



Hava sıcaklığı ile farklı derinlikte toprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler: Bartın ili örneği, Türkiye

İlyas Bolat ^{1*}

¹ Bartın Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Toprak İlimi ve Ekolojisi Anabilim Dalı, 74100, Bartın

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 12/07/2023

Kabul Tarihi: 02/11/2023

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1326564>

* Sorumlu yazar:

ilyasbolat@bartin.edu.tr

ÖZ

Toprak sıcaklığı bir yandan toprakta gelişen fiziksel ve kimyasal olayları, öte yandan canlıların yaşayışını etkilediği için çok önemlidir. Örneğin toprak sıcaklığı bitki köklerinin sağlığını, topraktaki karbon ve azot dönüşümlerini/transformatasyonunu, evapotranspirasyon oranını, bitkisel hastalıkları ve toprak hidrolojisini etkiler. Bu araştırmanın amacı, hava sıcaklığının toprağın farklı derinlikteki toprak sıcaklığına olan etkilerini incelemektir.

Çalışmada 1980–2021 yılları arasında hava sıcaklığı ve farklı derinliklerdeki (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm) toprak sıcaklığları dönemsel verileri kullanılmıştır. İlgili sıcaklık verilerinin değerlendirilmesinde basit doğrusal regresyon modeli ve tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) kullanılmıştır. 42 yıllık dönem içerisinde aylık ortalama 5 cm toprak sıcaklığı (AO5cmTS) en düşük ocak ayında (4,4°C) ve en yüksek temmuz ayında (26,4°C) tespit edilmiştir. Öte yandan farklı derinlikteki yıllık ortalama toprak sıcaklığı (YOTS) sonuçlarının en düşük 13,4°C ile 1985 ve 1992 yıllarında 20 cm toprak derinliğinde ve en yüksek 17,1°C ile 2014 yılında 20 cm toprak derinliğinde olduğu belirlenmiştir. Bartın’da 1980–2021 yılları arası aylık ortalama hava sıcaklığı ile toprak sıcaklığı arasında pozitif ve doğrusal ($r = 0,9994$) olan en kuvvetli ilişki 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık (AO10cmTS) arasında bulunmuştur. Bu kuvvetli ilişkinin regresyon modeli $y=1,2009x - 0,3205$ ’dir. Öte yandan hava sıcaklığı ile toprak sıcaklığı arasında diğerlerine göre daha zayıf olan ilişki 100 cm toprak derinliğinde bulunmuştur. Sonuç olarak 1980–2021 yılları arasında toprak derinlik kademelerindeki toprak sıcaklığı değişimlerinin hava sıcaklığındaki değişime benzerlik gösterdiği, yıllık ortalama hava sıcaklığı değerlerinin devamlı üstünde ve bu farkın yaklaşık 2°C olduğu ortaya çıkmıştır.

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler: Atmosfer, Bartın, güneş enerjisi, ısı iletimi, regresyon modeli, toprak

Relationships between air temperature and soil temperature at different depths: The case of Bartın province, Türkiye

ABSTRACT

Soil temperature is very important because it affects the physical and chemical events developing in the soil, on the one hand, and the life of living things, on the other hand. For example, soil temperature affects the health of plant roots, soil carbon and nitrogen transformation, evapotranspiration rate, vegetative diseases, and soil hydrology. The purpose of this research is to examine the effects of air temperature on soil temperature at different depths of the soil. In the study, periodic data on air temperature and soil temperatures at different depths (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm, and 100 cm) between 1980 and 2021 were used. Simple linear regression model and one-way analysis of variance (One-way ANOVA) were used to evaluate the relevant temperature data. During the 42-year period, the monthly average soil temperature of 5 cm (AO5cmTS) was lowest in January (4.4°C) and highest in July (26.4°C). On the other hand, the annual average soil temperature (AAST) results at different depths were determined to be the lowest at 13.4°C in 1985 and 1992 at 20 cm soil depth and the highest at 17.1°C in 2014 at 20 cm soil depth. The strongest positive and linear ($r = 0.9994$) relationship between monthly average air temperature and soil temperature in Bartın between 1980 and 2021 was found between the temperature at 10 cm soil depth (AO10cmTS). The regression model of this strong relationship is $y = 1.2009x - 0.3205$. On the other hand, a weaker relationship between air temperature and soil temperature was found at 100 cm soil depth. As a result, it was revealed that the soil temperature changes in the soil depth levels between 1980 and 2021 were similar to the change in air temperature, constantly above the annual average air temperature values, and this difference was approximately 2°C.

