



Ayçiçeği tarımı yapılan toprakların SMAF modeli ile toprak kalite indislerinin belirlenmesi: Tokat Zile İlçesi örneği

 Sena PACCİ*,  Orhan DENGİZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun

Öz

Toprak yönetimi uygulamalarının toprağın fonksiyonlarındaki değişimleri ortaya koymak ve değerlendirmek için kullanılan metodları geliştirmek ve genişletmek amacıyla birçok yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlardan birisi de SMAF (Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi) modelidir. Bu çalışmanın amacı, yarı kurak karasal ekosisteme sahip olan ve Tokat Zile Ovası içerisinde yer alan tarım arazilerinde, SMAF modeli kullanılarak ayçiçeği tarımı yapılan arazilerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak kalite indeks değerleri ile toplam toprak kalite özelliklerini belirlemektir. Bu amaçla, 1667 ha büyüklüğündeki araştırma alanını temsil eden 175 adet yüzey (0-30 cm) toprak örnekleme yapılmıştır. SMAF modeli toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik indikatörleri kapsamında; yarayışlı su içeriği, su dolu gözenek hacmi, hacim ağırlığı, agregat stabilitesi, toprak organik karbon içeriği, toprak pH'sı, elektriksel iletkenlik, sodyum adsorpsiyon oranı, bitkiye yarayışlı fosfor ve potasyum, azot içeriği, mikrobiyal biyokütle karbonu ve beta-Glukosidaz enzim aktivitesi indikatörleri olmak üzere toplam 13 indikatör içermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanı topraklarının ayçiçeği tarımı için kimyasal kalite indeksin düşük sınıfta, biyolojik kalite indeksinin ise yüksek sınıfta olduğu belirlenmiştir. Ayrıca fiziksel toprak kalite orta ve toplam kalite indeks değerlerinin ise yüksek düzeyde oldukları belirlenmiştir. Fiziksel, kimyasal, biyolojik ve toplam toprak kalite indeksinin dağılımı, araştırma alanının güney bölümünde, çalışma alanının diğer bölümleriyle karşılaştırıldığında daha yüksek değer göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ayçiçeği, toprak kalitesi, SMAF, coğrafi bilgi sistemleri

Determination of soil quality index for sunflower cultivated soils with SMAF model: A case study of Tokat Zile District

Abstract

There are many approaches to improve and disseminate the methods used to identify and evaluate changes in soil functions of soil management practices. One of them is the SMAF (Soil Management Assessment Framework) model. The aim of this study to determine physical, chemical and biological soil quality index values and total soil quality characteristics of cultivated soils for sunflower in agricultural areas of Tokat-Zile Plain which has semi-arid terrestrial ecosystems by using SMAF (Soil Management Assessment Framework) model. For this purpose, 175 soil samples were collected from surface soil (0-30 cm) in the study area which covers about 1667 ha. SMAF model includes 13 indicators such as aggregate stability, available water content, water-filled pore volume, total organic carbon, pH, electrical conductivity, the sodium adsorption ratio (SAR), microbial biomass carbon, available phosphorus, beta-Glukosidaz enzyme activity, total nitrogen and available potassium as physical, chemical and biological indicators. According to obtained results, it is determined that while the chemical quality index of the soils cultivated for sunflower was in the low class, biological quality of them was found in high quality class. In addition, physical and total soil quality indexes were found as moderate and high quality class. Distribution of physical, chemical, biological and total soil quality index show higher value in the sought part of the research area, when it is compared with the other parts of the study area.

Keywords: Sunflower, soil quality, SMAF, geographic information systems

© 2023 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (362) 312 1919

E-posta : pacciis@outlook.com

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 05 Haziran 2023

Kabul Tarihi : 25 Haziran 2023

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbdd.1309885

Giriş

Topraklar; yerkabuğunun en üst kısmında yer alan, üzerinde ve içerisinde geniş bir canlılar alemini barındıran, yaşayan, nefes alan; kayaların, organik atık ve artıkların ayrışmasından oluşan, yenilenemeyen, üç boyutlu yapıya sahip doğal bir varlık olmasının yanı sıra, insanoğlunun yaşamını devam ettirebilmesi için gerekli olan gıda ve giyeceğin temininde toprak temel bir kaynaktır. Ayrıca, barınma mühendislik ve yeraltı zenginliklerini bünyesinde bulundurma anlamında da çok büyük öneme sahiptir. Giderek artan insan nüfusuna bağlı olarak toprağa olan ihtiyaç gün geçtikçe daha da artmaktadır. İnsan nüfusunun artışı kentsel ve endüstriyel yerleşim alanlarını da artırmakta, en temel ve yenilenemeyen kaynak olan toprakların, her gün biraz daha azalmasına sebep olmaktadır. Ülkemizde de sürdürülebilir olmayan bu durum devam etmekte ve kullanılabilir durumdaki tarım arazileri giderek azalmaktadır. Nüfusun ve arazi kullanım kabiliyeti düşük arazilerin artması sebebiyle birim alandan daha yüksek verim elde etme amacıyla yapılan tarımsal uygulamalar toprak yapısında bozulmaya neden olmaktadır.

Toprağın tohum çimlenmesi için gerekli ortamı sağlama, bitki besin döngüsünü sağlama, karbon depolama, suyu filtre etme, biyotik düzenleme, tamponlama, potansiyel olarak zararlı elementlerin ve bileşiklerin (örneğin, ağır metaller ve pestisitler) dönüşümünü sağlama gibi birçok fonksiyonları vardır. Bu fonksiyonları kapasitesinin üst sınırlarında yerine getirebilen topraklar kaliteli topraklar olarak adlandırılırlar (Karlen ve ark., 2008) ve uzun yıllar boyunca üretkenliklerini devam ettirebilme potansiyeline sahiptirler. Son yıllarda toprak kalitesinin önemi fark edilmiştir ve toprak kalitesinin belirlenip devamlılığının sağlanması için önemli çalışmalar yapılmaktadır (Candemir ve Gülser, 2010; Gülser ve ark., 2015). Toprak kalitesi birçok farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrenin kombinasyonu ile oluşturulan veri setlerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi sonucunda belirlenebilir (Doran, 2002; Doğan ve Gülser, 2019; 2020). Bu amaçla toprakların izlenip amenajman uygulamalarının toprak fonksiyonları üzerine etkilerinin zamanla değişimini ortaya koyabilecek güvenilir metotlara gereksinim bulunmaktadır (Wienhold ve ark., 2009). Doğal ve dinamik yapıda olan toprakta zaman içerisinde kalitesinde meydana gelen değişiklikleri izlemek için oluşturulmuş birçok metot vardır. Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi (SMAF) toprak kalitesini değerlendirmek için oluşturulan ve yaygın olarak kullanılan bu metotlardan birisidir.

Toprak yönetimi uygulamalarının toprağın fonksiyonlarındaki değişimleri ortaya koymak ve değerlendirmek için kullanılan metotları geliştirmek ve genişletmek amacıyla oluşturulan bu model; Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilmiş, o bölgede ve dünyanın başka yerlerinde arazi kullanımları ve tarım uygulamaları tarafından tetiklenen toprak kalitesi ve sağlığındaki değişiklikleri değerlendirme amacıyla bir araç olarak kullanılmaktadır. SMAF modeli, toprak kalitesinin belirlenme hedefi ile kullanılacak toprak özelliklerinin belirlenmesi, belirlenen bu özelliklerin yorumlanması ve puanlanması ve yine bu özelliklerin bir indeks içerisinde birleştirilmesi aşamalarından meydana gelir. Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi toprağın fiziksel kalite parametrelerini puanlama amacı ile; hacim ağırlık, su dolu gözenek hacmi, yarayışlı su içeriği, agregat stabilitesi, toprağın kimyasal kalite parametrelerini puanlama amacı ile; pH, elektriksel iletkenlik, bitkiye yarayışlı fosfor, bitkiye yarayışlı potasyum, potansiyel mineralize olabilir azot, sodyum adsorpsiyon oranı, toprak organik karbon içeriği ve toprağın biyolojik kalite parametrelerini puanlama amacı ile ise; mikrobiyal biyokütle karbonu, beta-Glukozidaz enzim aktivitesi olmak üzere 13 parametre kullanılmaktadır (Pacci ve ark., 2021).

