

Tokat-Kazova Koşullarında Saatlik Toprak Sıcaklıklarının Periyodik Sinüs Dalga Eşitliği ile Tahmini

Tekin ÖZTEKİN¹

Selma ÖZTEKİN²

İrfan OĞUZ³

¹Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 60240, Tokat

²Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, 60240, Tokat

³Tokat Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Tokat

Sorumlu Yazar

e-posta: toztekini@gop.edu.tr

Geliş Tarihi: 04.07.2008

Kabul Tarihi: 15.08.2008

Öz

Toprak sıcaklığı toprak içerisinde bitkisel üretimi etkileyen birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik faaliyeti etkilemektedir. Bu çalışma ile Tokat Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü meteoroloji istasyonunda ölçülmüş 5 ve 10 cm toprak derinliklerindeki günlük ortalama toprak sıcaklıkları ile toprak üstü günlük minimum sıcaklık, günlük ortalama hava sıcaklığı, günlük yağış toplamı, günlük ortalama rüzgar hızı, günlük ortalama bağıl nem ve günlük ortalama radyasyon arasındaki ilişkilerin araştırılması amaçlanmıştır. Bulunan ilişkiler, gün boyunca değişen saatlik toprak sıcaklıklarının belirlenmesi amacıyla, periyodik sinüs dalga eşitliğinde kullanılmıştır. Yılın her ayı için adım-adım çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak geliştirilen günlük ortalama 5 ve 10 cm derinliğindeki toprak sıcaklık regresyon eşitliklerine ait r^2 (determinasyon katsayısı) değerleri 0.65 ile 0.89 arasında değişmiş olup, F testine göre % 1 seviyesinde önemli bulunmuştur. İkibinaltı yılı ilk beş ayı için ölçülen ve tahmin edilen günlük 5 ve 10 cm derinliğindeki ortalama toprak sıcaklıkları arasındaki ortalama sapma ise 0.2 ile 1.2 °C arasında değişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toprak sıcaklığı, pedotransfer eşitlik, modelleme, periyodik sinüs dalga modeli.

Estimation of Hourly Soil Temperatures by Sinus Wave Equation under Tokat-Kazova Conditions

Abstract

Soil temperature is affected by many of physical, chemical and biological processes which affect plant growth. This study examines the relationships between daily average soil temperatures at depths of 5 and 10 cm with those of daily average radiation, relative humidity, wind speed, air temperature, daily minimum soil surface temperature, and daily rainfall depth. The used data were measured at the meteorological station of the Institute of Tokat Soil and Water Resources Research. The relationships were tried to setup with regression equations developed by multiple stepwise regression analysis. The determined relationships were used in the periodic sinus wave equation to estimate hourly soil temperatures which changes during day. According to the F test, the determined relationships were found important at the 0.01 importance level. For the relationships, r^2 , the values of determination coefficient were changed between 0.65 through 0.89. Furthermore, for the first five months of year 2006, average deviations between measured and predicted daily soil temperatures at the depths of 5 and 10 cm were changed between 0.2 and 1.2 °C.

Key Words: Soil temperature, pedotransfer equation, modeling, periodic sinus wave model.

GİRİŞ

Toprak içerisinde meydana gelen tüm fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerin tamamı toprak sıcaklığından etkilenmekte olup, bunlar arasında bitki besin elementlerinin ve suyun bitki kökleri tarafından alınımı, tohum çimlenmesi, bitki gelişimi ve verimi, organik maddenin mikroplar tarafından ayrıştırılması da vardır [1]. Üstelik bitki çevresi enerji dengesi, buharlaşma, toprağın havalanması, suyun hareketi ile toprağın kuruması diğer bir ifade ile drenajı da, toprak sıcaklığından etkilenir. Ek olarak topraktaki bu olayları simüle eden modeller farklı toprak derinliklerindeki toprak sıcaklıklarını da tahmin edebilmektedir.

Toprak sıcaklığı, başlıca toprak yüzeyinde meydana gelen radiyant, latent ve termal enerji değişimlerine bağlı olarak değişmekte olup, toprağın hacim ağırlığı ve nem içeriği ile etkilenen spesifik ısı kapasitesi, ısı iletkenliği ve ısı yayma kapasitesi bu değişkenlikte rol oynar [2]. Toprak sıcaklığını belirlemenin en güvenilir yöntemi, enerji dengesine dayalı yöntemler olmasına rağmen, bu yöntemlerin kullanımı kompleks ve zordur [3]. Öte yandan, birçok araştırmacı, kaba da olsa yıllık toprak içerisinde sıcaklık değişiminin periyodik sinüs dalga modeliyle ifade edilebileceğini [3, 2, 4], fakat günlük sıcaklık değişiminin bu model ile ifade edilmesinde dikkatli olunması gerektiğini vurgulamışlardır. Bulutluluk, soğuk ve sıcak hava dalgaları, kar veya yağmur şeklindeki yağış

