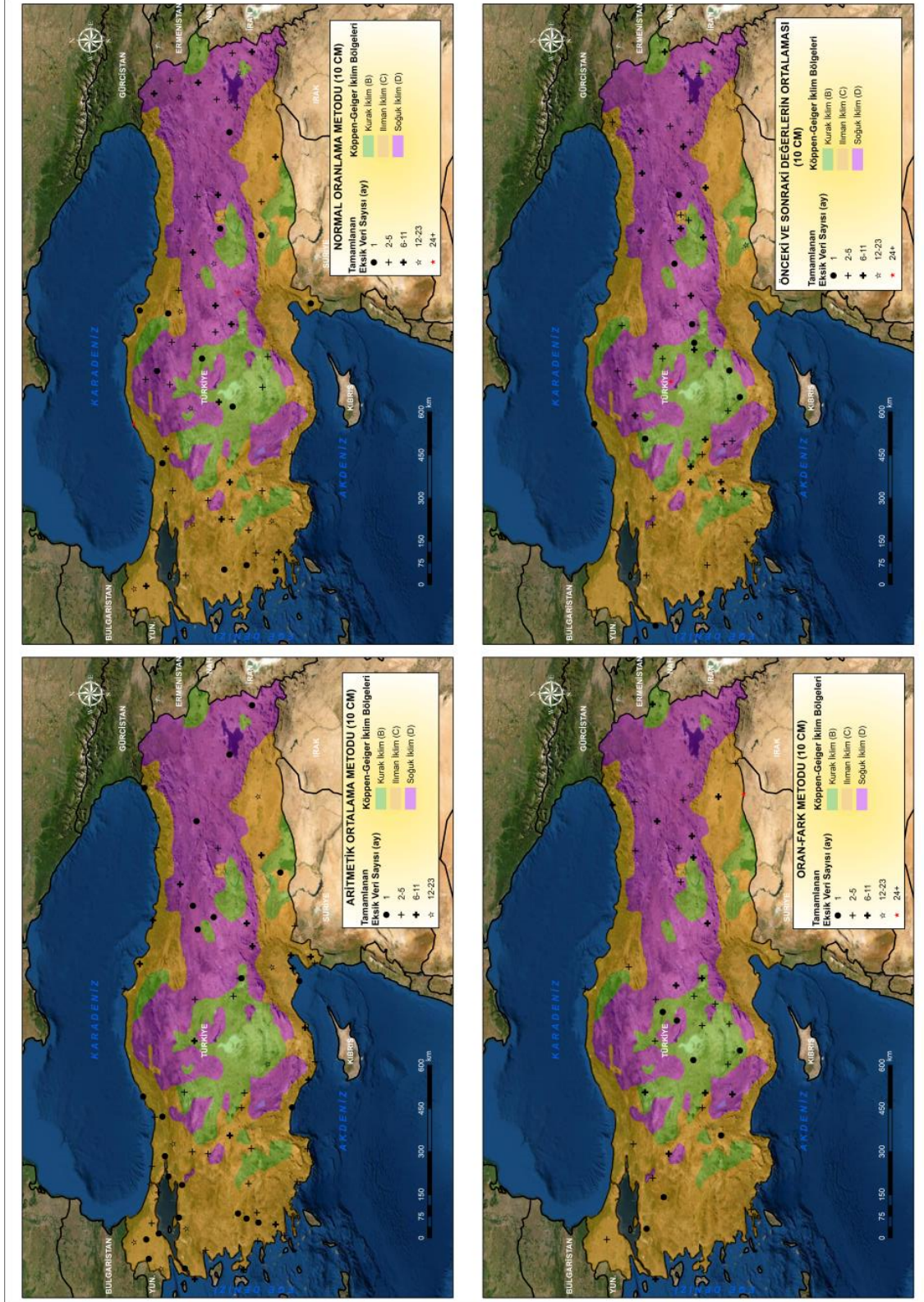
EK 3

TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 10 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENEN EKSİK VERİ SAYISI (AY) VE ANALİZDEN ÇIKARILAN AYLIK DİZİLER



