

SMAF Modeline Göre Çeltik Tarımı Yapılan Bafra Ovası Arazilerinin Toprak Kalite Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Sena PACCI¹, Orhan DENGİZ¹, Fikret SAYGIN², Pelin ALABOZ^{3*}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun, TÜRKİYE

²Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Bitkisel Üretim ve Teknoloji Bölümü, Sivas, TÜRKİYE

³Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 02.02.2022

Kabul Tarihi/Accepted: 17.07.2022

ORCID ID (Yazar sırasına göre / by author order)

 orcid.org/0000-0001-6661-4927  orcid.org/0000-0002-0458-6016  orcid.org/0000-0001-7771-806X  orcid.org/0000-0001-7345-938X

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: pelinalaboz@isparta.edu.tr

Öz: Bu çalışmada, Bafra Ovası arazilerinde çeltik yetiştirilen alanların toprak kalite durumunun SMAF (Soil Management Assessment Framework) modeli ile değerlendirilmesi ve farklı enterpolasyon yöntemleri (ters mesafe komşuluk benzerliği-IDW, radyal tabanlı fonksiyonlar-RBF ve kriging) ile konumsal dağılım durumlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Çeltik yetiştirilen alanların fiziksel kalite indikatörleri düşük (% 50.38) ve yüksek (% 82.12), kimyasal kalite indikatörleri ise çok düşük (% 36.50) ve orta (% 66.69) sınıflarında belirlenmiştir. Tüm özelliklerin birlikte değerlendirilmesi ile elde edilen toprak kalite indeksi üzerinde en etkili olan özellikler kil, yarayışlı su içeriği, yarayışlı potasyum ve organik madde olarak belirlenmiş ve topraklar düşük (% 49.01) ile orta (% 68.63) kalite sınıfları arasında değişkenlik sergilemiştir. Kalite indikatörleri için en başarılı dağılım sergileyen enterpolasyon yöntemi kriging olarak belirlenmiş olup, toprak kalite indeksi için "simple kriging gaussian" modeliyle en düşük hata kareler ortalaması karekökü (RMSE, Root Means Square Error) değeri (% 3.0284) elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda; fiziksel kalite indeksi yüksek olan toprakların pH, organik madde, yarayışlı potasyum gibi kimyasal kalite indikatörlerinin de optimum seviyelerde tutulması ile toprak kalitesini etkili bir şekilde artırılacağı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fiziksel özellikler, kimyasal özellikler, arazi uygunluğu, çeltik tarımı, jeostatistik

Soil Quality Assessment of Paddy Cultivation Lands in the Bafra Plain Based on the SMAF Model

Abstract: In this study, it was aimed to evaluate the soil quality status of the paddy-grown areas in the Bafra plain lands with the SMAF (Soil Management Assessment Framework) model and to examine the spatial distribution conditions with different interpolation methods (inverse distance neighborhood similarity-IDW, radial basis functions-RBF, and kriging). The physical quality indicators of the paddy fields were determined as low (50.38%) and high (82.12%), and chemical quality indicators were determined as very low (36.50%) and medium (66.69%) classes. The most effective properties on the soil quality index, which was obtained by evaluating all the properties together, were determined as clay, available water content, available potassium, and organic matter. In addition, the soils of rice cultivated areas showed variability between low (49.01%) and medium (68.63%) quality classes. The most suitable interpolation model for the distribution of quality indicators was determined as kriging, and the lowest root means square error (RMSE) value (3.0284%) was obtained with the simple kriging gaussian model for the soil quality index. As a result of this study, it has been determined that soil quality can be increased effectively by keeping chemical quality indicators such as pH, organic matter, and available potassium at optimum levels of soils with high physical quality index.

Keywords: Physical properties, chemical properties, land suitability, paddy cultivation, geostatistics

1. Giriş

İnsan nüfusunun zamanla arttığı Türkiye’de, arazilerin potansiyellerine uygun olarak tarımsal faaliyetlerin yapılması zorunluluk haline gelmiştir. Tarımsal alanların sürdürülebilirliği için doğal ve kültürel potansiyellerinin belirlenmesi ve ekolojik duruma uygun tarımsal uygulamalar yapılması gerekmektedir (Akbulak, 2010). Dolayısıyla, toprakların karakteristiklerinin belirlenmesi, sınıflandırılması ve sürdürülebilir yönetimleri için kalitelerinin bilinmesi büyük önem teşkil etmektedir. Toprak kalitesini tanımlayabilmek için toprağın içerdiği kompleks fonksiyonları bilmek ve toprak kalitesi ile tarımsal aktivite arasındaki ilişkiyi iyi bir şekilde anlamak gerekir.

Toprak kalitesi hakkında günümüzde yaygın olan iki düşünce vardır. İlki, toprağın içerdiği özelliklerinin fonksiyonu olan kapasitesi (Doran ve Jones, 1997); ikincisi ise, toprağın kullanıma uygunluğu kavramıdır (Acton ve Gregorich, 1995). Kapasite kavramı; toprak oluşumunda etkili olan ana materyal, iklim, topografya ve vejetasyon gibi özellikler ile ortaya çıkan toprağın kendi bünyesinin sahip olduğu özellikleridir. Bunlar toprak etütleri ile ölçülen ve tekstür, strüktür, renk, eğim gibi terimlerle tanımlanan özelliklerdir. Kullanıma uygunluk ise, dinamik bir kavram olup, insan aktivitesi ile yönetiminden etkilenen bir özelliktir. Toprak kalitesi kavramı genellikle toprak sağlığı terimi ile tanımlanırken (Kibblewhite ve ark., 2008), bu terim zaman içerisinde yerini toprak yapısında bozulma ya da çevreye olumsuz etki oluşturmadan toprakların sürdürülebilir bir şekilde tarımı destekleme kapasitesi olarak ifade edilmiştir (Acton ve Gregorich, 1995). Karlen ve Skot (1994) ise toprak kalitesini, bir toprağın doğal ya da yönetilen ekosistem içerisinde bitki ve hayvan üretkenliğini sürdürmek, su ve hava kalitesini korumak veya geliştirmenin yanı sıra, insan sağlığını ve yerleşimi destekleme kapasitesi olarak tanımlamışlardır. Ayrıca, Raiesi (2017) tarafından yapılan bir çalışmada; toprağın sahip olduğu özelliklerin kendi aralarında ilişki içerisinde olduğu, fakat farklı tarımsal uygulamaların toprak kalitesi ve verimliliği üzerinde etkili olması sonucu toprakların farklı karakteristikler gösterdiğini belirtilmiştir.

Karmaşık bir yapıya sahip olan toprağın, kalitesini doğrusal olarak belirlemek mümkün olmadığı için toprak kalite göstergeleri toprağın mahsul verimi veya çevresel işlevlerini yerine getirme kapasitesi olarak tanımlanan arazi kullanımı, yönetim ve koruma uygulamalarındaki değişkenliklere bağlı olarak dolaylı olarak belirlenebilmektedir (Purakayastha ve ark., 2019). De Paul Obade ve Lal (2016) ise heterojen bir

yapıya sahip olan toprağın; fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerin ölçülmesi ile kalitesinin belirlenebileceğini ifade etmektedirler.

