

Yarı-Kurak Bir Tarım Arazisinde Toprak Kalitesinin Uzaysal Değişkenliği^x

S.H. Mohamed¹, S. Erřahin², S. Sünal Kavaklıgil^{*2}

¹ Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, 18200, Çankırı, Türkiye

² Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı, 18200, Çankırı, Türkiye

* İletişimden sorumlu yazar (sevalsunal@karatekin.edu.tr)


MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 4 Haziran 2020

Kabul Tarihi 14 Eylül 2020

*Sorumlu Yazar:

sevalsunal@karatekin.edu.tr

0000-0001-2345-6789

^x Bu makale ilk yazarın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

ÖZ

Toprak kalitesinin izlenmesi tarımda sürdürülebilirlik, toprakların korunması, çevre sağlığı ve gıda güvenliği açısından son derece önemlidir. Bu çalışma ile Çankırı-Merkez ilçeye bağlı Aşağı Pelitözü köyünde eğimli ve sürekli buğday-nadas kültürü altında yaklaşık 10 hektar genişliğindeki bir arazide toprak kalitesinin uzaysal değişkenliği belirlenmiştir. Çalışma alanında gelişiğüz belirlenen 100 noktadan topraklarının toprak işleme derinliğinden (0-20 cm) toprak örnekleri alınarak temel toprak özellikleri için analiz edilmiştir. Toprak kalitesi değerlendirmesinde kullanılacak

göstergelerin yer alacağı minimum veri setinin belirlenmesi amacıyla temel bileşenler analizi uygulanmıştır. Bu analiz sonucu arazide ortalama toprak kalitesi indeksinin (TKİ) 1,47 (orta düzeyde) olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan TKİ değerlerinin uzaysal yapısı jeoistatistiksel yöntemlerle analiz edilmiş ve değerlerin arazideki değişimini gösteren yüzey haritası oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre TKİ'nin arazinin eğimin nispeten daha düşük olduğu güneydoğu tarafında düşük, kuzeybatı tarafında ise daha yüksek değerler aldığı tespit edilmiştir. Bulgular, TKİ'nin uzaysal yapısının güvenli bir şekilde belirlenebilmesi için daha sık bir örneklemenin gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Gausiyan model, jeoistatistik, minimum veri seti, temel bileşenler, toprak kalitesi

Spatial Variability of Soil Quality on a Semi-arid Agricultural Land

ABSTRACT

Monitoring of soil quality is essential for agricultural sustainability, soil protection, environmental safety and food security. In this study, spatial variability of soil quality index (SQI) in an approximately 10 hectares of semi-arid field under continuous wheat-fallow rotation was studied. One hundred soil samples were collected randomly from tillage depth (0-20 cm). The soil samples were analyzed for basic soil properties and minimum data set was determined by principle component analysis. The SQI values were calculated for each of the sampling point, spatial structure of SQI was evaluated by geostatistical methods and surface map of SQI were created. Results showed that mean SQI was 1.47 (moderate). The results further revealed that a denser sampling is needed to reliably evaluate the spatial structure of the SQI in the study area.

Keywords: Principal components, Gaussian model, Geostatistics, Minimum data set, Soil quality.

1. Giriş

Toprak kalitesi “toprağın bitkisel ve hayvansal üretimi sürdürebilme, su ve hava kalitesini artırabilme ve insan sağlığı için uygun yaşam ortamını oluşturma fonksiyonlarının tamamını sağlayabilme kapasitesi” olarak tanımlanmaktadır

(Karlen et al., 1997). Toprağın statik özelliklerinin yanı sıra dinamik özellikleri tarafından da kontrol edilen toprak kalitesi; toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerinin bir bütünü olduğundan toprak verimliliğinin en önemli göstergesidir. Toprak ve alana özgü bir kavram olan toprak kalitesi, iklim, arazi kullanımı veya doğal

Bu makaleye atf:

Mohamed, S.H., Erşahin, S., Sünal Kavaklıgil, S., 2020. Yarı-Kurak Bir Tarım Arazisinde Toprak Kalitesinin Uzaysal Değişkenliği. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi 6(1): 28-38.