şekilleri, kuraklık gibi faktörler [2] günlük değişimi periyodik sinüs dalga modeli şeklinde seyreden toprak sıcaklık değişimlerini fazla miktarda etkileyebilir. Bu çalışma ile günlük bu parametrelerdeki değişkenlikler, regresyon denklemleri yardımıyla toprağa taşınmaya çalışılmıştır. Öte yandan, Arıcı ve Korukçu [5], günlük toprak sıcaklık değişiminin en fazla toprak yüzeyinde meydana gelmekte olduğunu, derinlere inildikçe bu sıcaklık değişiminin azaldığını ifade etmişlerdir.

Birçok temel toprak fiziği ile ilgili kaynak [1, 2, 3], periyodik sinüs dalga eşitliğini kullanarak, toprağın farklı derinliklerindeki sıcaklık değişimini, şekiller ve örnekler ile açıklamıştır. Elias ve ark. [4], periyodik sinüs dalga modelinin makul bir seviyede toprak profil sıcaklığını belirleyebildiğini vurgulayarak, modelin günlük genlik (amplitude) değerinin zamansal değişkenliği için bir düzeltme önermişler, düzeltilmiş ve orijinal eşitliğin performanslarını karşılaştırarak günlük genlik değerinin zamansal değişimi ile ilgili bilginin mevcut olması durumunda, kendi eşitliklerinin kullanılmasını önermişlerdir. Gülser ve Ekberli [6] ise, periyodik kosinüs dalga modelinin bir çözümünü elde ederek bu modelin yüzey altı toprak katmanlarındaki sıcaklık dağılımının tahmininde kullanılabilmesi için, katmanlara ait ortalama sıcaklık katsayısı ve ısıl yayım katsayılarının belirlenmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Rosenberg ve ark. [7] ise, toprak sıcaklık

desenlerinin uzun dönem planlamalar için, hava parametrelerinin (radyasyon, hava sıcaklığı vb.) bir fonksiyonu olarak modellenebileceğini vurgulamışlardır. Yazar ve Kanber [8], Tarsus meteoroloji istasyonuna ait haftalık ortalama hava sıcaklıkları ile 5, 10 ve 20 cm derinliklerdeki toprak sıcaklıklarını kullanarak, aralarındaki ilişkileri araştırmışlar, toprak sıcaklıkları ile hava sıcaklığı ve hafta numaraları arasında doğrusal regresyon eşitlikleri geliştirerek, aralarında yakın bir ilişkinin olduğunu belirlemişlerdir.

Tokat Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü meteoroloji istasyonunda otomatik verilerin alınmaya başlamadığı 1999 yılı ve öncesi için, tek yıllık bitkisel üretimde önemli olan saatlik 5 ve 10 cm derinliklerindeki toprak sıcaklıklarına, zaman zaman ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Tokat-Kazova koşullarında meydana gelen gün boyunca saatlik sıcaklık değişiminin, periyodik sinüs dalga eşitliği ile tahmin edilip edilemeyeceğinin araştırılması ve enstitünün geçmiş yıllara ait saatlik toprak sıcaklıklarını tahmin etmede kullanılabilecek eşitlikler ve katsayıları belirlemektir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu araştırmada, Tokat Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü meteoroloji istasyonunda 2000 – 2006 yılları arasında 5 dakikada ölçüm alınarak hesaplanmış günlük iklim ve toprak sıcaklık değerleri kullanılmıştır. İstasyon otomatik veri ölçme ve kaydetme işlemine 2000 yılında geçmiş olup, 1966 yılından 2000 yılına kadar olan ölçümler günün belirli saatlerinde yapılan rasat okumaları sonucu belirlenmiştir. Dolayısıyla, 2000 yılı öncesi yıllara ait saatlik toprak sıcaklık verileri mevcut değildir. Ayrıca, 2006 yılı hariç otomatik verilerin alındığı yıllara ait saatlik iklim verileri de bir şekilde mevcut değildir. Toprak sıcaklıklarının ölçüldüğü toprak yüzeyi çim örtüsü ile kaplı olup, toprak profilinin ilk 70 cm'si killi tın bünyeli, alt katmanları ise siltli tın bünyelidir [9].