Toprak kalitesini açıklamak için oluşturulabilecek sayısal bir indeksin zorluğu, toprakların sahip olduğu fonksiyonların zaman içerisinde değişmesinden dolayı kalitelerinin de değişerek bölgeden bölgeye farklılık göstermesi ile açıklanabilir. Öte yandan hangi fonksiyonun toprak kalitesindeki değişimleri yansıtmada daha iyi olduğu hakkında bir görüş birliği bulunmamaktadır (Karaca ve ark., 2021). Toprak kalitesinin değerlendirilmesi, sürdürülebilir toprak ve ürün yönetimi açısından kıyaslanmanın yapılabildiği bir araç olarak önerilmiştir (Hussain ve ark., 1999). Toprak kalitesine yönelik; geçmişten itibaren toprakta meydana gelebilecek değişikliklerin tespit edilmesinin yanı sıra, günümüzde veya gelecekte hangi tarımsal sistemin uygulanacağına karar verilmesini sağlayacak birçok değerlendirme metodu geliştirilmiştir. Bu metotlardan bazıları; arazi kullanım kabiliyet sınıfları, arazi kalitesi indeks metodu (Doran ve Jones, 1997), arazi kalite kartları ve test kitleri (Ditzler ve Tugel, 2002), toprak amenajmanı değerlendirme çerçevesi (SMAF, Soil Management Assessment Framework) (Andrews ve ark., 2004) ve Cornell toprak sağlığı değerlendirmesi (Gugino ve ark., 2009)’dir. Bu metotlar içerisinde SMAF, farklı kullanım ve yönetim sebebiyle toprak fonksiyonlarında meydana gelen farklılıkların değerlendirilmesi için daha doğru, hassas ve dinamik bir araç olduğu için ön plana çıkmaktadır (Andrews ve ark., 2004; Cherubin ve ark., 2017). SMAF, öncelikle Kuzey Amerika topraklarında geliştirilip uygulanmış ve son yıllarda dünyanın diğer bölgelerinde de kullanımı yaygınlaşması ile birçok araştırmacı tarafından tercih edilen bir model olmuştur (Andrews ve ark., 2004; Karlen ve ark., 2019). Bu araç, çeşitli toprak yönetimi çalışmalarından elde edilen toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik verilerini değerlendirmek için sistem mühendisliği ve ekoloji (Andrews ve Carroll, 2001) prensiplerini uygulayan çalışmalardan meydana getirilmiştir. SMAF; gösterge seçimi, seçilen göstergelerin yorumlanması (puanlama) ve ağırlıklı ekleme tekniği aracılığıyla bir endekste göstergelerin toplanması olmak üzere üç adımda çalışan bir toprak kalite indeksi örneğidir (Andrews ve ark., 2004). Böylelikle, farklı arazi kullanımları ve bitki desenleri altındaki toprakların kalitesi SMAF modeli ile başarılı bir şekilde değerlendirilmektedir (Alaboz ve ark., 2022; Pacci ve ark., 2022).

Dünyada 167 milyon hektar ekiliş alanı ve 770 milyon ton üretimi olan çeltik (*Oryza sativa* L.), buğdaygiller familyası (Poaceae)’nda yer alan ve

devamlı su içerisinde yetişmesi nedeniyle diğer tahıllardan ayrılan bir sıcak iklim bitkisidir. Çeltik; toprak isteği bakımından seçici değildir; ancak, kaliteli ve yüksek verim ile ürün alabilmek için bitki besin maddesi içeriğince zengin, kum ve kireç oranı düşük, kil bünyeli, geçirgenliği oldukça düşük ve 4.5-7.5 pH aralığına sahip topraklar çeltik üretimine uygun olarak tanımlanmaktadır (Göney, 1980; Doğanay, 2007). Çeltik bitkisi dünyada en çok tüketilen ve insanların temel besin maddesi olan önemli ürünlerinden biridir. Türkiye’de yaklaşık 1.000.000 ton olan çeltik üretiminin 153.120 tonu Samsun ilinden karşılanmaktadır (Anonim, 2022).

Bu çalışmada, Bafra Ovası’nın sol sahilinde çeltik tarımı yapılan toprakların SMAF modeli kullanılarak fiziksel ve kimyasal toprak kalite indeks değerlerinin incelenmesi ve çeltik yetiştirilen toprakların kalite indekslerinin dağılım haritalarında en uygun enterpolasyon yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

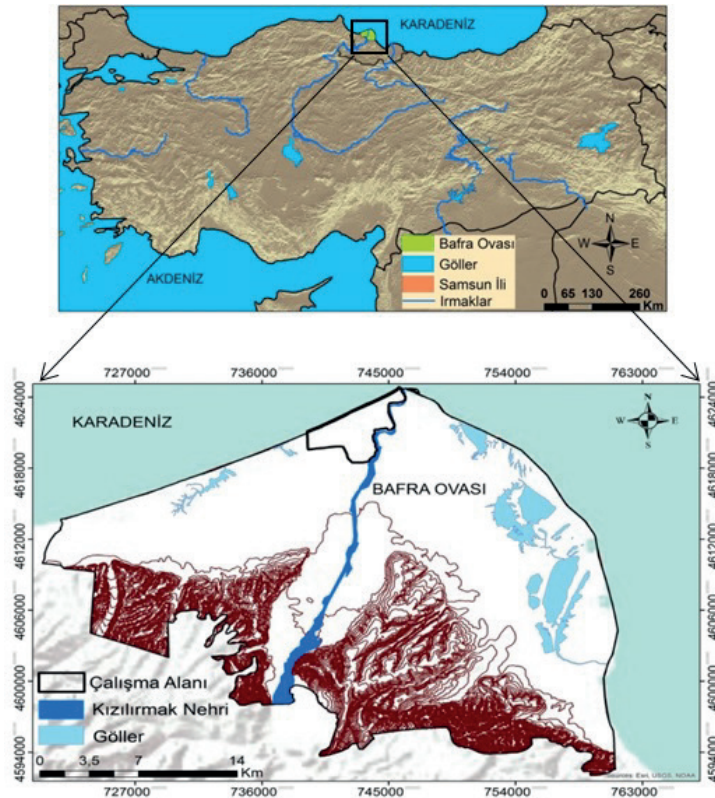
2.1. Çalışma alanının tanımı

Bu çalışma Bafra Delta Ovası’nın sol tarafında yer alan Fener Köyü ve çevresini içerisine alan yaklaşık 1923.3 hektar alanda gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Bafra Delta Ovası, Samsun ili sınırları

içerisindedir. Bölgede Karadeniz iklimi hakim olup yarı nemli iklim özelliğindedir. Temmuz ayında ortalama sıcaklık 22.2 °C ve Ocak ayında 6.9 °C’dir. Bölgenin ağırlıklı olarak düz ve hafif eğimli (% 0-2) olduğu Bafra Delta Ovası’nda; ortalama yıllık sıcaklık, toplam yağış ve toplam buharlaşma, sırasıyla 13.6 °C, 764.3 mm ve 726.7 mm’dir. Anonymous (1999)’a göre; toprak sıcaklığı rejimi mesic, nem rejimi ustic olarak belirlenmiştir. Toprak taksonomisine göre, çalışmanın toprakları vertisol, inceptisol ve entisol olarak sınıflandırılmıştır (Saygın ve Dengiz, 2013). Çalışma alanında farklı tarımsal faaliyetler yürütülmektedir. Yoğun yapılan çeltik tarımı dışında bölgede yazlık olarak mısır, biber, karpuz, salatalık ve domates üretilirken; kışlık olarak buğday, kırmızı ve beyaz baş lahana ve pırasa yetiştirilmektedir.