Toprakların doğru kullanılması ve devamlılığının sağlanabilmesi için kullanılan en önemli araçlardan bir diğeri de toprak özelliklerini gösteren toprak haritalarıdır. Bilgisayarların donanımsal ve yazılımsal olarak güçlenmelerinin yanı sıra CBS ve uzaktan algılama teknolojilerindeki hızlı gelişmeler ile bu konulara yönelik entegre çalışmalar devam etmektedir. Günümüzde, toprak özellikleri ve toprak kalitesinin CBS ile entegreli olarak haritalarının oluşturulması ve değerlendirilmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır (Dedeoğlu ve ark., 2019; Everest ve ark., 2020; Pacci ve ark., 2022).

Yüksek oranda (%22-50) yağ içeriğine sahip olması nedeni ile bitkisel ham yağ üretimi açısından önemli bir yağ bitkisi olan ayçiçeği (*Helianthus annuus*) dünya genelinde bitkisel ham yağ üretiminin %12.6'sını karşılamakta olup, beslenme değeri oldukça yüksektir. Ülkemizde yıllara göre değişmekle beraber, yıllık 220-280 bin ton ayçiçeği yağı üretimiyle bitkisel ham yağ üretiminin %46'sı ayçiçeğinden karşılanmaktadır (USDA, 2020). Ayçiçeği bitkisi karasal ve ılıman iklimin yağışlı bölgelerinde yetiştirilen tek yıllık bir bitkidir ve çok geniş adaptasyon alanına sahiptir.

Bu çalışmada amaç; i) Tokat'ın Zile ilçesinde arpa, buğday, şeker pancarı ve ayçiçeği tarımı yapılan arazilere ait toprakların, Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi (SMAF) ile ayçiçeği bitkisinin toprak

isteklerine göre toprak kalite indekslerinin değerlendirilmesi, ii) CBS ortamında konumsal dağılım haritalarının oluşturulmasıdır.

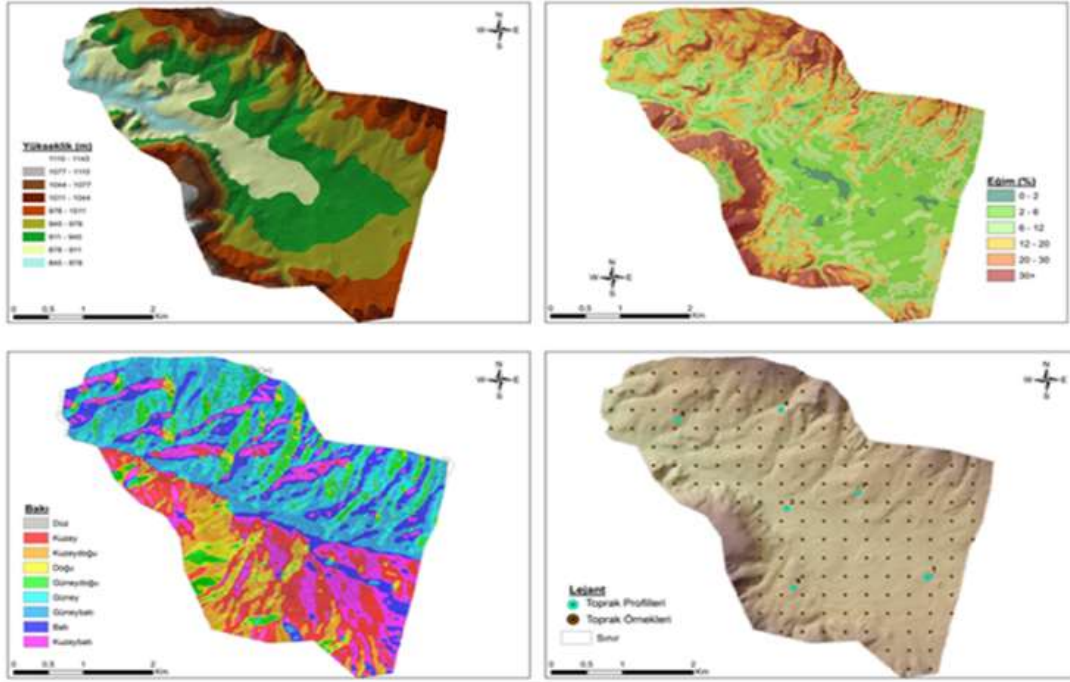
Materyal ve Yöntem

Araştırma alanının genel özellikleri

Tokat ili Coğrafi Konum olarak $36^{\circ} 00' - 36^{\circ} 42'$ doğu boylamları ile $39^{\circ} 52' - 40^{\circ} 55'$ kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Kuzeyinde Samsun, Kuzeydoğusunda Ordu, Güney ve Güneydoğusunda Sivas, Güneybatısında Yozgat, Batısında ise Amasya illeri yer almaktadır. Çalışma alanı Orta Karadeniz Bölgesinde Tokat İli sınırları içinde, ilin 70 km batısında yer alan Zile Ovasıdır. Yarı-kurak iklime sahip tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak yapılmasına imkân veren en önemli ovalardan biridir (Şekil 1). Çalışma alanı yaklaşık olarak 1667 ha alan kaplamakta olup, $75^{\circ} 18' 00'' - 75^{\circ} 42' 00''$ Doğu ve $45^{\circ} 04' 00'' - 45^{\circ} 24' 00''$ Kuzey (UTM, 36 Zone-m) koordinatları arasında yer almaktadır. Çalışma alanının deniz seviyesinden yüksekliği 845 m ile 1143 m arasında değişmekte olup, yükseklik alanın kuzey ve güney kesimlerine doğru gidildikçe artış göstermektedir (Şekil 2). Yükseklikteki bu artış topoğrafyada farklı eğim gruplarının oluşmasına neden olmakta ve alanın dik ve çok dik eğimleri (%20 den fazla) kuzey ve güney kesimlerde görülürken orta ve güney doğu kesimlerde düz düze yakın (%0-2) ve hafif - orta eğimli (%6-12) alanlar dağılım göstermektedir. Alanın bakı özelliği incelendiğinde, güney, güney batı yöneyler alan içerisinde yaygın olarak dağılım gösterirken bu bakıları kuzey ve kuzey doğuya ait yöneyler izlemektedir.