Key Words: Atmosphere, Bartın, solar energy, heat conduction, regression model, soil

Bu makaleye atıf:

Bolat, İ., 2023. Hava sıcaklığı ile farklı derinlikte toprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler: Bartın ili örneği, Türkiye. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 9(2), 144-149.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriş

Dünya yüzeyinin bir dizi meteorolojik parametreden etkileneneği tahmin edilmektedir. Sıcaklık, basınç, nem, rüzgâr, yağış, güneş radyasyonu gibi meteorolojik parametreler atmosferde birbirilerini etkileyen ve ilişkili olan değişkenlerdir. Belirtilen bu meteorolojik parametreler toprağı ve toprak sıcaklığını doğrudan etkilemektedir (Islam et al., 2015). Ancak bunların arasında coğrafi koşulları ve yaşam etkinliklerini çok yakından kontrol eden iklim öğesi atmosferin sıcaklığıdır. Yeryüzünün tek enerji kaynağı olan güneş atmosfer sıcaklığının da kaynağıdır. Güneşten gelen enerjinin önemli bir bölümü atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşır ve oradaki katı ve sıvı cisimleri ısıtarak ısı enerjisi haline döner. İşte atmosferi de ısıtan, doğrudan doğruya güneşten gelen görünür veya görünmez ışınlardan çok, yeryüzünden atmosfere geçen bu ısı enerjisidir. Onun için atmosferin alt katları daha sıcaktır. Hâlbuki mantıken atmosferin doğrudan doğruya güneş ışınlarına karşı olan üst katlarının daha sıcak olması gerektiği düşünülebilir. Ancak durum öyle değildir. Çünkü atmosferin yerden aldığı enerji (%39), güneşten aldığı enerjiye (%15) oranla daha fazla olmaktadır. İşte atmosferin alt katlarının daha sıcak olmasının nedenlerinden birisi de bu alttan ısınmasıdır (Erol, 2004).

Toprak sıcaklığı, toprağın ısı kazancı ile ısı kaybı arasındaki dengedir. Genel olarak toprak sıcaklığını, bölgesel ve lokal iklim koşulları etkiler. Bununla birlikte toprak sıcaklığının kaynağı güneş ışınlarıdır. Yani toprak sıcaklığını, zemine ulaşan radyasyon miktarı ve zeminin albedosu tayin eder. Gündüzün toprağın ısınması ile sıcaklık, yukarıya doğru nakledilerek havaya doğru bir hareket meydana gelir. Geceleyin ise durum tamamen aksine döner, soğuk hava yerçekiminin tesiri ile yüzeyi kaplar, bu arada soğuk havanın etkisi ile meydana gelen kondüksiyonla gerek toprak gerekse toprak yüzeyindeki hava soğur. Toprak yüzeyinin sıcaklığı, bir kaide olarak alt toprak sıcaklığını etkiler; bu etki sıcak havalarda daha fazla olur. Bulutlu hava şartlarında ve ıslak topraklarda, sıcaklığın yüzeyden derinlere doğru ilerlemesi daha yavaş olur. Yüzeydeki sıcaklığın toprak katındaki günlük ilerlemesi 25–75 cm arasında değişir (Çepel, 1996; Atalay, 2006). Kantarcı (2000)'ya göre toprak sıcaklığının üç kaynağı vardır. Bu kaynaklardan en etkili güneş enerjisidir. İkinci kaynak toprak içindeki kimyasal ve mikrobiyolojik olaylar sonucunda ortaya çıkan ısı enerjisidir. Üçüncü kaynak ise yerin derinliklerinden gelen ısı enerjisidir. Fakat bu üçüncü kaynak göz önüne alınmayacak kadar az etkilidir. Toprak güneş enerjisi ile gündüz ısınır, gece ise bu ısının bir kısmını geri verir.

Daha önce ifade edildiği üzere toprak sıcaklığı, yeryüzüne ulaşabilen güneş enerjisi ile bazı fiziksel toprak özelliklerine bağlıdır. Yeryüzüne ulaşabilen güneş enerjisi miktarı üzerinde atmosfer tabakalarının kalınlığı, içindeki katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin cinsi ve miktarı, mevsimler, günün çeşitli saatleri, bitki örtüsü, arazi yüzü şekli, enlem dereceleri, vb. faktörler etkilidir. Atmosfere ait faktörlerin etkisinden dolayı ve yeryüzünden meydana gelen yansıma gibi nedenlerle güneş enerjisinin ancak %50'sine yakın kısmı toprağa ulaşabilir. Toprağın mineral ve organik madde bileşimi, nem içeriği, hava oranı ve rengi gibi fiziksel özellikler doğrudan doğruya veya dolaylı olarak toprak sıcaklığını etkilemektedir. Öte yanda toprak sıcaklığı, anakaya ve minerallerin ayrışması, toprak

canlılarının enerji sağlaması, tohumların çimlenip fide köklerinin gelişmesi üzerinde önemli etkileri olan bir faktördür. Özellikle bitki köklerinin fizyolojik faaliyeti ve gelişimi üzerinde dolaylı ve dolaysız etkilere sahiptir. Kök hücrelerinin faaliyete geçebilmesi için gerekli enerjiyi sağlar. Toprak suyunun kolayca alınabilmesi hususunda da önemli etkileri vardır (Çepel, 1996). Toprakta meydana gelen tüm fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler toprak sıcaklığından etkilenir. Besinlerin ve suyun kökler tarafından alınması, organik maddenin toprak canlıları tarafından ayrışması/ayrıştırılması ve tohumların çimlenmesi gibi biyolojik süreçler, toprak sıcaklığından büyük ölçüde etkilenir. Bu işlemlerden bazılarının hızları, sıcaklıktaki her 10°C artış için iki kattan fazladır (Campbell, 1985).