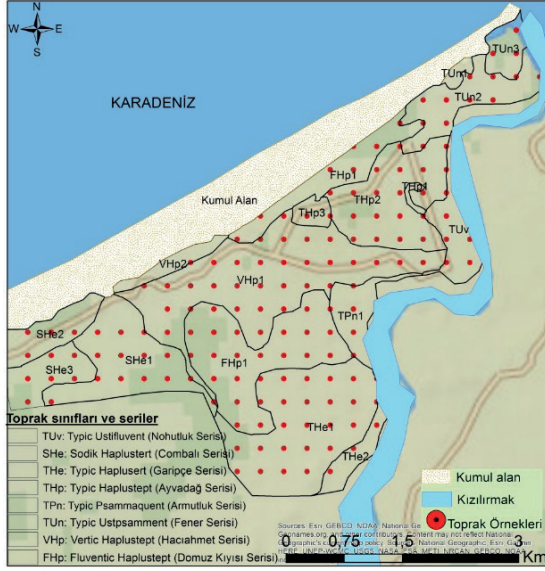
2.2. Toprak örneklerinin alınması ve toprak analizleri

Çalışma alanı 300x300 m karelere bölünerek toplamda 83 adet grid noktası elde edilmiştir (Şekil 2). Küresel konumlandırma sistemi (Global Positioning System, GPS) yardımıyla toprak örneklerinin yerleri belirlendikten sonra, bozulmuş ve bozulmamış yüzey (0-30 cm) toprak örnekleri alınmış ve örnekler laboratuvara getirilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası
Figure 1. Study area location map

Toprak örnekleri hava kuru hale getirildikten sonra, tahta tokmak yardımıyla dövülmüş ve 2 mm elekten elenmek suretiyle analize hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2. Toprak örnekleme noktaları

Figure 2. Soil sampling points

Alınan toprak örneklerinde, hacim ağırlığı (HA) Blake ve Hartge (1986) ve yarayışlı su (YS) içeriği Klute (1986) tarafından bildirilen esaslara göre belirlenmiştir. Bünye hidrometre yöntemiyle (Gee ve Bauder, 1986), toprak reaksiyonu (pH) 1:2 oranında toprak-su karışımında cam elektrotlu pH metre kullanarak (Hendershot ve ark., 1993), elektriksel iletkenlik (EC) 1:2 oranında toprak-su süspansiyonunda EC metre kullanarak (Rhoades, 1986), organik madde (OM) ıslak oksidasyon yöntemi (Walkley-Black) ile potasyum dichromat ($K_2Cr_2O_7$) kullanılarak (Nelson ve Sommers, 1982), yarayışlı fosfor (P) Olsen metoduyla (Olsen ve ark., 1954), değişebilir katyonlar [potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), sodyum (Na)] amonyum asetat (NH_4OAc) (pH= 7.0) ile topraktan süzülerek ve atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılarak element konsantrasyonlarının ölçülmesiyle (Thomas, 1987), sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) değeri ise, Na, Ca ve Mg konsantrasyonlarından yararlanılarak belirlenmiştir (Anonymous, 1999).

2.3. SMAF modeli ve enterpolasyon modelleri

Bu çalışmada toprakların kalitesi, Amerika Tarım Bakanlığı personeli tarafından geliştirilen SMAF modeli ile değerlendirilmiştir (Andrews ve ark., 2004). Bu çalışma kapsamında kum, silt, kil, HA, YS, yarayışlı P, SAR, yarayışlı K, OM, pH ve EC indikatörleri değerlendirilmiştir.

Modelde doğrusal olmayan skorlama fonksiyonları ele alınmıştır. Karlen ve Stott (1994) tarafından ortaya atılan kavram indikatörlerin yorumlanmasının yanında skorlama işlemleri için de kullanılmıştır. Bu nedenle araştırmacılar; “daha fazla daha iyidir”, “daha az daha iyidir” ve “orta nokta optimumdur” olmak üzere üç ana skorlama eğrisi kullanmışlardır. Ele alınan her bir SMAF skorlama eğrisinin bir algoritmasının ya da alternatif algoritma ile açıklanan mantıksal bir ifadesi mevcuttur. Modelde değerlendirilen algoritmalar belirlenen özelliklerin değerleri ile normalize edilerek skorlanır. Toplamda 150 ürün çeşidi değerlendirilmektedir. Bu nedenle yetiştirilmekte olan ürün çeşidine bağlı olarak indikatörlerin skorlama değerleri arasında değişkenlik görülmektedir (Pacci ve ark., 2021).

İndikatörlerin kalite skorlarının SMAF modeli kullanılarak değerlendirilmesinde, toprakların taksonomik sınıfları, bölgenin iklimi, nem rejimi, yetiştirilen ürünün çeşidi, demir oksit ve ayrışma gibi çalışma yapılan alanın bazı özelliklerine ait bilgiler de değerlendirilmektedir (Pacci ve ark., 2021).

Andrews ve ark. (2004)’nın minimum veri seti oluşturarak seçmiş olduğu indikatörler ve skor değerlerinden yararlanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. SMAF modeli eklemeli indeks yöntemini kullanmaktadır. Toprak kalite indeksinin hesaplanmasında Eşitlik 1’den yararlanılmıştır.

$$TKI = \left[\frac{\sum_{i=1}^n xi}{n} \right] \times 100 \quad (1)$$

Eşitlikte, TKI , toprak kalite indeksini; xi , skorlama yapılan indikatör değerini; n , indikatör sayısını ifade etmektedir. Toprak kalite indeksi Gugino ve ark. (2009)’na göre; çok düşük (<% 40), düşük (% 40-55), orta (% 55-70), yüksek (% 70-85), çok yüksek (>% 85) olarak sınıflandırılmaktadır.

Bu çalışmada konumsal dağılımın değerlendirilmesinde farklı enterpolasyon yöntemleri [Ters mesafe komşuluk benzerliği (IDW), radyal tabanlı fonksiyonlar (RBF), kriging (Ordinary, Simple ve Universal)] kullanılmıştır. Çalışmada IDW’nin ağırlık kuvvetleri (1., 2. ve 3. kuvvet), radyal tabanlı fonksiyonlar yönteminde (RBF) ince plaka spline (TPS), gergin spline (SWT), tamamen düzenli spline (CRS) ve kriging (ordinary, simple, universal) için küresel, üssel ve gaussian modelleri değerlendirilmiştir.