Bu çalışmada, gün boyunca saatlik 5 ve 10 cm derinliklerindeki toprak sıcaklıklarının tahmini için, Hillel [2]'de Eşitlik (9.24) olarak verilen aşağıdaki günlük periyodik sinüs dalga eşitliği kullanılmıştır:

$$T(z, t) = \bar{T}_z + A_z \sin(2\pi t + j) \quad (1)$$

eşitlikte; $T(z, t)$: z toprak derinliğindeki (5 veya 10 cm) günün t 'inci saatindeki (1-24) toprak sıcaklığı (°C); \bar{T}_z : z toprak derinliğindeki günlük ortalama sıcaklık (°C); A_z : günlük z derinliğindeki toprak sıcaklığının genliği (ortalama sıcaklık, \bar{T}_z , ile minimum sıcaklık arasındaki fark) (°C); π : pi katsayısı (3.14159) ve j günlük devre (phase)

sabiti olup $-2\pi \left(\frac{t-1.5}{24} \right)$ 'e eşittir. Buradaki 1.5 saatlik sabit değeri, 5 ve 10 cm toprak derinliklerdeki toprak sıcaklıklarının, yüzey toprak sıcaklığından kayma miktarı olup, gözlenen sıcaklıkların karşılaştırılması sonucu bulunmuştur. Eşitlikteki 5 ve 10 cm toprak derinliklerindeki günlük ortalama sıcaklıklar (\bar{T}_z); Tokat ili ile Turhal ilçe-

si arasında uzanan Kazova yer alan Tokat Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü meteoroloji istasyonunda, 2000 – 2005 yılları arasında otomatik olarak 5 dakikada bir ölçüm alınarak oluşturulmuş toprak 5 ve 10 cm derinliklerindeki günlük sıcaklıkların (bağımlı değişken), yine aynı istasyonda ölçülmüş günlük toprak üstü minimum sıcaklıklar, günlük ortalama hava sıcaklıkları, günlük toplam yağışlar, günlük ortalama rüzgar hızları, günlük ortalama bağıl nem ve günlük ortalama radyasyon verileri (bağımsız değişkenler) ile ilişkilendirilmesi sonucu üretilen çoklu doğrusal regresyon eşitliği kullanılarak bulunmuştur. Ölçüm yıllarının her ayına ilişkin verilerin, kendi aralarında Minitab istatistik programı altında, adım-adım çoklu regresyon analiz yöntemi (multiple stepwise regression analysis) ile ilişkilendirilerek, yılın her ayı için geliştirilen çoklu doğrusal regresyon eşitlikleri, aşağıdaki formdadır:

$$\bar{T}_{5,10} = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_4 + fx_5 + gx_6 \quad (2)$$

Bu eşitlikte, \bar{T}_5 : 5 cm toprak derinliğindeki günlük ortalama toprak sıcaklığı (°C); \bar{T}_{10} : 10 cm toprak derinliğindeki günlük ortalama toprak sıcaklığı (°C); a, b, c, d, e, f ve g regresyon katsayıları; x_1 : ortalama günlük hava sıcaklığı (°C); x_2 : günlük minimum toprak üstü sıcaklık (°C); x_3 : ortalama günlük rüzgar hızı (m/s); x_4 : günlük toplam yağış (mm); x_5 : günlük ortalama radyasyon (cal/cm²) ve x_6 : günlük ortalama bağıl nem (%). Eşitlik 1'deki genlik değeri (A); eşitlik 2 ile bulunan 5 ve 10 cm toprak derinliklerindeki günlük ortalama toprak sıcaklık değerlerinden, bu derinliklerde tahmin edilen günlük minimum sıcaklık (Y_{5n}, Y_{10n}) değerlerinin çıkartılmasıyla bulunmuştur. Beş ve on cm toprak derinliklerindeki günlük minimum sıcaklıklar ise, 2006 yılı Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında ölçülmüş saatlik toprak sıcaklık değerlerinden minimum olanlarının (bağımlı değişken), aynı ayların aynı günlerinde ölçülmüş toprak üstü minimum sıcaklık ve günlük yağış değerleri ile ikinci derecedeki regresyon eşitliği ile adım-adım çoklu regresyon analiz yöntemiyle ilişkilendirilmesi sonucu bulunmuştur. Bu analizde kullanılan ikinci derecedeki regresyon eşitliği ise aşağıdaki formattadır:

$$Y_{5n,10n} = h + kx_2 + mx_4 + px_2^2 + rx_4^2 + sx_2x_4 + vx_2^2x_4^2 \quad (3)$$