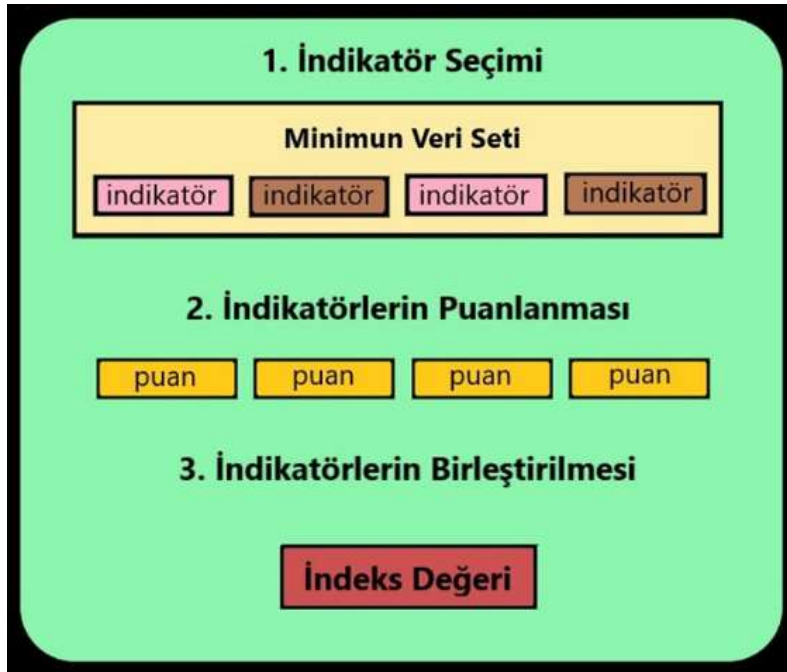
Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası



Şekil 2. Çalışma alanına ait yükseklik, eğim, bakı ve DEM haritaları

SMAF Modeli

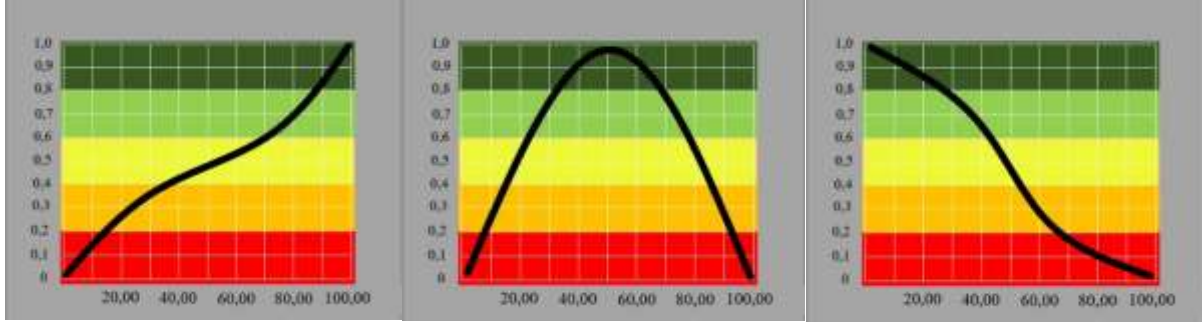
ABD'de geliştirilen SMAF modeli, o bölgede ve dünyanın başka bölgelerinde arazi kullanımları ve farklı tarımsal uygulamalar tarafından etkilenen toprak kalitesi ve sağlığındaki farklılıkları ölçmek ve değerlendirmek için bir araç olarak oluşturulmuştur. Bu model üç temel adımı takip etmek üzere tasarlanmıştır: 1) indikatör seçimi, 2) indikatörlerin puanlanması ve 3) indikatörlerin bir indeks içerisinde birleştirilmesi aşamasıdır (Şekil 3).



Şekil 3. Toprak kalite indeksinin hesaplanması aşamaları

İndikatörler seçilip ölçüldükten sonra, göstergelerin puanlanması ve yorumlanması, elde edilen her minimum veri seti indikatör değerinin doğrusal olmayan puanlama eğrileri kullanılarak hesaplanmasını içerir (Andrews ve ark., 2002a, 2002b). Her SMAF puanlama eğrisi, alternatif algoritmalara sahip bir algoritma veya mantık sisteminden oluşur. Bu algoritmalar, ekosistem hizmetlerinin veya toprak işlevlerinin performansını yansıtan, ölçülen göstergelerin ampirik değerleri ile normalleştirilmiş puanlar arasındaki nicel ilişkilerdir. Toprak amenajmanı değerlendirme çerçevesi (SMAF), toprak kalite skorlarının

hesaplanması için fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere 3 ana başlık altında incelenen 13 indikatörden oluşur ve her indikatör değerini puanlama algoritması aracılığıyla, bu sistemdeki ilişkili işlev düzeyini temsil eden 0 ile 1 arasında birimsiz bir puana dönüştürür. En yüksek gösterge puanı olan 1, o sistem için en yüksek potansiyel işlevi temsil eder; yani gösterge, toprağın doğasında bulunan toprak fonksiyonlarına ve süreçlerine bağlı değildir. Belirli bir indikatör ile temsil edilen toprak fonksiyonları arasındaki genel ilişkinin sistemler arasında nispeten sabit olduğu varsayılmıştır. Bu ilişki, bir indikatörün puanlama eğrisinin (veya algoritma denkleminin) şeklini belirler (Andrews ve ark., 2004). Puanlama eğrileri daha fazla daha iyidir, daha az daha iyidir ve optimum alan şeklindedir (Şekil 4).



Şekil 4. Daha fazla daha iyidir, optimum alan ve daha az daha iyidir eğrileri.

SMAF'ın üçüncü adımı olan indikatörlerin bir indeks içerisinde birleştirilmesi, isteğe bağlı bir aşamadır. Bu aşama, yorumlama aşamasındaki tüm indikatör puanlarının tek bir indeks değerinde birleştirilmesini sağlar. Bu değer, amenajman uygulamalarının toprak fonksiyonu üzerindeki etkilerini yansıtan toprak kalitesinin genel bir değerlendirilmesi olarak kabul edilir ve bir önceki aşamadaki tüm indikatörlerin kalite puanları toplanıp toplam indikatör sayısına bölünüp 100 ile çarpılmasıyla elde edilir.

$$TKİ = \left(\frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n} \right) \times 100$$

TKİ: Toprak kalite indeksi, Si: Skorlama yapılan indikatör değeri n: İndikatör sayısı

Toprak örnekleme ve analizler

Toprak örnekleri 2020 yılının Ekim ayında arpa, buğday, ayçiçeği ve şeker pancarı ürünlerinin yetişmekte olduğu çalışma alanından toplanmıştır. Alan 200m x 200m şeklinde karelere bölünerek oluşturulan grid sistemi kullanılarak, küresel konumlandırma sistemi (GPS) yardımıyla toprak örneklerinin yerleri tanımlandıktan sonra; her bir ızgaranın köşesinden yüzeyden (0-30 ccm) 175 adet bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri toplanmış, daha sonra örnekler laboratuvara getirilmiştir. Toprak örnekleri hava kuru hale getirildikten sonra tahta tokmak ile dövülerek parçalanmış ve 2 mm elekten elenerek analize hazır hale getirilmiştir. Toprak örneklemesine ait desen Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Çalışma alanında dağılım gösteren yüzey toprak örnekleme deseni

Fiziksel analizler; bünye [Bouyoucous \(1951\)](#)'a, agregat stabilitesi [Kemper ve Rosenau \(1986\)](#)'a, tarla kapasitesi ve daimi solma kapasitesi [Richards \(1954\)](#)'a, hacim ağırlığı [Blake ve Hartge \(1986\)](#)'a, göre ve yarayışlı su miktarı ise örneklerin tarla kapasitesi ve daimi solma noktaları arasındaki farktan hareketle hesap yolu ile belirlenmiştir. Kimyasal analizler; Toprak reaksiyonu (pH) ve elektriksel iletkenlik (EC) [Kacar \(2009\)](#)'a, yarayışlı fosfor (P₂O₅) [Olsen \(1954\)](#)'e, yarayışlı potasyum (K₂O) 1N amonyum asetat (NH₄OAc) ile ekstrakte edilen potasyumun analiz edilmesi ile organik madde [Jackson \(1958\)](#)'a, toplam azot [Bremner \(1982\)](#)'e, değişebilir katyonlar [Rhoades \(1986\)](#)'e göre belirlenmiş ve SAR değeri Saturasyon çamurundan elde edilen süzüklerden hesaplanan Na, Ca ve Mg konsantrasyonları eşitlikte belirtildiği gibi hesaplanmıştır ([Soil Survey Staff, 1996](#)).