Toprak özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikler SPSS programı (SPSS 23) aracılığı ile değerlendirilmiştir. Dağılım haritalarının oluşturulmasında ise ArcGIS 10.5v programı kullanılmış ve en uygun dağılım modelinin

seçilmesinde hata kareler ortalaması karekökü (Root Means Square Error, RMSE) parametresi dikkate alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Toprakların fiziko-kimyasal özellikleri Tablo 1'de belirtilmiştir. Toprakların pH içerikleri Richard (1954)'e göre orta alkali-kuvvetli alkali arasında değişkenlik sergilemiştir. Elektriksel iletkenlik içerikleri 1.25-3.64 dS m⁻¹ aralığında olup, ortalama değer (2.41 dS m⁻¹) dikkate alındığında, toprakların tuz içerikleri yüksek olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Çeltik yetiştiriciliğinde genellikle sulama sularından kaynaklı tuzluluk sorunlarının olduğu ve Terme Ovası'nda yapılan çalışmada çeltik yetiştirilen alanlarda toprakların EC değerlerinin 2.92 dS m⁻¹'ye kadar ulaştığı yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur (Coşkun ve Dengiz, 2016; Özyazıcı ve ark., 2016; Taşdelen ve Demir, 2020). Yağışlı dönemlerde özellikle killi ağır bünyeli topraklarda drenaj sorunu oluşması durumunda tuzluluk problemleri ortaya çıkabilmektedir (Coşkun, 2016). Ayrıca çeltik yetiştiriciliğinde yüksek tuzluluk ve pH sorunları, kötü kalitedeki sulama suyundan da kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Toprakların kil, silt ve kum içerikleri sırasıyla % 6.19-52.40, % 5.64-45.80 ve % 15.64-88.18 arasında değiştiği bulunmuştur (Tablo 1). Toprak tekstürel fraksiyonlar içerisinde en yüksek değişkenlik (varyasyon) sergileyen özellik kum içeriği olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi özellikle alüvyal alanlar üzerinde oluşmuş topraklar, akarsuların farklı taşkın zamanlarında getirmiş oldukları sedimentler üzerinde oluşmuş

olmaları nedeniyle, kısa mesafelerde göstermiş oldukları fraksiyonel değişkenliktendir (Dengiz, 2010). Çeltik sucul bir bitki olup özellikle suyu tutabilen özellikteki kil içeriği daha yüksek bünyelerde yetiştiricilik yapılması daha uygundur. Dengiz ve Özyazıcı (2018), arazilerin çeltik yetiştiriciliği için uygunluğunu değerlendirdikleri çalışmada, en etkili toprak özelliğini toprakların bünye sınıfı olarak belirtmişlerdir.

Toprakların hacim ağırlığı değeri 1.23-1.55 g cm⁻³ arasında bulunmuştur. Varyasyon ve varyasyon katsayısının (VK) düşük seviyelerde bulunması; hacim ağırlığı değişim aralığının dar olması, ortalamadan sapmaların her iki yönlü olarak birbirine yakın ve düzgün dağılan örnek sayısı sonucu elde edilmektedir. Suyun oldukça önemli olduğu çeltik üretiminde çalışma alanı topraklarının yarayışlı su içeriği % 4.27-21.23 arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 1). Bu özelliğin değişkenliğindeki sebep toprakların tekstürel fraksiyonları ve organik madde içerikleri ile ilişkili olarak bilinmektedir. Nitekim, orta-ince tekstür grubu toprakların, tarla kapasitesi ve solma noktası seviyelerinin % 11.17-28.99 ve % 6.04-18.77 aralıklarında olduğu yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur (Alaboz ve Işıldar, 2021). Tekstürel fraksiyondaki bu değişim nem sabitelerindeki farklılıkları ortaya koymaktadır. Yine nem sabiteleri üzerinde etkili olan toprak organik madde içeriği, Ülgen ve Yurtsever (1974)'e göre az (% 0.88) ve yüksek (% 5.56) seviyelere kadar değişkenlik sergilemiştir (Tablo 1). Çeltik yetiştiriciliğinde su altında kalmış topraklarda organik maddenin parçalanma ve ayrışması

Tablo 1. Toprakların fiziko-kimyasal özellikleri ile fiziksel ve kimyasal kalite skoru ve toprak kalite skoru değerlerine ait tanımsal istatistik değerleri

Table 1. Physico-chemical properties of soils, descriptive statistics of physical and chemical quality scores, and soil quality score values

Toprak özellikleri	Ortalama	Standart sapma	VK	Varyans	En düşük değer	En yüksek değer	Çarpıklık	Basıklık
pH	8.38	0.18	2.14	0.03	8.20	8.77	1.33	0.79
EC (dS m ⁻¹)	2.41	0.62	2.57	0.38	1.25	3.64	0.54	0.54
Kil (%)	34.08	13.01	38.17	169.39	6.19	52.40	-0.58	-0.21
Silt (%)	33.79	11.36	33.61	129.06	5.64	45.80	-1.41	1.13
Kum (%)	32.10	19.79	61.65	391.66	15.64	88.18	2.04	3.16
HA (g cm ⁻³)	1.37	0.08	5.38	0.01	1.23	1.55	0.31	0.11
YS (%)	15.27	4.92	32.22	24.23	4.27	21.23	-0.68	-0.23
P (mg kg ⁻¹)	19.56	16.32	83.43	266.42	0.01	111.49	2.33	9.18
SAR %	0.51	0.37	72.55	0.13	0.18	1.38	1.73	1.55
K (mg kg ⁻¹)	45.18	28.19	62.39	794.83	0.001	175.93	1.28	4.01
OM (%)	2.71	1.34	49.44	1.79	0.88	5.56	1.09	0.59
FKS	68.67	10.50	15.29	110.36	50.38	82.12	-0.24	-1.42
KKS	53.87	5.20	9.65	27.03	36.50	66.59	-0.69	0.82
TKİ	61.27	4.78	7.80	22.83	49.01	68.63	-0.45	-0.63

VK: Varyasyon katsayısı, EC: Elektriksel iletkenlik, HA: Hacim ağırlığı, YS: Yarayışlı su içeriği, P: Yarayışlı fosfor, SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı, K: Yarayışlı potasyum, OM: Organik madde, FKS: Fiziksel kalite skoru, KKS: Kimyasal kalite skoru, TKİ: Toprak kalite indeksi

genellikle anaerobik koşullardadır. Bu süreç aerobik koşullara göre daha yavaş gerçekleşmektedir (Haktanır ve Arcaç, 2022). Bu sebeple çeltik tarımı yapılan toprakların organik madde içerikleri diğer yetiştiriciliklere nazaran, bir miktar daha yüksek olabilmektedir.

Toprakların yarıyıllı P içerikleri Yurtsever ve Alkan (1975)'a göre düşük (0.01 mg kg^{-1}) ve çok yüksek ($111.49 \text{ mg kg}^{-1}$) arasında değişen seviyelerde belirlenmiştir (Tablo 1). Yüksek seviyede yarıyıllı P içeriği, ana materyal kaynaklı ya da yetiştiricilikte gübre uygulamaları sonucu elde edildiği değerlendirilmektedir. Yarıyıllı K içerikleri ise Fawzi ve El-Fouly (1980) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre noksan (0.001 mg kg^{-1}) ile orta ($175.93 \text{ mg kg}^{-1}$) aralıklarında olmuştur (Tablo 1). Fosfor, özellikle pH'sı yüksek, kireçli topraklarda fosfat olarak çözünmez bileşikler oluşturarak çökler. Bu da noksanlıkların oluşmasına yol açabilmektedir (Alaboz ve ark., 2019). Horuz ve Dengiz (2018), Terme yöresi alüvyal arazilerde; toprakların yarıyıllı P içeriklerinin $5.30-46.90 \text{ mg kg}^{-1}$, yarıyıllı K kapsamının ise $45.0-635.0 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Potasyum içeriklerindeki düşüklük ana materyal kaynaklı olabilmekte ise de yetiştiricilikte önemli seviyede potasyumlu gübrelemenin yapılmadığı görülmektedir. Bu da tarım topraklarında azotlu ve fosforlu gübrelemelerin potasyumlu gübrelemelere göre daha fazla yapılmakta olduğu sonucunu ortaya koyabilmektedir.