Eşitlikte, Y_{5n} : 5 cm toprak derinliğindeki günlük minimum sıcaklık (°C); Y_{10n} : 10 cm toprak derinliğindeki günlük minimum sıcaklık (°C); h, k, m, p, r, s ve v regresyon katsayıları; x_2 ve x_4 ise Eşitlik 2’de açıklandığı gibi, sırasıyla günlük minimum toprak üstü sıcaklığı ve günlük toplam yağıştır (mm). Eşitlik 2 formunda geliştirilen regresyon eşitliklerinin performansı, eşitliklerin geliştirilmesinde kullanılmayan 2006 yılı verileri için kullanılarak test edilmiştir. Periyodik sinüs dalga eşitliğinin performansı da, 2006 yılı Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarından rasgele seçilen günler için tahmin edilen ve ölçülen saatlik 5 cm ve 10 cm toprak derinliğindeki toprak sıcaklık değerleri kullanılarak test edilmiştir. Performans ölçümünde regresyon eşitliklerine (Eşitlik 2 ve 3) ait determinasyon katsayısı (r^2) ve standart hata (SH) (standard error) istatistiklerinin yanı sıra, ölçülen ve tahmin edilen sıcaklık değerleri arasında hesaplanan ortalama sapma (OS) istatistiği ile görsel şekiller kullanılmıştır. OS istatistiği aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$OS = \frac{\sum_{i=1}^n |o_i - p_i|}{n} \quad (4)$$

burada, OS : ortalama sapma (°C), n : veri sayısı, o_i : gözlenen değer (°C), p_i : tahmin edilen değer (°C).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Eşitlik 2 formunda Tokat Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü meteoroloji istasyonunda 2000 – 2005 yılları arasında ölçülen günlük ortalama 5 cm ve 10 cm toprak derinliklerinde ölçülen toprak sıcaklıklarının (bağımlı değişkenler), ortalama günlük hava sıcaklığı, günlük minimum toprak üstü sıcaklık, ortalama günlük rüzgar hızı, günlük toplam yağış, günlük ortalama radyasyon ve bağıl nem (bağımsız değişkenler) ile ilişkilendirilmiş doğrusal regresyon eşitlikleri yılın her ayı için Çizelge 1’de verilmiştir. Çoklu adım-adım regresyon analizi ile eşitliklere % 1 önemlilik seviyesinde katkıda bulunmayan bağımsız değişken parametreleri, eşitliklerden çıkarılmıştır. Çizelge 1’deki eşitliklerde yer bulan bağımsız değişkenlerin sayıları ve ayları dikkate alındığında, günlük toprak üstü minimum sıcaklığın (x_2), tüm aylardaki 5 ve 10 cm toprak sıcaklıklarını belirlemede rol aldığını; radyasyonun (x_3) ise sadece Haziran ve Ocak ayları haricinde etkili olduğunu; hava sıcaklığının (x_4) yılın sıcak aylarında (Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos), toprak sıcaklıklarını belirlemede dikkate ali-

nan bağımsız parametreler arasından etkili bir faktör olarak öne çıkamadığını; rüzgar hızının (x_3) Mayıs, Haziran, Eylül ve Ekim aylarında etken rol oynamadığını; yağış (x_4) ve bağıl nemin (x_5) ise yılın farklı altı aylarında toprak sıcaklığını % 1 önemlilik seviyesinde etkilemediklerini görüyoruz. Denklemlerdeki regresyon katsayılarının işaretleri incelendiğinde ise, 5 ve 10 cm toprak derinliklerindeki toprak sıcaklıkları ile hava sıcaklığının, toprak üstü minimum sıcaklığın, yağışın ve radyasyonun pozitif ilişkili, buna karşın genelde bağıl nem ve rüzgar hızı ile negatif ilişkili olduğu bulunmuştur.