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{+2}] + [Mg^{+2}]}{2}}}$$

Biyolojik analizler; β-glukozidaz aktivitesi [Tabatabai \(1994\)](#)'e ve mikrobiyal biyomas karbon ise [Anderson ve Domsch \(1978\)](#)'a göre belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada örnekleme yapılan alandaki toprak özelliklerinin en büyük, en küçük, standart sapma, varyasyon katsayısı, ortalama, çarpıklık ve basıklık değerleri şeklindeki tanımlayıcı parametreler SPSS programı ([IBM, 2015](#)) yardımı ile hesaplanmış ve bunun yanında alan içerisinde dağılımlarının belirlenmesi amacıyla jeostatistiksel yöntemlerden faydalanılmıştır. Bu bağlamda; çalışma alanı topraklarının toprak özellikleri, SMAF modeline göre hesaplanmış ve hesaplamada kullanılan on üç parametrenin tüm alan içerisindeki dağılım haritaları üretilmiştir. Ayrıca, bu parametrelerin kullanılmasıyla hesaplanan fiziksel toprak kalitesi, kimyasal toprak kalitesi, biyolojik toprak kalitesi ve genel toprak kalitesi içinde dağılım haritaları oluşturulmuştur. Dağılım haritalarının oluşturulmasında ArcGIS 10.5 coğrafi bilgi sistemi programı kullanılmıştır. Haritalama öncesi verilerin normal dağılım göstermeyen özelliklere uygun dönüşümler yapılmış ve haritalama kısmında Ters Mesafe Ağırlıklandırma (Inverse Distance Weighting /IDW) yöntemi kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Denemede Çalışma alanından alınan 175 toprak örneğinde on altı fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliği incelenmiştir. Bu özelliklerin tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Toprak örneklerinin genellikle tuzluluk açısından "tuzsuz (0-1.08 dS/m), toprak reaksiyonunun ise nötr-hafif alkalın (7.11-8.83) arasında belirlenmiştir. Toprakların kum silt ve kil içeriklerine göre tekstür sınıfları killi tın (%14.85), kumlu killi tın (%18.28), kil (%52), kumlu tın (%3.42), kumlu kil (%9.75), tın (%1.14) ve tınlı kumdur (%0.57). Toprakların organik karbon içerikleri [Kacar \(2009\)](#)'a göre düşük-yüksek sınıfları arasında belirlenirken agregat stabilitesi içerikleri %10.62-96.30 arasında düşük ve yüksek sınıflarında tespit edilmiştir. [TOVEP \(1991\)](#); [Güneş ve ark., \(1996\)](#)'a göre toprakların fosfor içerikleri 2.97- 427.03 mg/kg arasında yeterli-fazla ve potasyum içerikleri 203-2000 mg/kg yeterli-çok fazla bulunmuştur. Toprakların azot içerikleri ise %0.05-0.51 arasında az-fazla seviyelerinde tespit edilmiştir. [Wilding \(1985\)](#)'e göre varyasyon katsayısı (değişkenlik katsayısı); düşük (<%15), orta (%15-35) ve yüksek (> %35) olarak sınıflandırılmıştır. Buna göre çalışma alanının toprak özelliklerinden toprak pH'sı, HA ve YS ortalamaya göre <%15 değişkenlik ile "düşük" varyasyon sergilemiştir. Elektriksel iletkenlik, kum, kil, silt, AS ve N "orta" SAR, β-glukozidaz, mikrobiyal biyomas karbon, toprak organik karbonu, fosfor, potasyum ve organik madde değerleri ise ortalamaya göre %35'den büyük yani "yüksek" değişkenlik göstermiştir. Toprak özelliklerinin kombinasyonları ile elde edilen fiziksel ve kimyasal kalite skorları "düşük", biyolojik kalite skorları ise ortalamaya göre yüksek varyasyon göstermiştir. Kil, AS, YS ve Kimyasal Kalite Skoru (KKS) normal dağılımla kıyaslandığında sola çarpık (-) diğer özellikler ise sağa çarpık (+) bir dağılım göstermektedir. Sola çarpık bir dağılımda özellikler ortalamadan daha yüksek seviyelerde dağılım sıklığına sahipken sağa çarpık durumda tam tersi bir durum hakimdir. Çarpıklık katsayısı en yüksek normalden en uzak dağılım gösteren özellik P olarak belirlenmiştir. P değerinin sağa çarpık sola yığılımlı bir dağılım göstermesi toprakların fosfor içeriklerinin büyük bir kısmının ortalamadan (23,78 mg/kg) daha düşük seviyede olmasının bir sonucudur. Tüm toprak özelliklerinin ve toprak kalite skorlarının eğrileri normal dağılıma göre daha dik (+) bir dağılım göstermektedir. Çalışma alanının fiziksel, kimyasal ve biyolojik kalite skorları sırasıyla 37.92-75.62, 53.39-90.94, 2.45-34.68 arasında değişkenlik sergilerken incelenen toprakların genel toprak kalite indeksi 31.26-62.98 arasında kalite sınıfları ise "düşük-iyi" sınıflarında belirlenmiştir.

Çizelge 1. Toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile kalite skorlarının tanımlayıcı istatistikleri

Özellikler	Ort	SS	%VK*	Varyans	EDD	EYD	Çarpıklık**	Basıklık
pH	7.67	0.19	2.47	0.03	7.11	8.83	1.37	7.96
EC (dSm ⁻¹)	0.52	0.15	28.84	0.02	0.10	1.08	0.77	1.70
SAR	2.62	1.62	61.83	2.62	0.48	12.76	3.82	19.41
Kum (%)	42.97	9.50	22.10	90.25	27.81	83.86	1.38	2.41
Kil (%)	39.15	9.05	23.11	81.97	9.42	58.14	-0.65	0.333
Silt (%)	17.87	4.00	22.38	16.05	6.13	33.47	0.39	3.50
β-glukozidaz	52.84	27.49	52.02	756.03	3.57	159.75	1.06	1.71
MBC	32.20	12.87	39.96	165.83	5.04	87.216	0.95	1.95
TOC (%)	1.22	0.66	54.09	0.44	0.10	3.71	1.01	1.89
AS (%)	54.92	14.87	27.07	221.26	10.62	96.30	-0.04	0.10
HA g/cm ³	1.44	0.06	4.16	0.004	1.32	1.62	0.52	0.07
YS (%)	11.65	1.09	9.35	1.19	4.10	13.79	-3.24	15.80
P (mg/kg)	23.78	26.31	110.63	692.69	2.97	247.03	5.91	43.76
K (mg/kg)	597.3	280.2	46.91	78517	203	2000	1.72	5.48
N (%)	0.18	0.06	33.33	0.004	0.05	0.51	1.37	4.37
OM (%)	2.11	1.15	54.50	1.32	0.17	6.40	1.01	1.89
FKS	55.77	5.24	9.39	27.52	37.92	75.62	0.36	2.07
KKS	78.94	6.97	8.82	48.62	53.39	90.94	-0.79	0.93
BKS	5.47	4.07	74.40	16.58	2.45	34.68	3.86	18.97
TKI	46.73	4.28	9.15	18.32	31.26	62.98	0.38	2.04

Ort.: Ortalama, S.S.: Standart sapma, VK.: Varyasyon katsayısı, EDD: En Düşük Değer, EYD: En Yüksek Değer, Çar: Çarpıklık, Bas: Basıklık, TOK: Toprak Organik Karbon, MBK: Mikrobiyal Biyomas Karbon, HA: Hacim Ağırlığı, AS: Agregat Stabilitesi, FSK: Fiziksel Kalite Skoru, KKS: Kimyasal Kalite Skoru, BKS: Biyolojik Kalite Skoru, TKI: Toprak Kalite İndeksi. *Değişkenlik Katsayısı: < 15 = Düşük Değişkenlik, 15-35 = Orta Değişkenlik, >35 = Yüksek Değişkenlik. **Çarpıklık: < | ±0,5 | = Normal Dağılım, 0,5- 1,0 = Veri setine karakter dönüşümü uygulanır. ÇK > 1,0 → Logaritma dönüşümü uygulanır.