Toprakların SAR içerikleri % 0.18-1.38 aralıklarında belirlenmiştir (Tablo 1). Toprakların SAR oranı % 10-15'i geçtiğinde kil kompleksleri disperse olur, hidrolik iletkenlik azalır ve buna bağlı olarak bitki gelişimi olumsuz yönde etkilenir (Temizel ve Tok, 2019). Çeltik yüksek sodyum içeriğine toleranslıdır ve uygun kültürel tedbirler uygulandığında yeterli verim elde edilmektedir (Taşdelen ve Demir, 2020).

Wilding (1985) tarafından sınıflandırılan varyasyon katsayı değerleri dikkate alındığında; toprak özellikleri içerisinde ortalamaya göre düşük seviyede değişkenlik gösteren özellikler pH, EC ve HA iken; orta seviyede değişkenlik gösteren silt ve YS olup, diğer özellikler yüksek değişkenlik sergilemiştir. Elde edilen bu değişkenliklerin homojen bir şekilde dağılması normal dağılımlardan sapmalara neden olmaktadır. Normalden en uzak dağılım sergileyen özellikler kum ve P iken; en yakın özellikler EC, kil ve HA olarak belirlenmiştir. Çarpıklık katsayısının pozitif olması özelliklerin dağılımlarının genellikle ortalamadan düşük, negatif olması ise tam tersi bir dağılımı göstermektedir (Tablo 1).

Toprakların fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi ile elde edilen fiziksel kalite indikatörleri % 50.38-82.12 arasındaki değişimle kalitesi düşük-yüksek sınıflarında değişkenlik sergilerken; kimyasal kalite indikatörleri % 36.50-66.59 arasındaki değişimle çok düşük-orta sınıflarında belirlenmiştir. Fiziksel ve kimyasal kalite indikatörlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucu elde edilen toprak kalite indeksi ise düşük (% 49.01) ve orta (% 68.63) kalite sınıflarında değişkenlik sergilemiştir (Tablo 1).

Toprak kalite indeksleri ile toprak özellikleri arasındaki korelasyon matrisleri Tablo 2'de belirtilmiştir. Toprak fiziksel kalite özellikleri ile EC (0.382), kil (0.566), YS (0.773) ve OM (0.399) arasında pozitif yönlü, kum (-0.336) ve HA (-0.224) ile arasında ise negatif yönlü olmak üzere istatistiksel olarak çok önemli ($p < 0.01$) ilişkiler belirlenmiştir (Tablo 2). Özellikle çeltik yetiştiriciliğinde suyun tutulmasında etkili olan parametrelerden biri olan kil içeriği ve organik madde içeriğinin artması suyun tutulumunu artırarak fiziksel kalite indikatörlerini pozitif yönde etkilemektedir. Yarıyıllı su içeriğinin artması bitki gelişimi için oldukça önemli bir parametre olup, yarıyıllı su içeriğindeki artış bitkinin daha fazla sudan yararlanabileceğinin bir göstergesidir (Alaboz ve ark., 2020). Toprak sıkışmasına bağlı olarak hacim ağırlığının artması gözenek yapısını değiştirerek su ve besin elementinin hareketini negatif yönde etkilemektedir (Mujdeci ve ark., 2017). Ayrıca kum içeriğindeki artışlar özellikle çeltik üretimini negatif yönde etkileyebilmektedir.

Tablo 2. Fiziksel ve kimyasal toprak kalite skorları ile indikatör ve toprak özellikleri arasındaki korelasyon analizi sonuçları

Table 2. Results of correlation analysis between physical and chemical soil quality scores and indicator and soil properties

İndikatörler	FKS	KKS	TKİ
pH	-0.126	0.003	-0.097
EC	0.382**	0.021	0.230**
Kil	0.566**	-0.297**	0.377**
Silt	-0.126	0.472**	0.022
Kum	-0.336**	0.100	-0.223**
HA	-0.224**	-0.076	-0.161*
YS	0.773**	-0.254**	0.772**
P	-0.102	0.308**	0.082
SAR	0.123	0.096	0.112
K	0.130	0.536**	0.403**
OM	0.399**	0.134	0.338**

*, $p < 0.05$ düzeyinde önemli farklılık, **, $p < 0.01$ düzeyinde önemli farklılık, EC: Elektriksel iletkenlik, HA: Hacim ağırlığı, YS: Yarıyıllı su içeriği, P: Yarıyıllı fosfor, SAR: Sodyum adsorpsiyon oranı, K: Yarıyıllı potasyum, OM: Organik madde, FKS: Fiziksel kalite skoru, KKS: Kimyasal kalite skoru, TKİ: Toprak kalite indeksi

Fiziksel kalite indikatörlerindeki çok düşük sınıfta belirlenen toprakların yüksek kum içeriği ve hacim ağırlığı değerlerinden kaynaklı olduğu değerlendirilmiştir.

Toprakların kimyasal kalite skorları ile silt (0.472), P (0.308) ve K (0.536) arasında pozitif, kil (-0.297) ve YS (-0.254) arasında ise negatif yönlü istatistiksel olarak çok önemli ($p<0.01$) ilişkiler belirlenmiştir (Tablo 2). Kireçli topraklarda kil içeriklerinin ve kil yüzeyinde bağlı bulunan demir oksit bileşiklerinin fosfor adsorpsiyonunda önemli rol oynadıkları yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur (Fox ve Kamprath, 1970). Yarayışlı su içeriğindeki negatif korelasyon kil içeriğindeki korelasyondan kaynaklanmaktadır. Kil içeriğindeki artışa bağlı yarayışlı P içeriğindeki azalış, kimyasal kalite skorlarındaki azalışa neden olan sebeplerden biri olarak değerlendirilebilmekte ve negatif ilişkinin bir açıklaması olarak ortaya çıkmaktadır (Aydemir ve ark., 2005). Kimyasal kalite skorları içerisinde düşük sınıfta olan toprakların elde edilmesinde en etkili olan düşük K ve P özellikleri olarak düşünülmektedir.

Toprak kalite indeksi ile EC (0.230; $p<0.01$), kil (0.377; $p<0.01$), YS (0.772; $p<0.01$), K (0.403; $p<0.01$) ve OM (0.338; $p<0.01$) arasında pozitif, kum (-0.223; $p<0.01$) ve HA (-0.161; $p<0.05$) arasında ise negatif yönlü anlamlı ilişkiler elde edilmiştir (Tablo 2). Çalışma alanı içerisinde çeltik yetiştirilen toprakların kalite skorlarında en etkili özellik YS olarak belirlenmiş ve en yüksek korelasyon bu özellikte elde edilmiştir. Ayrıca toprakların K, OM ve kil içerikleri de toprak kalite

indeks değerlerinde oldukça önemli ilişkiler gösteren özellikler olarak değerlendirilmiştir.