Çizelge 1’de her eşitliğe ilişkin r^2 ve SH istatistikleri de verilmiştir. Genel olarak, arzu edilen regresyon eşitliği, hem bire yakın bir r^2 hem de küçük bir SH değeri veren eşitliktir. Bu tip bir sonuca ulaşmada örnek sayısının önemi vardır [10]. Belirlenen r^2 katsayıları 0.65 ile 0.89 arasında değişmekte olup ortalama 0.78 dir. Bulunan r^2 katsayıları dikkate alındığında, dikkate alınan parametreler arasındaki ilişkilerin Mart, Nisan, Eylül, Ekim ve Kasım ayları için daha yüksek olduğu, buna karşın Haziran, Ağustos ve Aralık ayları için ise düşük olduğu bulunmuştur. Bulunan eşitliklere ait r^2 katsayıları ve yapılan F önemlilik testine göre, bulunan ilişkiler $P < 0.01$ seviyesinde önemlidir. Eşitliklere ilişkin belirlenen SH istatistik değerleri ise 0.82 ile 1.47 °C arasında değişmiş olup, ortalama 1.04 °C’dir. En küçük değerler Ocak ve Nisan ayları için bulunurken, en büyük değerler Haziran ve Aralık aylarında bulunmuştur. Bulunan SH değerlerinin makul seviyede olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 1’de verilen eşitliklerden Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarına ilişkin eşitlikler, bu eşitliklerin geliştirilmesinde kullanılmayan 2006 yılı Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs ayları verileri için kullanılmış, ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama 5 cm ve 10 cm toprak derinliklerindeki sıcaklıklara ilişkin OS değerleri hesaplanmıştır. Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarına ait bulunan OS değerleri 5 cm için sırasıyla 0.78, 1.22, 0.86, 0.73 ve 1.12 °C; 10 cm toprak derinliği için ise sırasıyla 0.76, 1.23, 0.78, 0.69 ve 1.09 °C’dir. Her iki toprak derinliği için de Nisan ayı OS değeri en düşük, Şubat ayı için ise en yüksektir.

Eşitlik 1’deki genlik değerinin (4) hesaplanması için gereken toprak 5 cm ve 10 cm derinliklerindeki minimum sıcaklıkların tahmini için, 2006 yılı Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs ayları verileri kullanarak bu aylar için geliştirilen ikinci derecedeki regresyon eşitlikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 1’deki gibi çoklu adım-adım regresyon analizi ile eşitliklere % 1 önemlilik seviyesinde katkıda bulunmayan bağımsız değişken parametreleri eşitliklerden çıkarılmıştır. Eşitliklerde yer alan parametreleri dikkate aldığımızda, dikkate alınan beş ayın hepsinde de, 5 ve 10 cm toprak derinliklerindeki günlük minimum sıcaklıklar, toprak üstü günlük minimum sı-

Çizelge 1. 2001-2005 yılları boyunca Tokat Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü'nde ölçülen günlük ortalama 5 ve 10 cm toprak derinliği sıcaklıklarının, toprak yüzeyi günlük minimum sıcaklık ve günlük hava sıcaklığı, radyasyon, yağış, nem ve rüzgar parametreleri yardımıyla tahmini için geliştirilen doğrusal regresyon eşitlikleri ($n = 151-187$)

Ay	Doğrusal Regresyon Eşitliği	r ²	SH (°C)
Ocak	$\bar{T}_5 = 4.05 + 0.193x_1 + 0.241x_2 - 0.408x_3$	0.76	0.84
	$\bar{T}_0 = 4.084 + 0.187x_1 + 0.26x_2 - 0.407x_3$	0.77	0.83
Şubat	$\bar{T}_5 = 3.49 + 0.205x_1 + 0.277x_2 - 0.291x_3 + 0.107x_4 + 0.113x_5$	0.77	0.94
	$\bar{T}_0 = 3.5 + 0.211x_1 + 0.28x_2 - 0.319x_3 + 0.102x_4 + 0.117x_5$	0.78	0.91
Mart	$\bar{T}_5 = 5.795 + 0.247x_1 + 0.379x_2 - 0.5x_3 + 0.085x_5$	0.83	1.04
	$\bar{T}_0 = 2.019 + 0.345x_1 + 0.311x_2 - 0.38x_3 + 0.141x_5 + 0.036x_6$	0.78	1.30
Nisan	$\bar{T}_5 = 7.374 + 0.148x_1 + 0.466x_2 - 0.42x_3 + 0.101x_5$	0.84	0.87
	$\bar{T}_0 = 7.051 + 0.144x_1 + 0.49x_2 - 0.34x_3 + 0.109x_5$	0.86	0.82
Mayıs	$\bar{T}_5 = 14.372 + 0.626x_2 + 0.064x_4 + 0.086x_5 - 0.0746x_6$	0.78	0.99
	$\bar{T}_0 = 14.25 + 0.62x_2 + 0.054x_4 + 0.087x_5 - 0.0711x_6$	0.76	1.03
Haziran	$\bar{T}_5 = 21.897 + 0.787x_2 - 0.149x_6$	0.71	1.48
	$\bar{T}_0 = 21.974 + 0.782x_2 - 0.151x_6$	0.72	1.47
Temmuz	$\bar{T}_5 = 20.89 + 0.482x_2 + 0.82x_3 + 0.177x_4 + 0.142x_5 - 0.093x_6$	0.75	0.93
	$\bar{T}_0 = 20.72 + 0.476x_2 + 0.80x_3 + 0.159x_4 + 0.145x_5 - 0.089x_6$	0.74	0.95
Ağustos	$\bar{T}_5 = 20.68 + 0.347x_2 + 1.61x_3 + 0.108x_5 - 0.047x_6$	0.69	0.88
	$\bar{T}_0 = 21.74 + 0.285x_2 + 1.81x_3 + 0.103x_5 - 0.048x_6$	0.65	0.92
Eylül	$\bar{T}_5 = 16.856 + 0.158x_1 + 0.507x_2 + 0.172x_4 + 0.132x_5 - 0.078x_6$	0.83	0.94
	$\bar{T}_0 = 16.639 + 0.163x_1 + 0.515x_2 + 0.152x_4 + 0.133x_5 - 0.078x_6$	0.84	0.93
Ekim	$\bar{T}_5 = 11.065 + 0.36x_1 + 0.302x_2 + 0.117x_4 + 0.215x_5 - 0.048x_6$	0.89	1.08
	$\bar{T}_0 = 11.075 + 0.414x_1 + 0.233x_2 + 0.118x_4 + 0.192x_5 - 0.046x_6$	0.88	1.09
Kasım	$\bar{T}_5 = 4.13 + 0.366x_1 + 0.305x_2 - 0.67x_3 + 0.094x_4 + 0.309x_5$	0.84	1.08
	$\bar{T}_0 = 4.06 + 0.385x_1 + 0.286x_2 - 0.66x_3 + 0.096x_4 + 0.309x_5$	0.84	1.09
Aralık	$\bar{T}_5 = 5.152 + 0.246x_1 + 0.255x_2 - 0.65x_3$	0.70	1.24
	$\bar{T}_0 = 4.68 + 0.25x_1 + 0.297x_2 - 0.66x_3 + 0.101x_5$	0.71	1.26