Toprak özellikleri arasında ikili ilişkilerin değerlendirildiği Spearman korelasyon analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Buna göre fiziksel kalite skoru ile toprak özellikleri arasında 10, kimyasal kalite skoru ile toprak özellikleri arasında 12, biyolojik kalite skoru ile toprak özellikleri arasında 12 ve çalışma alanını topraklarının toprak kalite skoru ile indikatörler arasında 12 adet istatistiksel olarak anlamlı (p<0.05; p<0.01) ilişkiler belirlenmiştir. Fiziksel kalite skoru ile silt (0.222**), β-glukozidaz (0.207**), TOK (0.369**), AS (0.734**), P (0.219**), N (0.253**), OM (0.369**) %1 ve MBK (0.167*) %5 düzeyinde pozitif yönlü ilişki görülürken, pH (-0.417**) ile %1 kil (-0.162*) ile %5 düzeyinde negatif yönlü ilişkilerin olduğu belirlenmiştir. Toprak organik maddesinin artışı toprağın tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayıslı su içeriğinde artışa neden olmaktadır (Gupta ve ark., 1977). Ayrıca toprak üstü bitki örtüsü ve organik karbon, toprağı erozyondan koruyarak, besin maddesi kapasitesini de artırır (Kocuyigit, 2008). Toprakta agregatlaşmanın artması, toprakların verimlilik potansiyellerini pozitif yönde etkileyen bir özellik olduğundan diğer fiziksel toprak özellikleri ile de yüksek korelasyona sahiptir. Topraktaki agregatlaşma, tohum-toprak arasındaki ilişki, hidrolik iletkenlik, kök gelişimi ve solunumu, toprakta havalanma ve sonuçta bitkinin gelişimi açısından önemli bir rol oynamaktadır (Dinel ve ark., 1991).

Kimyasal kalite skoru ile kum (0.203**), β-glukozidaz (0.354**), MBK (0.323**), TOK (0.865**), AS (0.352**), P (0.523**), K (0.293**), N (0.582**), OM (0.865**) arasında %1 düzeyinde pozitif, pH (-0.540**), kil (-0.212**), HA (-0.275**) arasında %1 düzeyinde negatif yönlü bir ilişki bulunmuştur. Azot ve fosforun, organik maddelerin ayrışması ile toprağa kazandırılan en önemli bitki besin elementleri arasında yer aldığı bilinmektedir. Dolayısıyla uygulanan organik madde ilavesinin toprakların N ve P kapsamını arttırabildiği yapılan çalışmalarla vurgulanmıştır (Kalembasa 1996; Nethra ve ark. 1999). Biyolojik kalite skoru ile kum (0.439**), β-glukozidaz (0.584**), MBK (0.638**), TOK (0.403**), P (0.308**), K (0.226**), N (0.562**), OM (0.403**) arasında %1 ve AS (0.186*) ile %5 düzeyinde pozitif bir ilişki görülürken pH (-0.535**; p<0.01), kil (-0.392**; p<0.01) ve YS (-0.166*; p<0.05) ile negatif yönlü korelasyonlar bulunmuştur. Toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin mikrobiyal biyokütle ve mikrobiyal aktivite üzerine etkisinin büyük olduğu yapılan çalışmalarla bildirilmiştir (Parr ve Papendick, 1997).

Çizelge 2. Fiziksel, kimyasal, biyolojik ve toprak kalite skorları ile indikatör ve toprak özellikleri arasındaki korelasyon analizi sonuçları

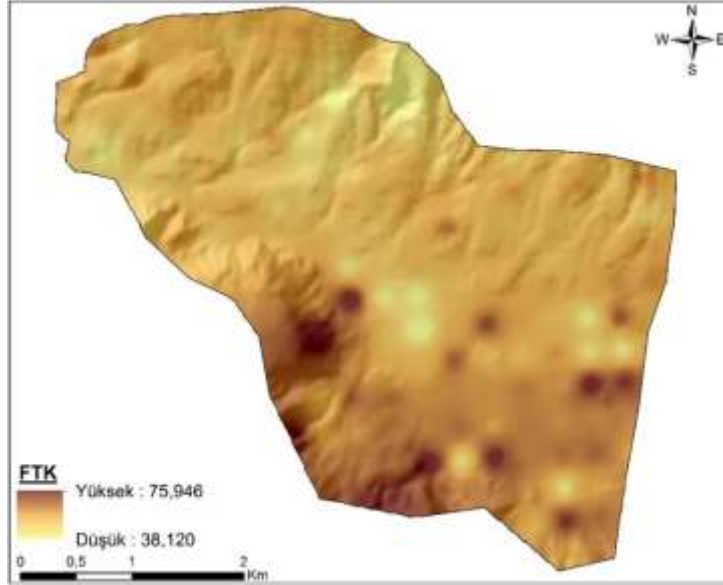
İndikatörler	FKS	KKS	BKS	TKI
pH	-0.417**	-0.540**	-0.535**	-0.625**
EC (dS/m ⁻¹)	-0.102	-0.032	-0.078	-0.045
SAR	-0.068	-0.091	-0.068	-0.095
Kum (%)	0.135	0.203**	0.439**	0.245**
Kil (%)	-0.162*	-0.212**	-0.392**	-0.252**
Silt (%)	0.222**	0.086	-0.023	0.141
β-glukozidaz	0.207**	0.354**	0.584**	0.428**
MBK	0.167*	0.323**	0.638**	0.384**
TOK	0.369**	0.865**	0.403**	0.762**
AS (%)	0.734**	0.352**	0.186*	0.547**
HA g/cm ³	-0.121	-0.275**	0.097	-0.198**
YS (%)	0.115	0.064	-0.166*	0.069
P (mg/kg)	0.219**	0.523**	0.308**	0.481**
K (mg/kg)	0.087	0.293**	0.226**	0.273**
N (%)	0.253**	0.582**	0.562**	0.567**
OM (%)	0.369**	0.865**	0.403**	0.762**

TOK: Toprak Organik Karbon, MBK: Mikrobiyal Biyomas Karbon, HA: Hacim Ağırlığı, AS: Agregat Stabilitesi, FSK: Fiziksel Kalite Skoru, KKS: Kimyasal Kalite Skoru, BKS: Biyolojik Kalite Skoru, TKI: Toprak Kalite İndeksi. **. Korelasyon 0.01 seviyesinde anlamlıdır. *. Korelasyon 0.05 seviyesinde anlamlıdır.

Biyolojik toprak kalitesiyle doğrudan ilişkisi olan β-glukozidaz enzim aktivitesi ve mikrobiyal biyomas karbon ve toprak havalanmasının iyi olduğu kum bünyeli topraklar mikrobiyal aktiviteyi destekleyici yönde etki gösterdikleri için biyolojik toprak kalitesiyle yüksek korelasyona sahiptir. [Kızılkaya ve Hepşen \(2004\)](#) topraklara eklenen organik bileşiklerin, ortamın mikrobiyal gelişim ve çoğalmaya uygun hale getirilmesinde uygun ortam sağladığını, başta heterotrofik mikroorganizmalar olmak üzere mikrobiyal popülasyona C, enerji ve besin maddesi kaynağı sağladıklarını ve bunun sonucunda da mikrobiyal popülasyon ve bunların aktivitelerinin büyük oranda arttığını belirtmişlerdir.