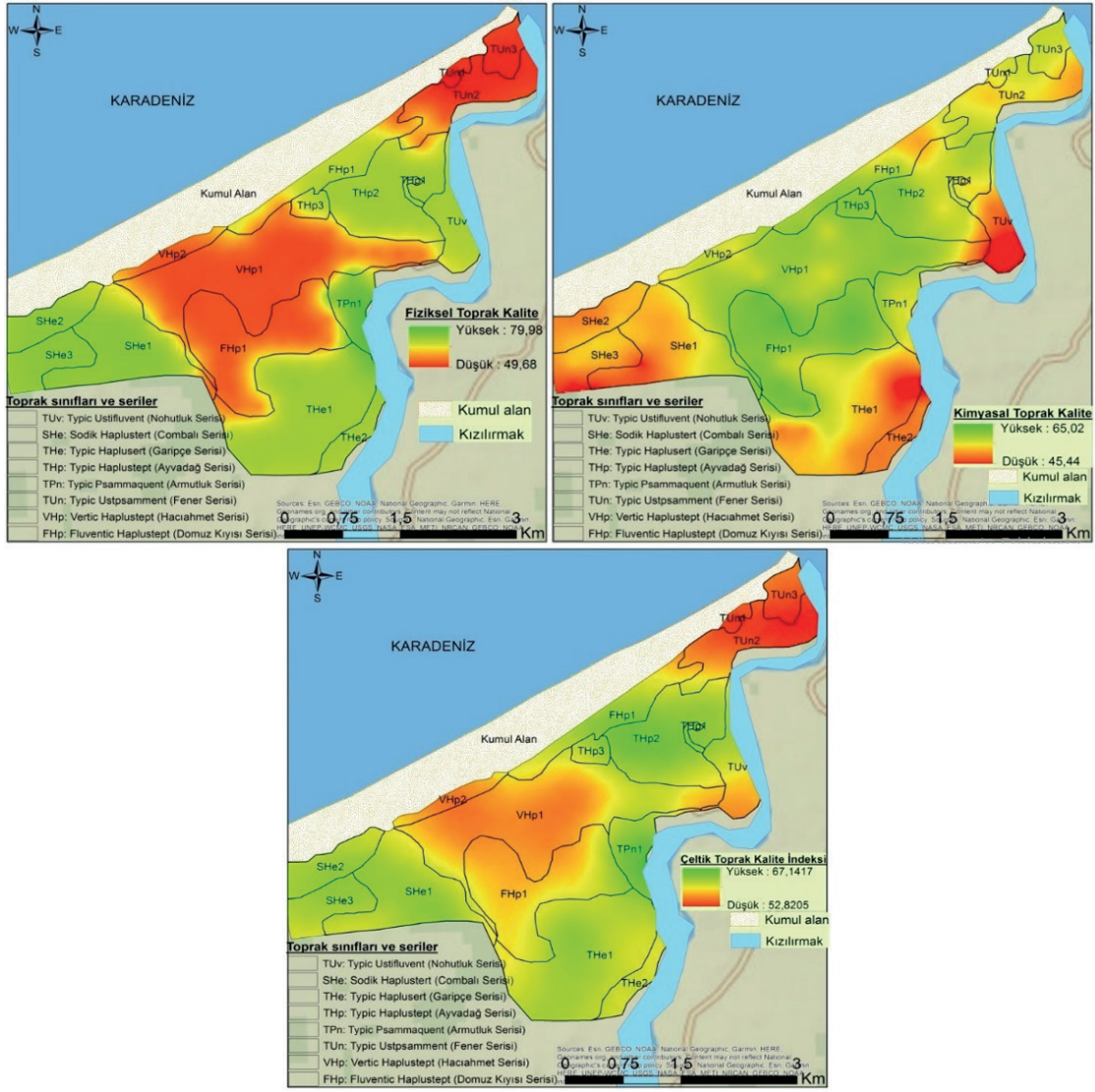
Toprak fiziksel, kimyasal ve genel toprak kalite indeksi konumsal dağılım durumlarının farklı enterpolasyon yöntemleri ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen RMSE değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Çalışmada IDW'nin ağırlık kuvvetleri (1., 2. ve 3. kuvvet), radyal tabanlı fonksiyonlar yönteminde (RBF) ince plaka spline (TPS), gergin spline (SWT), tamamen düzenli spline (CRS) ve kriging (ordinary, simple, universal) için küresel, üssel ve gaussian modelleri değerlendirilmiş, tahmin gücü en yüksek elde edilen enterpolasyon yöntemleri ile dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3). Fiziksel kalite skorları için en düşük elde edilen RMSE değeri simple kriging spherical (% 5.7194), kimyasal kalite indeksi için ordinary kriging exponential (% 4.0061), genel toprak kalite indeksi için ise simple kriging gaussian (% 3.0284) modellerinde elde edilmiştir (Tablo 3). En yüksek hata oranı da genellikle IDW yönteminde belirlenmiştir. Şenol ve ark. (2020) tarafından toprak kalite indeksini makine öğrenme algoritmaları ile tahmin edilebilirliğinin araştırıldığı çalışmada, dağılım haritalarında en düşük hata kriging yöntemiyle elde etmiştir. Taşan ve Demir (2017), tarafından çeltik yetiştiriciliği yapılan arazilerde demir ve mangan içeriklerinin alansal dağılımında hata oranı en düşük IDW ve kriging yöntemleri ile elde edilmiştir. Kriging yönteminde tahmin hatasının en az olmasına göre ağırlıkların belirlenmesi kriging metodunun diğerlerine göre daha başarılı olmasının bir nedeni olarak değerlendirilmektedir (İnal ve Yiğit, 2003).

Tablo 3. Fiziksel, kimyasal ve genel toprak kalite indeksi değerlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile değerlendirilmesi

Table 3. Evaluation of physical, chemical, and general soil quality index values with different interpolation methods

Dağılım modelleri	RMSE değerleri (%)				
	FKİ	KKİ	TKİ		
IDW	1	6.2922	4.1364	3.2574	
	2	6.0311	4.0359	3.1664	
	3	5.9072	4.0124	3.1427	
RBF	CRS	5.8141	4.0224	3.0929	
	SWT	5.8137	4.0142	3.0859	
	TPS	6.4784	4.5799	3.5023	
Kriging	Ordinary	Spherical	5.7248	4.0112	3.0512
		Exponential	5.8468	4.0061	3.0985
		Gaussian	5.8038	4.0935	3.0337
Simple	Spherical	5.7194	4.0259	3.0441	
	Exponential	5.8299	4.0229	3.1511	
	Gaussian	6.96863	4.1330	3.0284	
Universal	Spherical	5.7248	4.0112	3.0512	
	Exponential	5.8468	4.0061	3.0985	
	Gaussian	5.8038	4.0935	3.0337	

FKİ: Fiziksel kalite indeksi, KKİ: Kimyasal kalite indeksi, TKİ: Toprak kalite indeksi, IDW: Ters mesafe komşuluk benzerliği, RBF: Radyal tabanlı fonksiyonlar, CRS: Tamamen düzenli spline, SWT: Gergin spline, TPS: İnce plaka spline



Şekil 3. Toprak kalite indeksi konumsal dağılım haritaları
 Figure 3. Soil quality index spatial distribution maps

Fiziksel kalite skorları ile elde edilen dağılım alanlarında bölgesel farklılıklar belirlenmiştir. Çalışma alanı içerisinde Vertic Haplustept ve Typic Ustpsamment toprak sınıflarında toprak fiziksel kalite skorları düşük seviyede belirlenirken; Sodik Haplustert, Typic Haplusert, Typic Ustifluent, Typic Haplustept, Fluventic Haplustept toprak sınıflarında daha yüksek kalite skorları elde edilmiştir. Kimyasal kalite indikatörlerinin dağılım haritasında ise fiziksel kaliteden tam tersi bir durum söz konusu olup, fiziksel olarak düşük kalitede olan bölgeler kimyasal olarak daha yüksek seviyelerde dağılım sergilemiştir. Genel toprak kalite indeksi değerlerinin dağılım haritasında en düşük kalite gösteren çalışma alanının kuzey doğu bölgesinde bulunan ve kum içeriği oldukça yüksek olan Typic Ustpsamment toprak sınıflarının bulunduğu bölgede belirlenmiştir (Şekil 3).