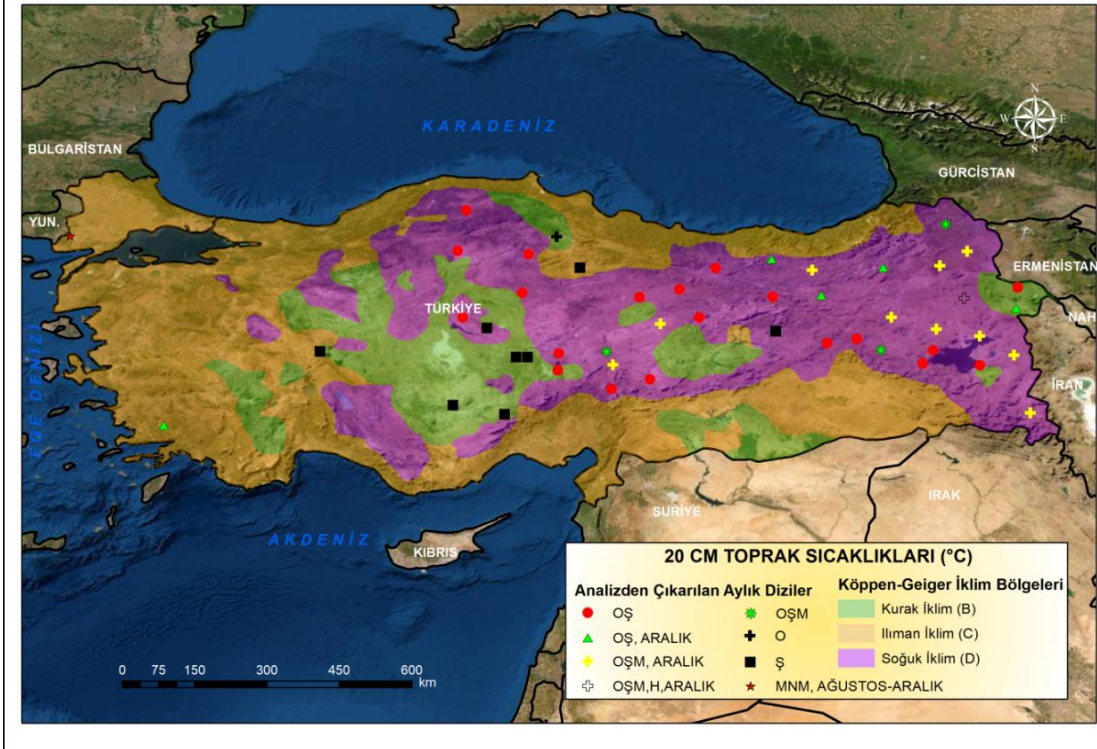
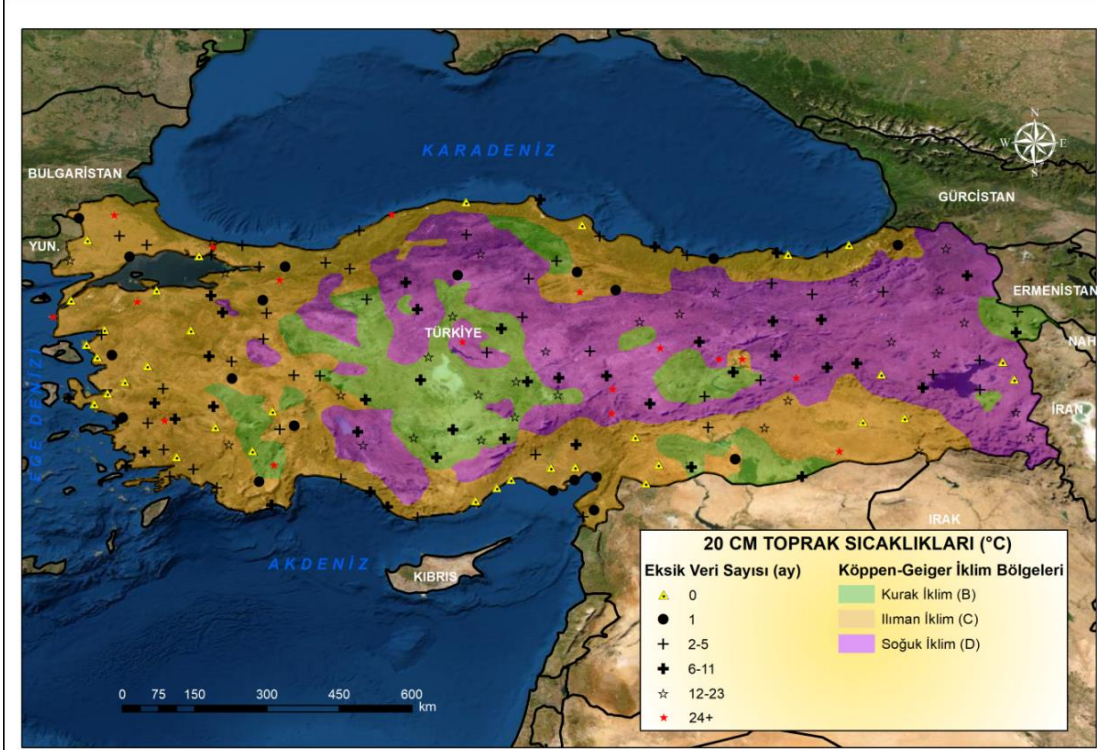
EK 4

TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 10 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENEN ÇEŞİTLİ BÜYÜKLÜKLERDEKİ EKSİK VERİLER (AY) VE SEÇİLEN EKSİK VERİ TAMAMLAMA METOTLARI



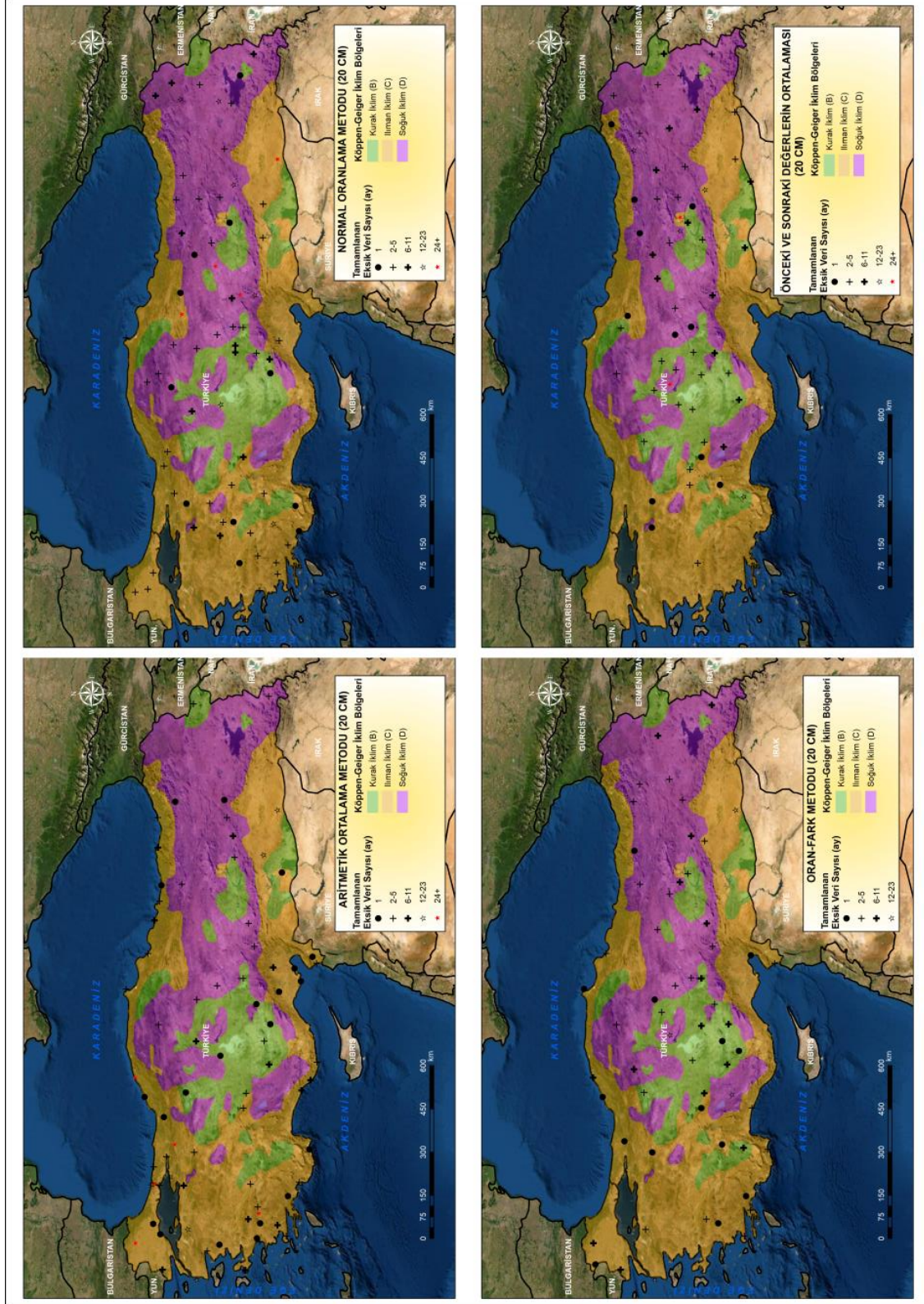
EK 5

TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 20 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENEN EKSİK VERİ SAYISI (AY) VE ANALİZDEN ÇIKARILAN AYLIK DİZİLER