caklıkların belirlenmesinde yer alırken, günlük yağış değerleri sadece Ocak ve Mart aylarında etkili olmuştur. Aynı çizelgede, geliştirilen eşitliklere ilişkin r^2 ve SH istatistikleri de verilmiştir. Bu r^2 değerleri 0.49 ile 0.86 arasında değişmekte olup, ortalama 0.77 dir. SH değerleri de 0.50 ile 1.36 °C arasında değişmiş olup, ortalama 0.83 °C dir. İlişkileri derecelendirecek olursak, en düşük performans Şubat ayı verileri arasında, en yüksek ilişki derecesi ise Ocak ayında bulunmuştur. Bulunan eşitliklere ait determinasyon katsayıları ve \bar{T}_5 : 5 cm toprak derinliğindeki günlük ortalama toprak sıcaklığı (°C); \bar{T}_{10} : 10 cm toprak derinliğindeki günlük ortalama toprak sıcaklığı (°C); x_1 : ortalama günlük hava sıcaklığı (°C); x_2 : günlük

minimum toprak üstü sıcaklık (°C); x_3 : ortalama günlük rüzgar hızı (m/s); x_4 : günlük toplam yağış (mm); x_5 : günlük ortalama radyasyon (cal/cm²); x_6 : bağıl nem (%), n : analizde kullanılan veri sayısı.

Y_{5n} : 5 cm toprak derinliğinde ölçülen günlük minimum toprak sıcaklığı (°C); Y_{10n} : 10 cm toprak derinliğinde ölçülen günlük minimum toprak sıcaklığı (°C); x_2 : toprak üstü günlük minimum sıcaklık (°C); x_4 : günlük yağış (mm) yapılan F önemlilik testine göre, bulunan ilişkiler $P < 0.01$ seviyesinde önemlidir.

Saatlik toprak sıcaklığının belirleneceği her bir gün için Eşitlik 1'deki genlik değeri, Çizelge 2'de verilen eşitlikler kullanılarak tahmin edilen 5 cm ve 10 cm top-