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Bafla Ovası sol sahili bölgesinde çeltik yetiştirilen alanların toprak kalite indeksi SMAF modeli ile belirlenmiş ve konumsal dağılımları farklı enterpolasyon yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Çeltik yetiştiriciliği yapılan alanların toprak fiziksel kalitesinin düşük olarak belirlenmesinde en önemli olan özellikler yarayışlı su ve kil içeriği iken, kimyasal kalite indeksi için bu özellikler yarayışlı K ve P olarak tespit edilmiştir. Topraklar özelliklerinin bir arada değerlendirilmesi sonucu elde edilen toprak kalite indeksi üzerinde etkili olan ve korelasyonu en yüksek ilişki gösteren özellikler ise kil, yarayışlı su, yarayışlı K ve organik madde olarak bulunmuştur. Kalite indikatörlerinin dağılım haritalarında en başarılı, hata oranı en düşük dağılım sergileyen kriging yöntemi olarak

belirlenmiştir. Çalışma alanı için oluşturulan dağılım haritalarında fiziksel kalite indikatörü yüksek alanların kimyasal kalite indikatörlerinin düşük seviyelerde olduğu elde edilmiş ve toprak kalitesinin yükseltilmesi için kimyasal kalite indikatörünün yüksek olduğu alanlarda organik madde uygulamalarıyla sıkışmanın azaltılması, yarayışlı su içeriklerini artırılması gibi katkılar ile fiziksel koşullarında iyileştirilmesi gerektiği önerilmektedir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar, makaleye eşit katkıda bulduklarını; makalenin yayına hazır son halini, gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Finansman

Bu araştırma, hiçbir dış finansman almamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

- Acton, D.F., Gregorich, L.J., 1995. The health of our soils-toward sustainable agriculture in Canada. In: D.F. Acton and L.J. Gregorich, (Eds.), *Understanding Soil Health*, 1st Edn., Centre for Land and Biological Resources Research Research Branch, Agriculture and Agri-Food, Canada, pp. 15-19.
- Akbulak, C., 2010. Analitik hiyerarşi süreci ve coğrafi bilgi sistemleri ile Yukarı Kara Menderes Havzası'nın arazi kullanımı uygunluk analizi. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 7(2): 557-576.
- Alaboz, P., Demir, S., Başayığit, L., Işıldar, A.A., 2019. Isparta ili büyük toprak gruplarına göre tahıl yetiştirilen toprakların bazı özelliklerinin belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 28(2): 67-79.
- Alaboz, P., Demir, S., Dengiz, O., 2020. Farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılarak toprakların nem sabitelerine ait konumsal dağılımların belirlenmesi, Isparta Atabey Ovası örneği. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(3): 432-444.
- Alaboz, P., Dengiz, O., Pacci, S., Demir, S., Türkay, C., 2022. Farklı organik atık uygulamasının toprak kalitesi üzerine etkisinin SMAF modeli ile belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(1): 23-34.
- Alaboz, P., Işıldar, A.A., 2021. Pedotransfer functions for estimation of soil moisture constants from penetration resistance measurements and some soil properties. *Journal of Agricultural Sciences*, 27(2): 138-145.
- Andrews, S.S., Carroll, C.R., 2001. Designing a decision tool for sustainable agroecosystem management: Soil quality assessment of a poultry litter management case study. *Ecological Applications*, 11(6): 1573-1585.
- 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.
- Anonim, 2022. Seçilmiş Göstergelerle Samsun. Türkiye İstatistik Kurumu, (<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>), (Erişim tarihi: 13.06.2022).
- Anonymous, 1999. Soil Taxonomy: A Basic of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Survey (USDA Handbook No. 436). Soil Survey Staff, Washington, DC: US Government Printing Office.
- Aydemir, O., Akgül, M., Canbolat, M.Y., Işıldar, A.A., 2005. Toprak Bilgisi (3.Baskı). Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, Genel Yayın No: 10, Isparta.
- Blake, G.R., Hartge, K.H., 1986. Methods of soil analysis, In: A. Klute (Ed.), *Physical and Mineralogical Methods*, 1st edn., Soil Science Society of America, Wisconsin, pp. 377-382.
- Cherubin, M.R., Tormena, C.A., Karlen, D.L., 2017. Soil quality evaluation using the soil management assessment framework (SMAF) in Brazilian oxisols with contrasting texture. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41: e0160148.
- Coşkun, A., 2016. Terme Havzası bazı temel fizyografik karakteristikleri belirlenmesi ve tarımsal taşkın alanlarının toprak haritalanması. Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Coşkun, A., Dengiz, O., 2016. Samsun Terme havzası bazı temel fizyografik karakteristikleri belirlenmesi ve tarımsal taşkın alanlarının toprak haritalanması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 3(1): 1-13.
- De Paul Obade, V., Lal, R., 2016. A standardized soil quality index for diverse field conditions. *Science of the Total Environment*, 541: 424-434.
- Dengiz, O., 2010. Morphology, physico-chemical properties and classification of soils on terraces of the Tigris River in the South-East Anatolia region of Turkey. *Journal of Agricultural Sciences*, 16(3): 205-212.
- Dengiz, O., Özyazıcı, M.A., 2018. Çeltik tarımına uygun alanların belirlenmesinde çok kriterli arazi değerlendirme. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(1): 19-28.
- Ditzler, C.A., Tugel, A.J., 2002. Soil quality field tools: Experiences of USDA-NRCS Soil Quality Institute. *Agronomy Journal*, 94: 33-38.
- Doğanay, H., 2007. Ziraat Coğrafyası, Ekonomik Coğrafya 3. Aktif Yayınları, Erzurum.
- Doran, J.W., Jones, A.J., 1997. Methods for assessing soil quality. In: D.F. Bezdicek, R.I. Papendick and R. Lal (Ed.), *Importance of Soil Quality to Health and Sustainable Land Management*, 1st Edn., SSSA special Publication Soil Science Society of America, Madison, pp. 1-8.