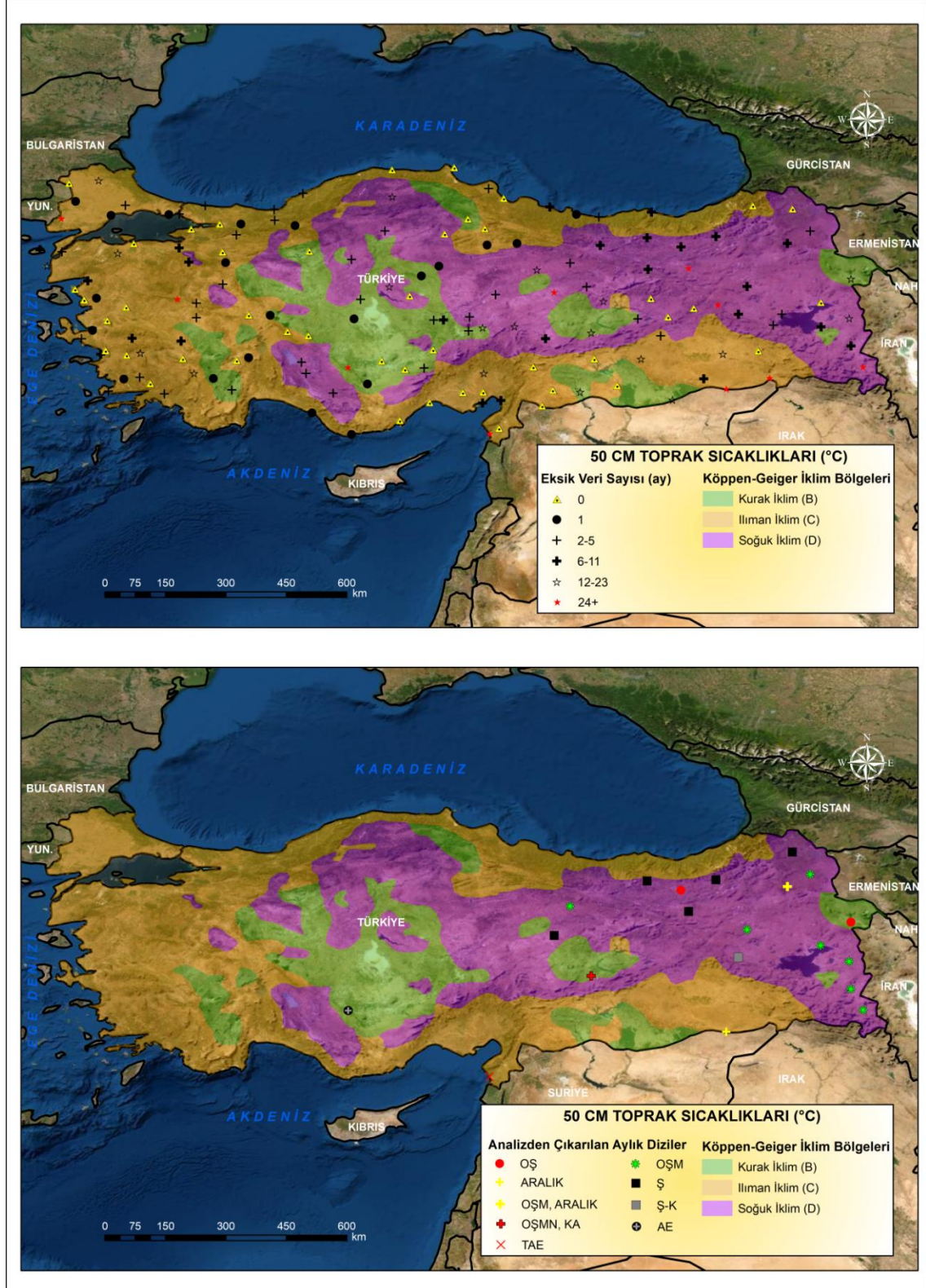
EK 6

TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 20 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENEN ÇEŞİTLİ BÜYÜKLÜKLERDEKİ EKSİK VERİLER (AY) VE SEÇİLEN EKSİK VERİ TAMAMLAMA METOTLARI