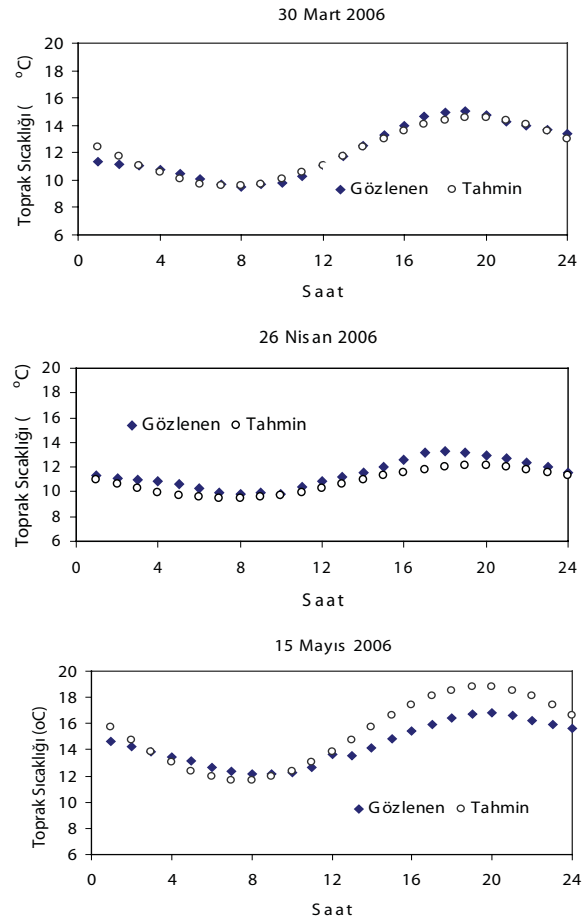
rak derinliklerdeki günlük minimum toprak sıcaklıklarının, Çizelge 1’de verilen eşitliklerin kullanılmasıyla tahmin edilen aynı toprak derinlikleri için günlük ortalama sıcaklık değerlerinden çıkartılmasıyla bulunmuştur. Örneğin 26 Nisan 2006 için 5 cm toprak derinliğindeki genlik değeri; bu tarihte enstitü meteoroloji istasyonunda ölçülen hava sıcaklığının ($x_1 = 4.795$ °C), günlük minimum toprak üstü minimum sıcaklığın ($x_2 = 2.6$ °C), ortalama günlük rüzgar hızının ($x_3 = 1.152$ m/s) ve günlük ortalama radyasyonun ($x_4 = 19.439$ cal/cm²) Çizelge 1’deki Nisan ayı 5 cm toprak derinliği regresyon eşitliğinde ($\bar{T}_5 = 7.374 + 0.148*4.795 + 0.466*2.6 - 0.42*1.152$

+ 0.101*19.439) yerine konulmasıyla, bugünün ortalama 5 cm toprak derinliğindeki toprak sıcaklığı 10.775 °C olarak bulunur (bu günün ölçülen ortalama değeri 11.4 °C’dir). Daha sonra, bu tarih için aynı derinlikteki günlük minimum toprak sıcaklığı, Çizelge 2’deki Nisan ayı ve 5 cm toprak derinliği için verilen eşitlikte, toprak üstü günlük minimum sıcaklık değeri ($x_2 = 2.6$ °C) yerine yazılarak ($Y_{5n} = 7.979 + 0.558*2.6$), 9.43 °C olarak bulunur (gözlenen değer 9.85 °C’dir). Eşitlik 1’de kullanılacak genlik değeri (A) bulunan ortalama değerden, minimum değer çıkarılmasıyla (10.775 – 9.43), 1.345 °C olarak bulunur.

Periyodik sinüs dalga model eşitliği (Eşitlik 1) kullanılarak 2006 yılı Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarına ait 5 cm ve 10 cm toprak derinliklerinde saatlik toprak sıcaklıkları tahmin edilmiş, tahmin edilen ve ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 1’de olduğu gibi karşılaştırılmıştır. Bu şekillerde seçilen günler rasgele seçilmiş olup, aşağı yukarı analiz sonucunu ifade etmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, Mart 30 için kusursuz tahmin yapılırken, Nisan 26 için genellikle gözlem değerlerinden daha düşük tahminler, 15 Mayıs için ise yüksek tahminler bulunmuştur. Bu tarihler için hesaplanan OS değerleri ise sırasıyla 0.28, 0.66 ve 1.11 °C dir. Mayıs ayı değerinin yüksek oluşunda, bu ay için bulunan ve Çizelge 1’de verilen regresyon eşitliğine ait r^2 katsayısının düşük olmasının payı vardır. Genel olarak bu çalışma ile tahmin edilen saatlik sıcaklıkların makul sonuçlar olduğu, farklılıkların Gao et al. [11]’de vurgulandığı gibi toprak profili boyunca toprak özelliklerinin özellikle ısı yayma

Çizelge 2. Tek yıllık bitkisel üretim için önemli olan aylar için, 2006 yılı 5 ve 10 cm toprak derinliği günlük minimum sıcaklıkları ile toprak yüzeyi günlük minimum sıcaklıkları ve günlük yağış değerleri arasında geliştirilen regresyon eşitlikleri ($n = 29-31$)