- Fawzi, A.F.A., El-Fouly, M.M., 1980. Soil and leaf analysis of potassium in different areas in different areas in Egypt. A. Saurat and M.M. El Fouly (Eds.), *Role of Potassium in Crop Production*, IPI, Bern, pp. 73-80.
- Fox, R.L., Kamprath, E.J., 1970. Phosphate sorption isotherm for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 34(6): 902-907.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. Methods of soil analysis, part I: physical and mineralogical analysis. In: A. Klute (Ed.), *Particle-Size Analysis*, 1st Edn., Soil Science Society of America, Madison, pp. 388-409.
- Göney, S., 1980. Sıcak Bölgelerde Ziraat Hayatı (1. Baskı). İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü, Edebiyat Fakültesi Yayınları, Genel Yayın No: 116, Teknik Yayınlar No: 2732, İstanbul.
- Gugino, B.K., Abawi, G.S., Idowu, O.J., Schindelbeck, R.R., Smith, L.L., Thies, J.E., Wolfe, D.W., Van Es, H.M., 2009. Cornell Soil Health Assessment Training Manual. Second Edition, Cornell University College of Agriculture and Life Sciences, New York.
- Haktanır, K., Arcak, S., 2022. Toprak Biyolojisinin Konusu, Önemi ve Gelişimi. (<https://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12575/66463/Toprak%20biyolojisinin%20konusu%2C%20%C3%B6nemi%20ve%20geli%C5%9Fimi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>), (Erişim tarihi: 01.02.2022).
- Hendershot, W.H., Lalonde, H., Duquette, M., 1993. Soil sampling and method of analysis for Canadian Society of Soil Science In: M.R. Carter (Ed.), *Soil Reaction And Exchangeable Acidity*, 1st Edn., Lewis, Florida, pp. 141-85.
- Horuz, A., Dengiz, O., 2018. Terme yöresi alüvyal arazilerde yetiştirilen çeltiğin bazı fiziko-kimyasal toprak özellikleriyle besin element kapsamı arasındaki ilişkiler. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 33(1): 58-67.
- Hussain, I., Olson, K.R., Wander, M.M., Karlen, D.L., 1999. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. *Soil and Tillage Research*, 50(3-4): 237-249.
- İnal, C., Yiğit, C.Ö., 2003. Jeodezik uygulamalarda kriging enterpolasyon yönteminin kullanılabilirliği. *Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştay*, Bildiri Kitabı, 24-26 Eylül, Konya, s. 177-185.
- Karaca, S., Dengiz, O., Demirağ Turan, İ., Özkan, B., Dedeoğlu, M., Gülser, F., Sargin, B., Demirkaya, S., Ay, A., 2021. An assessment of pasture soils quality based on multi-indicator weighting approaches in semi-arid ecosystem. *Ecological Indicators*, 121: 107001.
- Karlen, D.L., Stott, D.E., 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek and B.A. Stewart (Eds.), *Defining Soil Quality For A Sustainable Environment*, 1st Edn., SSSA Special Publication, Soil Science Society of America, Madison, pp. 53-72.
- Karlen, D.L., Veum, K.S., Sudduth, K.A., Obrycki, J.F., Nunes, M.R., 2019. Soil health assessment: Past accomplishments, current activities, and future opportunities. *Soil and Tillage Research*, 195: 104365.
- Kibblewhite, M.G., Ritz, K., Swift, M.J., 2008. Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363(1492): 685-701.
- Klute, A., 1986. Methods of soil analysis. In: A. Klute (Ed.), *Water Retention: Laboratory Methods*, 2nd Edn., Soil Science Society of America, Madison, pp. 635-662.
- Mujdeci, M., Isildar, A.A., Uygur, V., Alaboz, P., Unlu, H., Senol, H., 2017. Cooperative effects of field traffic and organic matter treatments on some compaction-related soil properties. *Solid Earth*, 8(1): 189-198.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. Methods of soil analysis, part II: Chemical and microbiological methods. In: L.A. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter*, 2nd Edn., Soil Science Society of America, Madison, pp. 539-579.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of Available Phosphorous in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. Government Printing Office, Washington.
- Özyazıcı, M.A., Dengiz, O., Aydoğan, M., Bayraklı, B., Kesim, E., Urla, Ö., Yıldız, H., Ünal, E., 2016. Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi tarım topraklarının temel verimlilik düzeyleri ve alansal dağılımları. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(1): 136-148.
- Pacci, S., Kaya, N.S., Dengiz, O., Turan, İ.D., 2021. Van havzası içerisinde yer alan mera arazilerinde smaf modeli kullanılarak toprak kalitesinin değerlendirilmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 36(2): 301-316.
- Pacci, S., Kaya, N.S., Turan, İ.D., Odabas, M.S., Dengiz, O., 2022. Comparative approach for soil quality index based on spatial multi-criteria analysis and artificial neural network. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(1): 1-15.
- Purakayastha, T.J., Pathak, H., Kumari, S., Biswas, S., Chakrabarty, B., Padaria, R.N., Kamble, K., Pandey, M., Sasman, S., Singh, A., 2019. Soil health card development for efficient soil management in Haryana, India. *Soil and Tillage Research*, 191: 294-305.
- Raiesi, F., 2017. A minimum data set and soil quality index to quantify the effect of land 504 use conversion on soil quality and degradation in native rangelands of upland arid and 505 semiarid regions. *Ecological Indicators*, 75: 307-320.
- Rhoades, J.D., 1986. Methods of soil analysis, part II: chemical and microbiological properties, In: A. Klute (Ed.), *Soluble Salts*, 1st Edn., Soil Science Society of America, Madison, pp. 79-167.
- Richard, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. US Department of Agriculture. Agricultural Handbook, Washington.
- Saygın, F., Dengiz, O., 2013. Bafra Ovası sol sahilinde yer alan fener köyü ve yakın çevresinde dağılım

- gösteren farklı toprakların sınıflandırılması ve dağılım alanlarının belirlenmesi. *Toprak Su Dergisi*, 2(2): 63-72.
- Şenol, H., Alaboz, P., Demir, S., Dengiz, O., 2020. Computational intelligence applied to soil quality index using GIS and geostatistical approaches in semiarid ecosystem. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(23): 1-20.
- Taşan, M., Demir, Y., 2017. Çeltik yetiştiriciliği yapılan arazilerde demir ve mangan içeriklerinin alansal dağılımının farklı enterpolasyon yöntemleri ile belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(1): 64-73.
- Taşdelen, K., Demir, Y., 2020. Terme Ovasında çeltik yetiştirilen alanların tuzluluk ve sodyumluluk durumlarının belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(2): 175-184.
- Temizel, K.E., Tok, S., 2019. Farklı sodyum adsorbsiyon oranı değerlerine sahip sulama sularının bazı toprak özelliklerine etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(3): 1729-1736.
- Thomas, G.W., 1987. Method of soil analysis, part II: agronomy. In: C.A Clark (Ed.), *Exchangeable Cations*, Soil Science Society of America, Madison, pp. 59-161.
- Ülgen, N., Yurtsever, N., 1974. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü, Teknik Yayınlar No.28, Ankara.
- Yurtsever, N., Alkan, B., 1975. Karadeniz Bölgesi Topraklarının Fosfor İhtiyaçlarının Tayininde Kullanılan Bazı Toprak Analiz Metodlarının Tarla Denemeleriyle Kalibrasyonu Üzerinde Bir Araştırma. TÜBİTAK Tarım ve Orman Araştırma Grubu Yayınları, Genel Yayın No: 220, Teknik Yayınlar No: 36, Ankara.
- Wilding, L.P., 1985. Spatial Variability: Its documentation, accommodation and implication to soil surveys. In: D.R. Nielsen and J. Bouma (Eds.), *Soil Spatial Variability*, 1st Edn., Pudoc, Wageningen, pp.166-194.

ALINTI: 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.
CITATION: Pacci, S., Dengiz, O., Saygın, F., Alaboz, P., 2022. Soil Quality Assessment of Paddy Cultivation Lands in the Bafra Plain Based on the SMAF Model. *Turkish Journal of Agricultural Research*, 9(2): 164-174. (In Turkish).