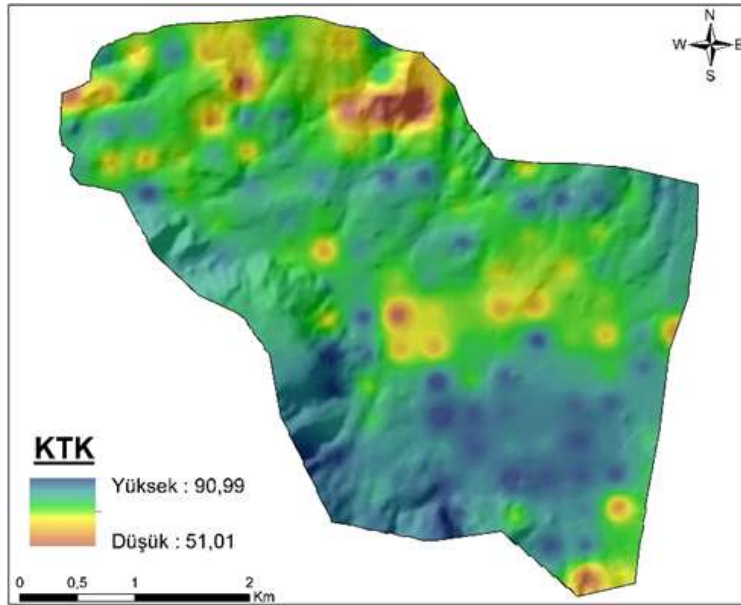
Genel veya toplam toprak kalite skoru ile kum (0.245**), β-glukozidaz (0.428**), MBK (0.384**), TOK (0.762**), AS (0.547**), P (0.481**), K (0.273**), N (0.567**), OM (0.762**) %1 düzeyinde pozitif, pH (-0.625**), kil (-0.252**), HA (-0.198**) ile ise %1 düzeyinde negatif yönlü korelasyonlar tespit edilmiştir. Birçok toprak özelliği ve toprakta meydana gelen değişimler toprak organik maddesiyle doğrudan ilişkilidir ([Doran ve Parkin, 1994](#)). [Lewandowski ve Zumwinkle \(1999\)](#), verimli bir toprak denildiğinde toprakların organik madde ve biyolojik aktivitede yüksek düzeye, stabil agregatlara, bitki köklerinin kolaylıkla hareket edebildiği bir ortama, yüzeyde suyun kolaylıkla infiltre olabildiği bir toprak yapısına sahip olmasının akla geldiğini bildirmişlerdir.

SMAF model yardımıyla çalışma alanında dağılım gösteren toprakların fiziksel toprak kalite durumlarının belirlenmesinde agregat stabilitesi, yarıyışlı su içeriği, hacim ağırlığı ve su dolu gözenek hacmi kullanılmıştır. Şekil 6'da bu parametrelerden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak hesaplanan fiziksel kalite skorunun haritası görülmektedir. Elde edilen sonuca göre, alanın güneybatısının fiziksel kalite değerleri alanın geneline göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Alanın kuzeyinde, eğimin de yüksek olduğu alanlar incelendiğinde hacim ağırlığının yüksek, kum içeriğinin fazla olduğu görülmektedir. Nitekim bu bölgelerde toprak gözeneklerinin büyük oluşu suyun toprakta tutulmasını engellediği için suyun sızarak uzaklaşmasına neden olmaktadır. Genel olarak, fiziksel toprak özelliklerinin çok da iyi olmadığı zorlu koşullarda da tarımının yapılması mümkün olan ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan, alana ait fiziksel toprak kalitesi haritası incelendiğinde; yer yer düşük ve yüksek toprak kalitesine sahip olan bölgeler olmakla beraber, çalışma alanı ortalama 56 kalite puanı ile ayçiçeği yetiştirilmesi için orta kalite olarak belirlenmiştir.



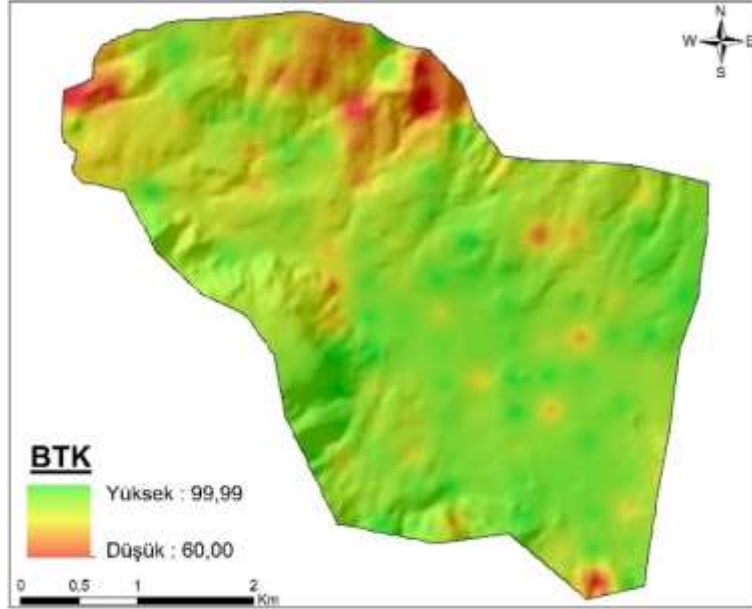
Şekil 6. Çalışma alanına ait fiziksel toprak kalitesi dağılım haritası

Kimyasal toprak kalite skorunun belirlenmesinde toprak reaksiyonu (pH), elektriki iletkenlik (EC), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), toprak organik karbonu, potansiyel mineralize olabilir azot, bitkiye yararlı fosfor ve bitkiye yararlı potasyum olmak üzere 7 toprak kalite indikatörü kullanılmıştır. Bu indikatörlerden elde edilen kalite skorlarının ortalaması alınarak elde edilen kimyasal kalite skoruna ait dağılım haritası Şekil 7’de görülmektedir. Toprakların ekstrem kimyasal özelliklerine karşı dayanıklı olmayan ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan, alana ait kimyasal toprak kalite skoru 81 ile ayçiçeği bitkisi yetiştirmek için yüksek kalite olarak belirlenmiştir. Kimyasal toprak kalite dağılım haritası incelendiğinde, en yüksek kalite skorlarının elde edildiği bölgelerin alanın kuzeyinde olduğu, en düşük kalite skorlarının ise alanın kuzeyi, kuzeybatısı, güneydoğusu ve iç kesimlerinde olduğu görülmektedir.



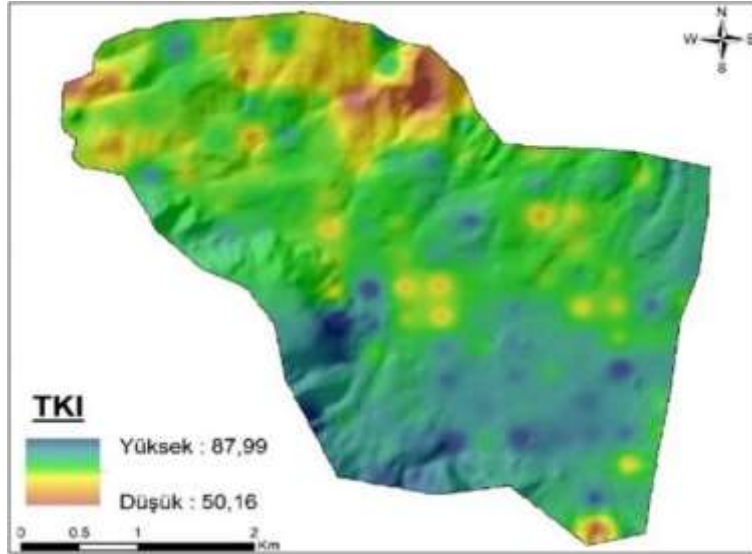
Şekil 7. Çalışma alanına ait kimyasal toprak kalitesi dağılım haritası

Biyolojik toprak kalite skorunun belirlenmesinde mikrobiyal biyokütle karbonu ve β -glukozidaz enzim aktivitesi kullanılmış olup, ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan alana ait biyolojik kalite skoru 90 ile ayçiçeği bitkisi yetiştirilmesi için çok yüksek sınıfa girmektedir (Şekil 8). Alanın iç kısımlarında yer yer düşük kaliteye sahip bölgeler vardır ancak; alanın kuzeyinde, kuzey batısında ve güney doğusunda biyolojik kalite skorunun alanın genel kalite skoruna göre daha düşük olduğu alanlar bulunmaktadır. Bu bölgelerdeki kalite skorunun düşük oluşu o bölgede mikrobiyal biyokütle karbonu ve β -glukozidaz enzim aktivitesi değerlerinin ikisinin de düşük oluşundan kaynaklanmaktadır.