Aylar	Doğrusal Regresyon Eşitliği	r^2	SH (°C)
Ocak	$Y_{5n} = 2.772 + 0.49x_2 - 0.153x_4 + 0.024x_2^2$	0.86	0.50
	$Y_{10n} = 2.894 + 0.467x_2 - 0.165x_4$	0.84	0.59
Şubat	$Y_{5n} = 3.199 + 0.58x_2$	0.49	1.36
	$Y_{10n} = 2.984 + 0.61x_2$	0.58	1.19
Mart	$Y_{5n} = 6.199 + 0.724x_2 - 0.031x_4$	0.79	0.76
	$Y_{10n} = 5.639 + 0.849x_2 - 0.041x_2^2$	0.79	0.75
Nisan	$Y_{5n} = 7.979 + 0.558x_2$	0.79	0.95
	$Y_{10n} = 7.236 + 0.613x_2$	0.82	0.92
Mayıs	$Y_{5n} = 10.56 + 0.0307x_2^2$	0.84	0.65
	$Y_{10n} = 10.23 + 0.0322x_2^2$	0.85	0.65



Şekil 1. Tokat Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü meteoroloji istasyonunda 2006 yılı Periyodik sinüs dalga modeli ile 30 Mart (üst), 26 Nisan (orta) ve 15 Mayıs (alt) tarihleri için tahmin edilen ve ölçülen 5 cm toprak derinliği saatlik sıcaklık değerleri.

kapasitesindeki değişkenlikle birlikte, toprak rutubet içeriğindeki değişim ve bunun toprak sıcaklığına etkisinden, toprak üzerindeki bitki örtü gölgesinden kaynaklanmış olabilir. Bu konuların özellikle orta bünyeli bir toprakta araştırılması gerekebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tokat Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü meteoroloji istasyonu 2000 – 2006 yıllarında ölçülmüş 5 cm ve 10 cm toprak derinliklerindeki toprak sıcaklıkları ile iklim parametrelerinden günlük sıcaklıkların, günlük toprak üstü minimum sıcaklık, hava sıcaklığı, yağış, rüzgar hızı, bağıl nem ve radyasyon verileri arasında kuvvetli ilişkilerin olduğu; bu derinliklerdeki saatlik toprak sıcaklıklarının periyodik sinüs dalga modeli ile makul seviyede tahmin edilebildiği bulunmuştur. Bulunan eşitliklerin, toprak sıcaklığının ölçülemediği Türkiye'nin ve Tokat ilinin diğer yöreleri için uygunluğunun araştırılması gerekir. Ayrıca bu çalışma ile üretilen saatlik sıcaklık değerleriyle yöremizdeki tek yıllık bitkilerin özellikle toprak sıcaklığına bağlı tek yıllık bitkilerin fenolojik gelişme dönemlerinin tahminindeki yeterliliği, diğer bir araştırma konusudur.

KAYNAKLAR

- [1]. Campbell, G.S. 1985. Soil Physics with Basic Transport Models for Soil – Plant Systems, Development in Soil Science 14, Elsevier, New York, 150 p.
- [2]. Hillel, D. 1982. Introduction to Soil Physics, Academic Pres, Inc., London, 364 p.
- [3]. Jury, W.A., W.R. Gardner and W.H. Gardner. 1991. Soil Physics. John Wiley & Sons, Inc., New York, 328 p.
- [4]. Elias, E.A., R. Cichota, H.H. Torriani and Q. J. van Lier. 2004. Analytical soil-temperature model: correction for temporal variation of daily amplitude, Division S-1-Notes, Soil Sci. Soc. Am. J. 68:784-788.
- [5]. Arıcı, İ. ve A. Korukçu. 1990. Meteoroloji I. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi ders notları, 2. Baskı, Bursa, 89 s.
- [6]. Gülser, C. ve İ. Ekberli. 2002. Toprak sıcaklığının profil boyunca değişimi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 17(3):43-47.
- [7]. Rosenberg, N.J., B.L. Blad and S.B. Verma. 1983. Microclimate The Biological Environment, 2'nd edition, John Wiley & Sons, New York, 495 p.
- [8]. Yazar, A. ve R. Kanber. 1984. Çukurova koşullarında bitki büyüme mevsimi hava ve toprak sıcaklıkları arasındaki ilişkiler üzerinde bir inceleme, Doğa Bilim dergisi 8(2):207-212.
- [9]. Oğuz, İ. 1993. Köy Hizmetleri Tokat Araştırma Enstitüsü Arazisinin toprak etüdü, haritalanması ve sınıflandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Tokat, 77 s.

- [10]. Devore, J. and R. Peck. 1993. Statistics: The Exploration and Analysis of Data.. Duxbury Pres, Belmont, California.
- [11]. Gao, Z., L. Bian, Y. Hu, L. Wang and J. Fan. 2007. Determination of soil temperature in an arid region. Journal of Arid Environments 71:157-168.