Toprak sıcaklığı, kar derinliği, bitki örtüsü, toprağın tekstürü ve toprak nemli, organik madde birikimi, topraktaki donma ve erime olayları ile hidrolojik süreçler gibi çeşitli çevresel faktörlere bağlıdır. Toprak sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki, farklı iklimsel parametrelerin etkisi nedeniyle çok karmaşık olsa da (Chudinova et al., 2006), birçok çalışma hava sıcaklığı ile toprak sıcaklığının birbirini takip ettiği sonucuna varmıştır (Araghi et al., 2017; Shati et al., 2018; Khoshhal Jahromi et al., 2021). Dolayısıyla toprak sıcaklığı, zemin yüzeyindeki enerji dengesine bağlı olarak hava sıcaklığı ile iyi bir korelasyon içinde olmalıdır (Zheng et., 1993). Belki de bu yüzden toprak sıcaklığı için hazırlanan en basit modelde, sıcaklığın sabit olduğunu veya günlük, haftalık veya aylık ortalama hava sıcaklığına eşit olduğunu varsaymak olacaktır.

Buradan hareketle bu çalışmanın temel amacı, çeşitli toprak derinlik kademelerindeki (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm) toprak sıcaklıkları ve hava sıcaklığı arasındaki ilişkiyi araştırmak ve meteoroloji istasyonlarından kolayca elde edilebilen fiziksel bir değer olan hava sıcaklığı ile bağlantılı olarak aylık ortalama toprak sıcaklığını hesaplamak için basit denklemler önermektir. Ayrıca hava sıcaklığı ve farklı derinlikte toprak sıcaklığı değerleri arasında istatistik olarak fark (P<0,05) olup olmadığını araştırmaktır. Bu bağlamda yürütölen araştırmada, Bartın Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü'nden temin edilen 1980–2021 yılları arasındaki (42 yıllık süre) hava sıcaklığı ve farklı derinliklerdeki (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm) toprak sıcaklıklarının aylık ve yıllık ortalama değerlerine ilişkin dönemsel verileri kullanılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Araştırma alanının tanıtımı

Çalışma Batı Karadeniz Bölgesi'nin, 41° 53' kuzey enlemi ile 32° 45' doğu boylamı arasında yer alan Bartın ilinde yürütölmüştür. Bartın'ın kuzeyini 59 km uzunluğa sahip sahil şeridiyle Karadeniz çevrelerken, Bartın doğuda Kastamonu, doğu ve güneyde Karabük, batıda ise Zonguldak illeriyle komşudur. İl merkezinin rakımı 25 m'dir (URL–1, 2023). Verilerin temin edildiği Bartın Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü 4608297 kuzey, 446417 doğu (36 UTM) ve 36 m yükseltide bulunmaktadır (URL–2, 2023).

2.2 Veriler

Bu alışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı Bartın Meteoroloji İstasyon Müdürlüğüne ait 1980–2021 yılları dönemsel iklim verileri kullanılmıştır. Bu dönemde sinoptik veya otomatik gözlem yapılan merkez istasyonun Aylık Ortalama Hava Sıcaklığı (AOHS), Yıllık Ortalama Hava Sıcaklığı (YOHS), Aylık Ortalama 5 cm Toprak Sıcaklığı (AO5_{cm}TS), Aylık Ortalama 10 cm Toprak Sıcaklığı (AO10_{cm}TS), Aylık Ortalama 20 cm Toprak Sıcaklığı (AO20_{cm}TS), Aylık Ortalama 50 cm Toprak Sıcaklığı (AO50_{cm}TS) ve Aylık Ortalama 100 cm Toprak Sıcaklığı (AO100_{cm}TS) verileri değerlendirilmiştir. Yıllık ortalamalar, takvim yılında on iki ayın aritmetik ortalaması olarak düzenlenmiştir. Kırk iki (42) yıllık ortalamalar, aylık toplamların 42'ye bölünmesiyle elde edilmiştir.

2.3 Verilerin değerlendirilmesi ve istatistiksel analiz

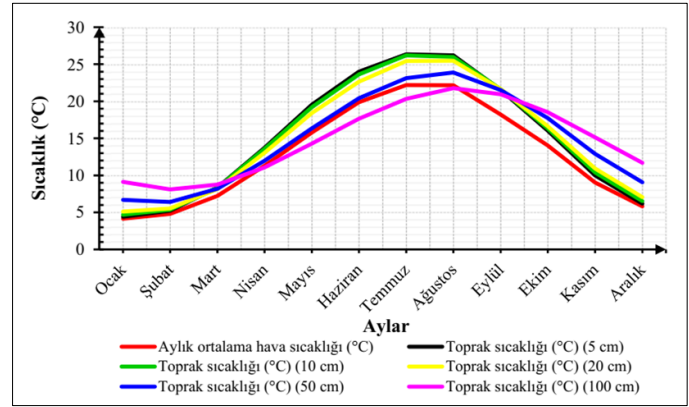
Çalışmada kullanılan sıcaklık verilerinin değerlendirilmesinde Basit Doğrusal Regresyon Modeli (BDRM) kullanılmıştır. Bununla birlikte hava sıcaklığı ve farklı derinlikte toprak sıcaklığı değerleri arasında istatistiksel olarak fark ($P < 0,05$) olup olmadığı tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) ile ortaya konulmuştur. Varyans analizi sonucunda F test istatistiksel olarak önemli ise hangi grup ortalamalarının diğerlerinden farklı olduğunu, farklılığın hangi gruptan kaynaklandığını ortaya koymak gerekir. Bunun için çoklu karşılaştırma testlerinden birisi olan Tukey HSD testi kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Aylık ortalama sıcaklıklar