Şekil 8. Çalışma alanına ait biyolojik toprak kalitesi dağılım haritası

Toprak kalitesinin en iyi şekilde tespit edilmesi için toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik fonksiyonlarını bir arada kullanmak üzere oluşturulan; SMAF modelindeki 13 toprak parametresinden hesaplanan skorların birleştirilmesi ile elde edilen, çalışma alanına ait genel toprak kalitesinin haritası Şekil 9'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanı içerisinde dağılım gösteren topraklar yer yer düşük ve orta kaliteye sahip olsa da ayçiçeği bitkisinin toprak isteği özellikleri dikkate alınarak hesaplanan, alana ait toprak kalite skoru 75 ile ayçiçeği tarımı yapılması için yüksek sınıfa girmektedir.



Şekil 9. Çalışma alanına ait toprak kalitesi dağılım haritası

Çalışma alanına ait toprak kalitesinin dağılım haritası incelendiği zaman en düşük kaliteye sahip bölgenin alanın kuzeyindeki dağlık kısımda olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biri, söz konusu bölgedeki toprak hacim ağırlığının yüksek olmasıdır. Toprakların hacim ağırlığı arttıkça, bitki kök gelişimi azalmakta bu nedenle hacim ağırlığı toprak kalitesinin önemli bir göstergesi olarak dikkate alınmaktadır (USDA-NRCS, 1996). Çünkü hacim ağırlığı; topraktaki su içeriği ve toprak gözenekliliği gibi toprak bünyesi ile çok yakından ilişkili özellikleri doğrudan etkilemektedir (Da Silva ve Kay, 1997). Ayrıca, hacim ağırlığı, toprak organik maddesi ve toprak organik karbonu hakkında da önemli bilgi verebilmektedir. Şöyle ki, topraklarda organik madde ve organik karbon içeriği arttıkça hacim ağırlığı azalmakta; gözeneklilik, yarayışlı su içeriği, agregat stabilitesi ve tüm bunlara bağlı olarak mikrobiyal aktivite artmaktadır. Bu durumu çalışma alanının güney kesimlerinde rahatlıkla görebilmekteyiz. Ayrıca yüksek organik karbon içeriğine sahip olan güney kesimleri organik karbon içeriğinin yüksek olması ile beraber, pH'nın nötre yakın

ve EC nin düşük oluşu da β -glukozidaz enzim aktivitesi ve mikrobiyal biyomas karbonun yükselerek mikrobiyal aktivitenin artışına uygun ortam hazırlamıştır.

Toprak tekstürü ve organik madde içeriğiyle yakından ilişkili olan agregat stabilitesi toprakların verimliliğini etkileyen en önemli özelliklerden biridir (Tang ve ark., 2020) ve alanın yüksek kaliteye sahip olmasında önemli rol oynamaktadır. Toprak kalitesine ait dağılım haritasını incelendiğinde, kuzey kesimlerde görülen düşük kalite skorunun sebeplerinden diğerleri ise söz konusu bölgede düşük olan mikrobiyal biyokütle karbon, agregat stabilitesi, β -glukozidaz enzim aktivitesi, düşük azot içeriği, organik karbon, bitkiye yarayışlı fosfor, bitkiye yarayışlı potasyum, yarayışlı su içeriği ve suyla dolu gözenek miktarı değerleri ile yüksek olan pH ve SAR değerleridir. Ayrıca, topraklarda SAR değerinin yüksek olması stabilize olmuş durumdaki agregatlar arası bağı zayıflatarak, agregat stabilitesinin düşmesine neden olabilmektedir (Ben-Hur ve ark., 1985).

Çalışma alanının kuzey batısına ait toprak parametrelerin dağılım haritaları ile genel toprak kalitesine ait harita karşılaştırıldığında ise bu bölgede birçok ele alınan toprak parametresinin düşük kalite skoruna sahip düzeyde olmasına rağmen, toprak kalite haritasında orta kalitede olduğu görülmektedir. Bunun sebebi diğer parametreler düşük skora sahip olsa bile toprak kalitesini yakından etkileyen ve azaldıkça toprak kalitesini artıran hacim ağırlığı değerinin düşük olması ve bitkiye yarayışlı potasyum içeriğinin yüksek olmasıdır. Yine aynı bölgede β -glukozidaz enzim aktivitesi ve mikrobiyal biyomas karbon içeriği de diğer parametrelere göre nispeten daha yüksek bulunmuştur.

Sonuç

Yapılan bu çalışmada, toprak örnekleri İç Anadolu bölgesinde yer alan Tokat ilinin Zile ilçesinde ayçiçeği tarımı yapılan tarım arazilerinden toplanmıştır. Çalışma alanından ayçiçeği tarımı yapılan tarım arazilerinin toprak kalitesini belirlemek amacıyla toplam 175 adet toprak örneği alınmıştır. Çalışma alanında ayçiçeği tarımı yanı sıra arpa, buğday, şeker pancarı ürünleri yetismekte olup, yapılan toprak kalite hesaplamaları ayçiçeği bitkisinin toprak isteklerine göre yapılmış ve haritalandırılmıştır.

SMAF modeli ile yapılan toprak kalite skorlamalarında arazinin fiziksel kalite skoru 56 ile orta kalite olarak belirlenmiş olup fiziksel kalite indikatörleri; agregat stabilitesi 46 ile düşük, yarayışlı su içeriği 69 ile orta, hacim ağırlığı 36 ile çok düşük, su dolu gözenek hacmi 73 ile yüksek kalite olarak hesaplanmıştır. Kimyasal kalite skoru 81 ile yüksek kalite olarak belirlenmiş olup kimyasal kalite indikatörleri; elektriksel iletkenlik 57 ile orta, bitkiye yarayışlı potasyum 100 ile çok yüksek, toprak pH'sı 88 ile çok yüksek, potansiyel mineralize olabilir azot 98 ile çok yüksek, bitkiye yarayışlı fosfor 91 ile çok yüksek, sodyum adsorbsiyon oranı 73 ile yüksek ve toprak organik karbonu 58 ile orta kalite olarak belirlenmiştir. Biyolojik kalite skoru ise 90 ile çok yüksek kalite olarak belirlenmiş olup biyolojik kalite indikatörleri β -Glukozidaz enzim aktivitesi 92 ile çok yüksek ve mikrobiyal biyokütle karbonu 88 ile çok yüksek kalite olarak belirlenmiştir. Çalışma alanına ait genel toprak kalite skoru ise ayçiçeği bitkisi için 75 ile yüksek kalite olarak belirlenmiştir. Fiziksel toprak kalitesinin kimyasal ve biyolojik toprak kalite durumlarına göre daha düşük olması çalışma alanının kalite skorunu da düşürmüştür.