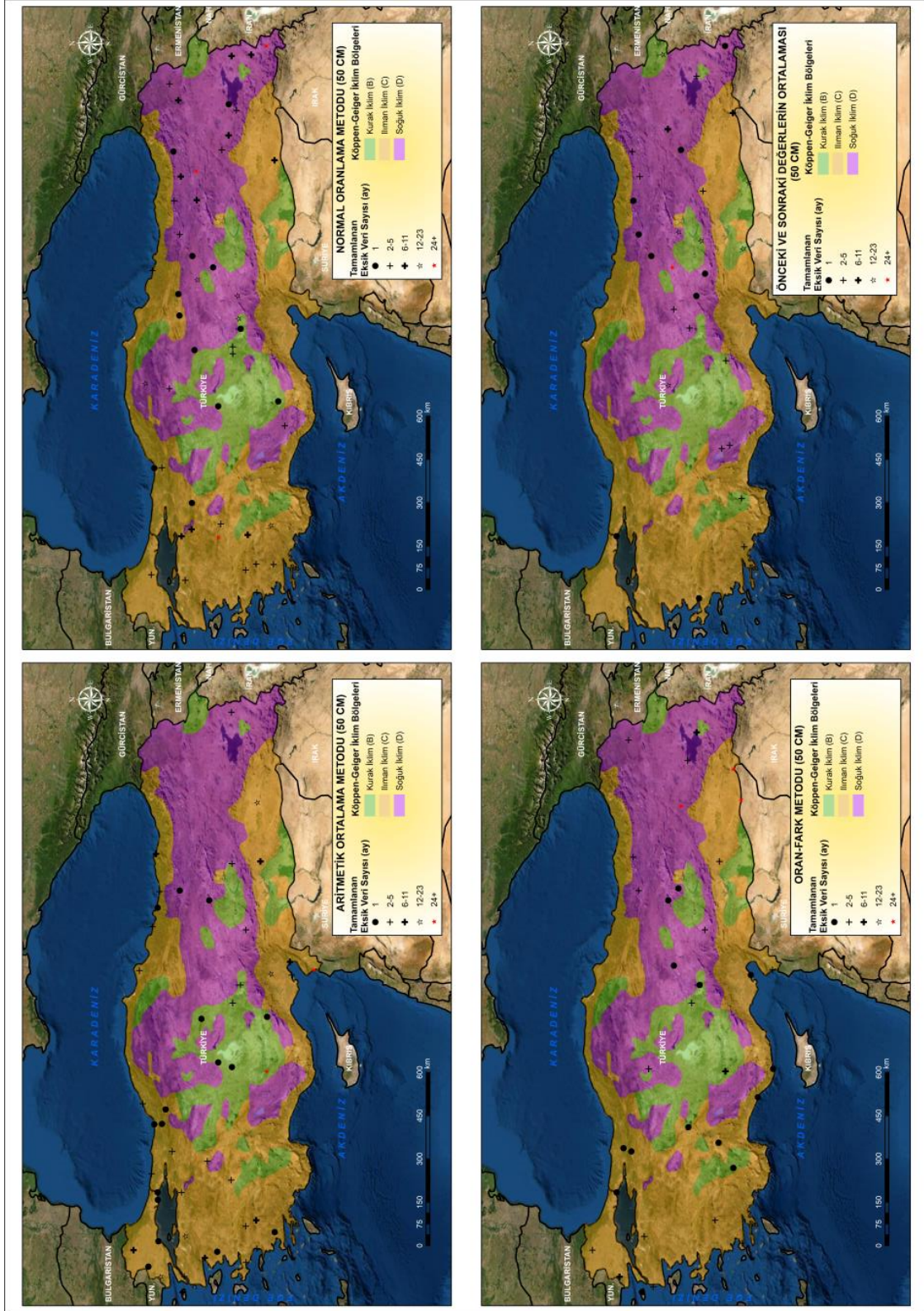
EK 7

TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 50 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENEN EKSİK VERİ SAYISI (AY) VE ANALİZDEN ÇIKARILAN AYLIK DİZİLER



EK 8

TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 50 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENEN ÇEŞİTLİ BÜYÜKLÜKLERDEKİ EKSİK VERİLER (AY) VE SEÇİLEN EKSİK VERİ TAMAMLAMA METOTLARI



EK 9

TÜRKİYE'DE 1975-2018 PERİYOTLU 100 CM TOPRAK SICAKLIK VERİSİNDE GÖZLENEN EKSİK VERİ SAYISI (AY) VE ANALİZDEN ÇIKARILAN AYLIK DİZİLER