Yapılan bu çalışmada 1980–2021 yılları arasını kapsayan dönemde (42 yıllık süre) AOHS en düşük ocak ayında ($4,2^{\circ}\text{C}$) ve en yüksek temmuz ayında ($22,3^{\circ}\text{C}$) tespit edilmiştir. Bu dönem içerisinde AO5_{cm}TS en düşük ocak ayında ($4,4^{\circ}\text{C}$) ve en yüksek temmuz ayında ($26,4^{\circ}\text{C}$) tespit edilmiştir (şekil 1). şekil 1 incelendiğinde AO100_{cm}TS'nin, nisan ayından eylül ayına kadar hem aylık ortalama hava sıcaklığından hem de diğer toprak derinliği sıcaklıklarından daha düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu aydan (eylül ayı) itibaren AO100_{cm}TS, AOHS ve diğer toprak derinliği sıcaklıklarından daha yüksektir. Toprak sıcaklığının değişimi, hava sıcaklığına bağlı olarak cereyan etmektedir. Günlük hava sıcaklığı değişimleri toprağın st kısımlarını (30–40 cm derinliğe kadar) etkilemektedir. Derinlerde, rneğin 60 cm toprak derinliğinde gece ile gündüz arasında ancak $1-2^{\circ}\text{C}$ 'lik bir değişim meydana gelmektedir. Fakat uzun süreli mevsimlik etkiler, daha derinlere inebilmektedir (epel, 1996). Öte yandan sıcaklığa bağlı olarak bitkilerin gelişmesi üzerinde rol oynayan en önemli faktör, normal gelişimi sağlayan sıcaklığın bulunduğu devrenin sresidir. Bu dereye "vegetasyon devresi" veya "vegetasyon periyodu" denmektedir (epel, 1995). Vegetasyon devresi, bitkilerde büyümeyi başlatan sıcaklıkla, büyümenin durduğu sıcaklıklar arasında geçen süredir. Bu süre, her bitkiye ve her bölgeye göre az çok fark etmekle beraber, bitkilerin yetişme şartlarıyla ilgili çalışmalarda, genelde $+5^{\circ}\text{C}$ alt sınır, $+10^{\circ}\text{C}$ st

sınır olarak kullanılmaktadır. Rubner'e göre vegetasyon devresi, aylık ortalama sıcaklığın 10°C 'nin başlangıç ve bitimi arasında geçen süredir. Toprak sıcaklığının nemi Campbell (1985) tarafından řu şekilde açıklanmaktadır: bazen bitkinin yer üstü kısımlarının/parçalarının büyümesi, hava sıcaklığından çok toprak sıcaklığıyla daha yakından ilişkilidir. Orman ağaçları için vegetasyon devresini, aylık ortalama sıcaklıklarını $+10^{\circ}\text{C}$ ve daha yüksek olan aylar oluşturmaktadır. Orman ağaçları bütün yaşam aktivitelerini bu devrede gösterirler. Bu devre ne kadar uzun olursa organik madde de o kadar çok olacak demektir (epel, 1995; Aydınz, 2010). Bu açıklamalara göre şekil 1 incelendiğinde farklı toprak derinlik kademelerinde (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm) toprak sıcaklığının nisan ayında $+10^{\circ}\text{C}$ 'nin üstüne çıktığı ve kasım ayında $+10^{\circ}\text{C}$ 'nin altına indiği görüldüğünden, Bartın'da vegetasyon periyodunun nisan ayında başladığı ve kasım ayında son bulduğu söylenebilir.



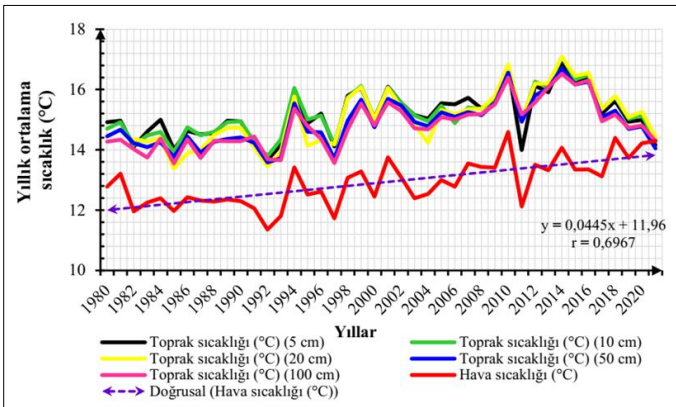
şekil 1. Aylık ortalama hava sıcaklığı ile farklı derinlik kademelerinde toprak sıcaklığının 1980–2021 dönemi arasında aylara göre değişimi