Çalışma alanında gerekli önlemler alınıp yoğun işlemeli tarımdan kaçınılmadığı takdirde, ilerleyen dönemlerde çalışma alanının fiziksel kalitesindeki bu bozunumun artacağı ve bu durumun beraberinde getirdiği organik madde kaybının toprakların kimyasal ve biyolojik fonksiyonlarına da olumsuz etki oluşturarak çalışma alanının toprak kalitesini düşüreceği düşünülmektedir. Toprak kalite durumu yapılan bu çalışma baz alınarak çalışma alanında yoğun işlemeli tarımın azaltılması ve topraklara organik madde ilavesi ile agregatlaşmanın desteklenmesi tavsiye edilmektedir. Alanın toprak kalite durumunun belirli aralıklarla kontrol edilerek, iyi durumda olan toprak kalite parametrelerinin korunması ve meydana gelebilecek olası kalite düşüşlerine karşı önlemler alınması gerekmektedir. Kötü durumda olan toprak kalite parametrelerinin ise düzeltilmesi için amenajman çalışmaları yapılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca yapılacak olan bu amenajman çalışmaları ile topraklar meydana gelebilecek erozyon tehdidine karşı da dirençli hale getirilmiş olacaktır.

Katkı Belirtme ve Teşekkür

Çalışma boyunca Turan Demiraslan Burs (Lisansüstü) Programı ile maddi, manevi kaynak sağlayan ve desteklerini esirgemeyen; başta Hikmet ÖZTÜRK ve Merve ŞEN olmak üzere TEMA Vakfına da saygılarımızı sunar, en içten dileklerimizle teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Anderson J P E, Domsch K H. 1978. Mineralization of bacteria and fungi in chloroform-fumigated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10(3): 207-213.
- Andrews S S, Karlen D L, Mitchell J P A. 2002a. Comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 90(1), 25-45.
- Andrews S S, Mitchell J P, Mancinelli R, Karlen D L, Hartz T K, Horwath W R, Pettygrove G S, Scow K M, Munk D S. 2002b. On-farm assessment of soil quality in California's Central Valley. *Agronomy Journal*, 94(1): 12-23.
- Andrews S S, Karlen D, Cambardella C A. 2004. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6): 1945-1962.
- Ben-Hur M, Shainberg I, Keren R, Gal M. 1985. Effect of Water Quality and Drying on Soil Crust Properties¹, *Soil Science Society of America Journal*, 49 (1): 191-196.
- Blake G R, Hartge K H. 1986. Particle density. *Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical methods*, 5: 377-382.
- Bouyoucos G J A. 1951. Recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal*, 43: 434-438.
- Bremner J M. 1965. Total Nitrogen. *Methods of Soil Analysis*. (Editor: Black, C.A.) Part 2. *Agronomy Series No: 9*, 1179-1237.
- Candemir F, Gülser C. 2010. Effects of different agricultural wastes on some soil quality indexes in clay and loamy sand fields. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(1), pp.13-28.
- Da Silva A P, Kay B. 1997. Effect of soil water content variation on the least limiting water range. *Soil Science Society of America Journal*. 61 (3): 884-888.
- Dedeoğlu M, Başayığit L, Yüksel M. 2019. Çok Kriterli Karar Verme Analizine Dayalı Tarımsal Amaçlı Arazi Kalite İndisi Uygulaması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(3): 295-307.
- Dinel H, Mehuys G R, Levesque M. 1991. Influence of Humic Acid and Fibric Materials on the Aggregation and Aggregat Stability of a Lacustrine Silty Clay. *Soil Science*, 2: 146-157.
- Doğan B, Gülser C. 2019. Assessment of soil quality for vineyard fields: A case study in Menderes District of Izmir, Turkey. *Eurasian journal of soil science*, 8(2), pp.176-183.
- Doğan B, Gülser C. 2020. Soil quality assessment for olive groves areas of Menderes District, Izmir-Turkey. *Eurasian Journal of Soil Science*, 9(4), pp.298-305.
- Doran J W, Parkin T B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA, Madison, WI, pp: 3-21.
- Doran J W. 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture, ecosystems & environment*, 88(2), 119-127.
- Everest T, Sungur A, Özcan H. 2020. MEDALUS Yöntemi Kullanılarak Karacabey Tarım İşletmesi Toprak Kalite İndeksinin Değerlendirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(1): 120-131.
- Gupta S C, Dowdy R H, Larson W E. 1997. Hydraulic and Thermal Properties of A Sandy Soil as Influenced by Incorporation of Sewage Sludge. *Soil Sci. Soc. Amer.J.*, 41:601- 605.
- Gülser C, Kızılkaya R, Askın T, Ekberli I. 2015. Changes in soil quality by compost and hazelnut husk applications in a hazelnut orchard. *Compost Science & Utilization*, 23(3), pp.135-141.
- Güneş A, İnal A, Alpaslan M. 1996. Effect of Salinity on Stomal Resistance, Proline, and Mineral Composition of Pepper. *Journal of Plant Nutrition* 19 (2): 389-396.
- Jackson M L. 1962. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall Inc. 183 p.
- Kacar B. 2009. *Toprak analizleri* p. 467s. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Kalembasa D. 1996. Wpływ werminkompostów na plon i skład chemiczny owoców pomidora. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 437.
- Karlen D L, Tomer M D, Neppel J, Cambardella C A A. 2008. Preliminary watershed scale soil quality assessment in north central Iowa, USA. *Soil and Tillage Research*, 99(2): 291-299.
- Kemper W D, Rosenau R C. 1986. Aggregate stability and size distribution. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 425-442.
- Kızılkaya R, Hepşen S. 2004. Effect of biosolid amendment on enzyme activities in earthworm (*Lumbricus terrestris*) casts. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167(2), 202-208.
- Koçyiğit R. 2008. Karasal ekosistemde karbon yönetimi ve önemi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, (1): 81-85.
- Lewandowski A M, Zumwinkle M, Fish A. 1999. Assessing the soil system.

- Nethra N N, Jayaprasad K V, Kale R D. 1999. China aster (*Callistephus chinensis* L.) cultivation using vermicomposts as organic amendment, *Crop Res. Hisar*. 17(2): 209-215.
- Olsen S R, Cole C V, Deah L A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with NaHCO₃. U.S. Dept. of Agr. Cic. 939.
- Pacci S, Dengiz O, Saygın F, Alaboz P. 2022. SMAF Modeline Göre Çeltik Tarımı Yapılan Bafra Ovası Arazilerinin Toprak Kalite Özelliklerinin Değerlendirilmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 9(2), 164-174.
- Pacci S, Kaya N S, Dengiz O, Turan İ D. 2021. Van Havzası İçerisinde Yer Alan Mera Arazilerinde SMAF Modeli Kullanılarak Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 36(2), 301-316.
- Parr J F, Papendick R I. 1997. Soil quality: relationships and strategies for sustainable dryland farming systems. *Annals of Arid Zone*, 36(3): 181-191.
- Rhoades J D, Oster J D. 1986. Solute content. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5, 985-1006.
- Soil Survey Staff. 1996. Soil survey laboratory methods manual. *Soil Surv. Invest. Rep. 42. Version 3.0*.
- Tabatabai M A. 1994. Soil enzymes. *Methods of soil analysis: Part 2 Microbiological and biochemical properties*, 5, 775-833.
- Tang S, She D, Wang H. 2020. Effect of salinity on soil structure and soil hydraulic characteristics. *Canadian Journal of Soil Science*. 1-10.
- TOVEP Türkiye Toprakları Verimlilik Envanteri. 1991. T.C. Tarım ve Orman Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.
- USDA-NRCS. 1996. Soil Quality Resource Concerns: Compaction. USDA-NRCS Soil Quality Inst., Ames, IA.
- Wienhold B J, Karlen D L, Andrews S S, Stott D E. 2009. Protocol for indicator scoring in the soil management assessment framework (SMAF). *Renewable agriculture and food systems*, 24(4), 260-266.
- Wilding L P. 1985. Spatial variability: its documentation, accomodation and implication to soil surveys. In *Soil spatial variability*, Las Vegas NV, 30 November-1 December 1984 pp. 166-194.