Ayrıca ilkbahar ve yaz mevsimlerinde toprak sıcaklığının st derinlik kademelerinde (5 cm ve 10 cm gibi) daha yüksek, sonbahar ve kiş mevsimlerinde ise alt derinlik kademelerinde (50 cm ve 100 cm gibi) daha yüksek olduğu görülmektedir (şekil 1). Bunun nedeni sonbahar ve kiş mevsimlerinde (sırasıyla 285,75 mm ve 380,81 mm) ilkbahar ve yaz mevsimlerine (sırasıyla 218,17 mm ve 202,29 mm) göre daha fazla yağan yağmurlardan (Bolat, 2011; Bolat et al., 2015; Bolat and şenşoy, 2023a) dolaylı toprağın nem içeriğinin yüksek olması olabilir. Nitekim Kantarcı (2000)'ya göre toprakta suyun miktarı, toprağın ısınma kapasitesi (zgl ısı) ile ısı iletkenliğini ve sıcaklığını önemle etkilemektedir. Isı iletkenliği su miktarı arttıkça artmaktadır. Toprağın sıcaklık iletkenliği ise su miktarına bağlı olarak önce artmakta fakat daha sonra azalmaktadır (Kantarcı, 2000). Diğer taraftan sonbahar ve kiş mevsimlerinde st derinlik kademelerinde (5 cm ve 10 cm gibi) toprakta llen bu sıcaklık düşüklüğünün nedeni soğuk yağış sularının toprağın st kesimine sızmalarından ileri gelebilir. Öte yandan Atalay (2006)'da genellikle ılıman iklim bölgelerinde sonbahar ve kiş mevsimlerinde, toprak sıcaklığının hava sıcaklığından daha yüksek olduğunu bildirmektedir. Yrtlen bu araştırmada da benzer yönde sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuç üzerinde toprak neminin etkisinin olabileceği düşünülmektedir. Nitekim nemli toprağın yer sıcaklığı üzerindeki etkisi oldukça farklıdır. nkn toprağı ısılatmış olan suyun özgül ısısı yüksektir ve çok enerji aldığı halde az ısınır.

Yine aynı nedenle nemli toprak geç soğur. Bu özelliği ile nemli toprak kuru yerle su yüzeyleri arasında bir ortam oluşturmaktadır (Erol, 2004). Ayrıca daha önce yapılan bazı çalışmalarda (Beltrami et al., 2005; Zhang et al., 2021) güneş radyasyonu, yağışlar, bitki örtüsü ve yüzey hava sıcaklığındaki değişiklikler gibi birçok farklı faktörün toprak sıcaklığını değiştirmede etkili olan başlıca faktörler olduğu bildirilmektedir. Bütün bunların yanında Bartın için yapılan bu çalışmada, toprak sıcaklığının yıl içindeki farklarının üst derinlik kademelerinde fazla olduğu halde, alt derinlik kademelerinde nispeten daha az olduğu görülmektedir (Şekil 1).

3.2 Yıllık ortalama sıcaklıklar

Bartın'da 42 yıllık zaman içerisinde YOHS en düşük 11,36°C ile 1992 yılında, en yüksek 14,59°C ile 2010 yılında ölçülmüştür (Şekil 2). Ayrıca BDRM'ye göre son 42 yıl içerisinde YOHS'nin artış eğiliminde olduğu ($r=0,6967$) belirlenmiştir (Şekil 2). Öte yandan farklı derinlikte (5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm) yıllık ortalama toprak sıcaklığı sonuçlarının en düşük 13,4°C ile 1985 ve 1992 yıllarında 20 cm toprak derinliğinde ve en yüksek 17,1°C ile 2014 yılında 20 cm toprak derinliğinde olduğu belirlenmiştir. Toprak derinliğindeki sıcaklık değişiminin yıllar itibariyle hava sıcaklığındaki değişim ile benzerlik gösterdiği, toprak sıcaklığı değerlerinin 2021 yılı hariç olmak üzere diğer yıllarda YOHS değerlerinin devamlı üstünde olduğu ve bu farkın yaklaşık 2°C olduğu söylenebilir (Şekil 2).



Şekil 2. Yıllık ortalama hava sıcaklığı ile farklı derinlik kademelerinde toprak sıcaklığının 1980–2021 dönemi arasında yıllara göre değişimi

Türkiye'de son 25 yıllık dönemde, hem sıcaklık rejimi belirgin olarak daha ılıman ve sıcak koşullara doğru evrilmiş, hem de sıcak hava dalgalarının sıklığında ve şiddetinde önemli değişimler gerçekleşmiştir (Türkeş, 2019). Nitekim 2010–2020 yılları arasında Türkiye ortalama sıcaklığı 14,1°C'dir. Uzun dönem verilerine göre, 1970–2020 yılları arasında ise Türkiye ortalama sıcaklığının 13,2°C olduğu bildirilmektedir. Üstelik aynı çalışmada 1970–2020 yılları arasında Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklığın artış eğiliminde olduğu raporlanmaktadır (URL-3, 2023). Yapılan bir çalışmada (Bolat ve Şensoy, 2023a) basit doğrusal regresyon modeli sonuçlarına göre 2012–2021 yılları arasında Bartın, Zonguldak ve Düzce'de ortalama minimum ve maksimum sıcaklık ile yıllık ortalama sıcaklığın (Bartın; $r = 0,568$, Zonguldak; $r = 0,653$, Düzce; $r = 0,584$) artış

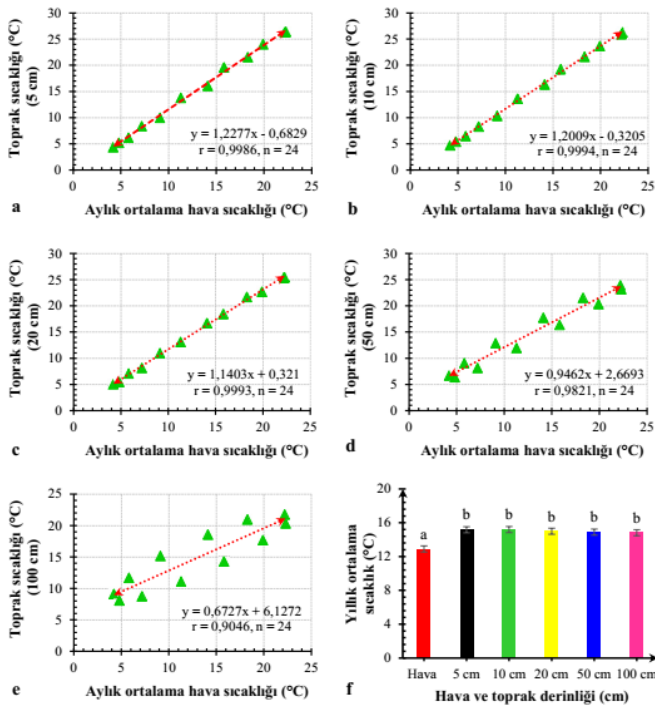
eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 9 Ağustos 2021'de yayımlanan son raporuna (6. Değerlendirme Raporu–AR6) göre küresel anlamda sıcaklık tahmin edilenden çok daha hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Üstelik son 40 yılın her biri, 1850'den bu yana kendisinden önceki 10 yıldan daha sıcak olmuştur. 21. yüzyılın ilk 20 yılında (2001–2020) küresel yüzey sıcaklığı, 1850–1900'dan 0,99°C [0,84–1,10°C] daha yüksektir. Ayrıca raporda 2010–2019 yılları arasındaki sıcaklık artışının 1850–1900 dönemine kıyasla 1°C'den (1,07°C) fazla arttığı bildirilmektedir. Ülkemizin Batı Karadeniz bölgesinde yapılan bir çalışmada (Öztürk et al., 2016) son on bir yılın (2002–2012) yıllık ortalama sıcaklığı, ilk yirmi yılın (1982–2001) ortalama sıcaklığından yaklaşık 0,7°C daha yüksek olarak bulunmuş ve aradaki bu sıcaklık farkı sessiz iklim ısınmasının bir işareti olarak değerlendirilmiştir. Benzer olarak Sinop ve Kastamonu İllerini kapsayan bir çalışmada, küresel ısınmanın işareti olarak bölgesel ölçekte sıcaklıkların artış eğiliminde olduğunu, yağış rejimi ve dağılımında da değişimlerin gerçekleştiğini ortaya koyan bulguların varlığından söz edilmektedir (Bolat ve Şensoy, 2023b).

3.3 Aylık ortalama hava sıcaklığı ile farklı derinlikteki toprak sıcaklığı arasındaki ilişkiler

Bartın'da 1980–2021 yılları arası aylık ortalama hava sıcaklığı ile toprak sıcaklığı arasında pozitif ve doğrusal ($r = 0,9994$) olan en kuvvetli ilişki 10 cm toprak derinliğinde belirlenmiştir (Şekil 3b). Bu kuvvetli ilişkinin regresyon modeli $y=1,2009x-0,3205$ 'dir. Buna karşılık aylık ortalama hava sıcaklığı ile toprak sıcaklığı arasında pozitif ve doğrusal ($r = 0,9046$) olan, ancak diğerlerine göre daha zayıf ilişki 100 cm toprak derinliğinde bulunmuştur (Şekil 3e). Bu ilişkinin regresyon denklemi ise $y=6727x+6,1272$ 'dir. Aylık ortalama hava sıcaklığı ile diğer toprak derinliğine ait sıcaklıklar arasındaki regresyon modelleri ve korelasyonlar, Şekil 3a, c ve d'de verilmiştir. Bu araştırmada, hava sıcaklığı ile farklı derinlik kademelerindeki toprak sıcaklıkları arasında ortaya çıkan korelasyonlar pozitif yönde, doğrusal ve kuvvetli bir ilişkinin olduğunu belirtmektedir. Nitekim daha önce yapılan bazı çalışmalarda (Hu and Feng, 2005; Nuruddin and Tokiman, 2005; Chudinova et al., 2006; İslam et al., 2015; Zhang et al., 2021) da toprak sıcaklığının normalde hava sıcaklığı ile yakından ilişkili olduğu ve zamansal değişimlerinin genellikle benzer özellikler gösterdiği vurgulanmaktadır. Ayrıca bu çalışmada elde edilen diğer bir sonuç, hava sıcaklığının tüm derinliklerde toprak sıcaklığını etkilediği, üzerinde önemli etkilere sahip olduğu, ancak bu etkinin derinlikle düştüğünün belirlenmiş olmasıdır. Bazı araştırmacılar (İslam et al., 2015; Zhang et al., 2021) yapmış oldukları çalışmalarda toprak derinliğinin artmasıyla birlikte hava sıcaklığı ile toprak sıcaklığı arasındaki ilişkinin zayıfladığını belirtmişlerdir.

Öte yandan 1980–2021 yılları arasında toprak derinlik kademelerindeki ortalama sıcaklıklar ve hava sıcaklığı arasında istatistiksel açıdan önemli ($P<0,05$) fark olduğu belirlenmiştir. Gruplar arası çoklu karşılaştırma testi (Tukey HSD) sonucuna göre ise ortalama hava sıcaklığı bir grupta yer alırken, farklı derinlikteki ortalama sıcaklık değeri sonuçları farklılık göstermeyerek istatistiksel olarak aynı grup içerisinde yer almıştır (Şekil 3e). Bartın'da 1980–2021 yılları arasındaki

ortalama hava sıcaklığının 12,91°C olduğu ortaya çıkmıştır. Bu periyod (42 yıl) içerisinde toprak derinlik kademelerine göre ortalama toprak sıcaklık sonuçları 15,17°C (5 cm), 15,20°C (10 cm), 15,00°C (20 cm), 14,90°C (50 cm) ve 14,83°C (100 cm) olarak tespit edilmiştir. Her ne kadar aralarında istatistiksel olarak fark çıkmasa da bu sonuçlara göre toprak sıcaklığının 20 cm derinlik kademesinden sonra nispeten azalışa geçtiği görülmüştür. Atalay (2006)'a göre dünya ölçüsünde toprak sıcaklığı değişmesinde bölgelere göre çok önemli farklar bulunur. Örneğin nemli tropikal bölgelerde yıllık ortalama sıcaklık 25–30°C, tropikal çöllerde 35°C, orta kuşakta 18°C ve arktik bölgelerde temmuz ayında 10°C civarındadır. Türkiye, 36°–42° kuzey paralelleri ile 26°–45° doğu meridyenleri arasında yer aldığından kuzey yarım kürede, orta–ılıman kuşaktadır. Bu durumda çalışma sonucunda elde edilen yıllık ortalama toprak sıcaklıklarının orta kuşak için ifade edilen yıllık ortalama 18°C değerinin nispeten altında olduğu söylenebilir (Şekil 3f).



Şekil 3. 1980–2021 yılları arası aylık ortalama hava sıcaklığı ile toprak sıcaklığı (5 cm) (a), (10 cm) (b), (20 cm) (c), (50 cm) (d) ve (100 cm) (e) arasındaki ilişki ile sıcaklıkların istatistiksel farkı (f); sütunlar ortalama ± standart hatayı ifade etmektedir. Farklı harfler P<0,05 önem düzeyinde ortalamalar arasında fark olduğunu göstermektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada elde edilen sonuçlar, toprak sıcaklığındaki değişimin yüzeye yakın derinliklerde (5 cm ve 10 cm gibi) daha yüksek olduğunu, alt derinlik kademelerinde ise azalış göstererek meydana geldiğini işaret etmektedir. Bununla birlikte toprak sıcaklığının mevsimsel farklılık gösterdiği ve yıl içindeki farklarının üst derinlik kademelerinde fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca 1980–2021 yılları arasında farklı derinlik kademelerinde toprak sıcaklığı değişimlerinin hava sıcaklığındaki değişime benzerlik gösterdiği ve artış yönünde

oldukları, ancak toprak sıcaklığı değerlerinin 2021 yılı hariç diğer yıllarda YOHS değerlerinin devamlı üstünde ve bu farkın yaklaşık 2°C olduğu ortaya çıkmıştır. Basit doğrusal regresyon analizi, incelenen tüm derinliklerde zemin sıcaklığının hava sıcaklığı ile yakından ilişkili olduğunu ve aralarındaki korelasyonun, özellikle aylık değerler için çok yüksek olduğunu göstermiştir. Örneğin hava sıcaklığı ile toprak sıcaklıkları arasındaki korelasyon analizlerinde toprağın 5 cm, 10 cm ve 20 cm derinlik kademelerinde güçlü korelasyonlar (sırasıyla $r = 0,9986$, $r = 0,9994$ ve $r = 0,9993$) elde edilmiştir. Sonraki derinlik kademelerinde (50 cm ve 100 cm) hava sıcaklığı ile toprak sıcaklıkları arasındaki korelasyon azalmaya başlamıştır. Buna rağmen bu çalışmada elde edilen regresyon denklemleri sayesinde herhangi bir nedenden dolayı toprak sıcaklığının ölçülemediği durumlarda hava sıcaklığının ölçülmesi ile toprak sıcaklığı çok düşük bir hata payı ile belirlenebilecektir. Bununla birlikte hava sıcaklığı ve toprak sıcaklığı arasındaki ilişkileri ortaya koyan daha doğru modeller, toprak sıcaklığını belirlemek için toprak içindeki ısı akışının ve toprak yüzeyindeki ısı değişiminin analizini gerektirir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan meteorolojik verilerin (1980–2021 yılları arası) temin edilmesinde yardımcı olan T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Bartın Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü'ne teşekkür ederim. Ayrıca řu zamana kadar maddi ve manevi yardımlarını, özverilerini, desteklerini ve teşviklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen ve her zaman yanımda olan en küçüğünden en büyüğüne tüm aile üyelerime sonsuz şükranlarımı sunarım. Bununla birlikte zaman ayırıp makaleyi değerlendirerek katkılar sağlayan çok kıymetli hakemlere ve dergi editörüne teşekkürü bir borç bilirim.

Kaynaklar

- Araghi, A., Mousavi-Baygi, M., Adamowski, J., 2017. Detecting soil temperature trends in Northeast Iran from 1993 to 2016. *Soil and Tillage Research*, 174, 177–192.
- Atalay, İ., 2006. Toprak Oluşumu, Sınıflandırılması ve Coğrafyası. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Genel Müdürlüğü Yayını, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, 584 s.
- Aydınözü, D., 2010. Trakya'da vejetasyon devresi ve bu devredeki yağışlar. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 18(1), 227–232.
- Beltrami, H., Ferguson, G., Harris, R. N., 2005. Long-term tracking of climate change by underground temperatures. *Geophysical Research Letters*, 32, L19707.
- Bolat, İ. 2011. Kayın, göknar ve göknar-kayın meşcerelerinde üst toprak ve ölü örtüdeki mikrobiyal biyokütle karbon (Cmic), azot (Nmic), fosfor (Pmic) ve mikrobiyal solunumun mevsimsel değişimi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi (Yayımlanmamış), Bartın, 423 s.
- Bolat, İ., Kara, Ö., Tunay, M. 2015. Effects of seasonal changes on microbial biomass and respiration of forest floor and topsoil under Bornmullerian fir stand. *Eurasian Journal of Forest Science*, 3(1), 1–13.

- Bolat, İ., Şensoy, H., 2023a. Analysis of some meteorological data and their variation trends in three provinces of the western black sea region between 2012 and 2021. *Forestist*, 73(3), 220–230.
- Bolat, İ., Şensoy, H., 2023b. 2012–2021 yılları arasındaki bazı meteorolojik verilerin analizi ve değişim eğiliminin irdelenmesi: Sinop ve Kastamonu illeri örneği. *Anatolian Journal of Forest Research*, 9(2), 1–9.
- Campbell, G. S., 1985. *Soil Physics with BASIC: Transport Models for Soil-Plant Systems*. Volume 14, ISBN: 0-444-42557-8, Amsterdam: Elsevier, 148 pp.
- Chudinova, S. M., Frauenfeld, O. W., Barry, R. G., Zhang, T., 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*, Vol. 111, F02008.
- Çepel, N., 1995. Orman Ekolojisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, No 3886/433, ISBN: 975-404-398-1, İstanbul, 536 s.
- Çepel, N., 1996. Toprak İlimi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, No 3945/43, 2. Baskı, ISBN: 975-404-421-X, İstanbul, 288 s.
- Erol, O., 2004. Genel Klimatoloji. 6. Baskı, ISBN 975-7206-31-8, Çantay Kitabevi, 445 s.
- Hu, Q., Feng, S., 2005. How have soil temperatures been affected by the surface temperature and precipitation in the Eurasian continent?. *Geophysical Research Letters*, 32, L14711.
- IPCC., 2021. “Summary for Policymakers”, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Valerie Masson-Delmotte vd., Cambridge University Press, 2021, s. 21.
- Islam, K. I., Khan, A., Islam, T., 2015. Correlation between atmospheric temperature and soil temperature: a case study for Dhaka, Bangladesh. *Atmospheric and Climate Sciences*, 5(03), 200.
- Kantarci, M. D., 2000. Toprak İlimi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, No 4261/462, 2. Baskı, ISBN: ISBN: 975-404-588-7, İstanbul, 420 s.
- Khoshhah Jahromi, F., Sabziparvar, A. A., Mahmoudvand, R., 2021. Spectral analysis of soil temperature and their coincidence with air temperature in Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(2), 72.
- Nuruddin, A. A., Tokiman, L., 2005. Air and soil temperature characteristics of two sizes forest gap in tropical forest. *Asian Journal of Plant Sciences*, 4, 144–148.
- Öztürk, M., Bolat, İ., Gökyer, E., Kara, Ö. 2016. Growth gradients of multi-aged pure oriental beech stands along the altitudinal gradients within a mesoscale watershed landscape. *Applied Ecology and Environmental Research*, 14(4), 101–119.
- Shati, F., Prakash, S., Norouzi, H., Blake, R., 2018. Assessment of differences between near-surface air and soil temperatures for reliable detection of high-latitude freeze and thaw states. *Cold Regions Science and Technology*, 145, 86–92.
- Türkeş, M., 2019. Scientific basis of climate change and impacts on Turkey. Climate change training module series 1, the project co-funded by the European Union and the Republic of Turkey. <http://www.iklimin.org/moduller/bilimmodulu.pdf> [access: 24.05.2023].
- URL–1. (2023). <http://www.bartintso.org.tr>, Bartın Ticaret ve Sanayi Odası web sayfası, (Erişim tarihi: 01.06.2023).
- URL–2. (2023). <https://www.mgm.gov.tr/tahmin/il-ve-ilceler.aspx?il>, Meteoroloji Genel Müdürlüğü web sayfası, (Erişim tarihi: 01.06.2023).
- URL–3. (2023). <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/Turkiye-Ortalama-Sicaklik-2020.pdf>, Meteoroloji Genel Müdürlüğü web sayfası, (Erişim tarihi: 01.05.2023).
- Zhang, H., Yuan, N., Ma, Z., Huang, Y., 2021. Understanding the soil temperature variability at different depths: Effects of surface air temperature, snow cover, and the soil memory. *Advances in Atmospheric Sciences*, 38, 493–503.
- Zheng, D., Hunt, E.R., Running, S.W., 1993. A daily soil temperature model based on air temperature and precipitation for continental applications. *Climate Research*, 2, 183–191.