toprak özellikleri gibi alana özgü faktörler tarafından kontrol edilmektedir (Karlen et al., 2006). Dolayısıyla toprak kalitesi derinlik, su tutma kapasitesi, hacim ağırlığı, yarıyışlı besin maddesi miktarı, organik madde miktarı, mikrobiyal kütle, karbon ve azot içeriği, toprak strüktürü ve infiltrasyon hızı gibi birçok özellik tarafından etkilenir (Özulu et al., 2006). Bu özellikler arasındaki korelasyon nedeni ile çok az özellik toprak kalitesi indikatörü olarak belirlenmiştir ve toprak kalitesini belirleme ve sayısal olarak ifade etme açısından yapılan çalışmalar yetersiz kalmıştır (Arshad and Coen, 1992). Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar toprak kalitesinin belirlenmesi ve sayısal olarak ifade edilmesi açısından yeterli ve anlaşılır düzeydedir. Örneğin yapılan bir çalışmada, Beypazarı topraklarının toprak kalite indeksleri coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak toprak kalite indeksleri belirlenmiştir. Araştırmacı çalışma alanı topraklarının toprak kalite indeks değerleri Typic Haploxerepts, Typic Xerohents, Typic Xerofluvents ve Fluventic Haploxerepts'ler de yüksek (% 54.6); Typic Calcixerepts ve Gypsic Haploxerepts'ler de orta (% 31.9); ve Lithic Xerohents'ler de düşük (%13,5) olarak belirlemiştir (Bayramin, 2003). Bir diğer çalışmada Bursa ili sınırları içinde bulunan Karacabey Tarım İşletmesi arazilerinin toprak kalite indeks sonuçları yorumlanmıştır. Çalışmaya göre, MEDALUS yöntemine göre tarım işletmesi arazilerinin %8.28'i iyi, %49.17'si orta ve %42.55'i zayıf olarak sınıflandırılmıştır (Everest et al., 2020).

Toprak kalitesinin zamanla değişmesi, bölgeden bölgeye farklılık göstermesi ve doğrudan ölçümünün zor olmasından dolayı, toprağın fonksiyonlarını yerine getirmesinde etkili olan ve kalite göstergesi olarak kullanılacak değişkenlerin bölgeye veya toprağa özel olarak belirlenmesi gereklidir. Ancak toprak özellikleri arasındaki etkileşimlerin yanında toprak özelliklerinin uzaysal ve zamansal değişkenliklerinin yüksek olması bu parametrelerin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Parr et al. (1992), toprak kalite indeksinin değerlendirilmesinde toprak özellikleri, üretim potansiyelleri, çevresel faktörler, insan ve hayvan sağlığını etkileyen kriterlere ilaveten, erozyon hassasiyeti, biyolojik çeşitlilik ve amenajman uygulamalarına ait faktörlerine yer verilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Dolayısıyla, toprak kalitesinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda çok değişkenli istatistiksel yöntemler ile jeoistatistiksel yöntemlerin bir arada kullanılması avantaj sağlamaktadır. Ayrıca çok değişkenli istatistiksel yaklaşımlar toprak kalite değerlendirme çalışmalarında, çevresel ve yönetsel etkilere ait veri setleri içerisinde olan bilgilerin ortaya çıkarılmasına izin vererek muhtemel bilgi

kayıplarının yaşanmasını da engellemektedir (Sağlam and Dengiz, 2013).

Genel olarak toprak kalitesi değerlendirilmeleri 3 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar 1) toprak kalitesini en iyi şekilde tanımlayacak gösterge toprak özelliklerinin seçimi, 2) bu toprak özelliklerinin birimsiz skorlara dönüştürülerek yorumlanması ve 3) toprak özelliklerinin bir indeks içerisinde birleştirilmesinden oluşmaktadır (Andrews et al. 2004)

Herhangi bir bölgenin toprak kalite indeksi belirlenirken toprak parametrelerinin tamamının kullanılması hem zaman alıcı hem de oldukça maliyetli olduğundan, toprak kalite indeksinin belirlenmesinde toprak kalitesini yansıtacağı düşünülen en az sayıda toprak karakteristiklerinden oluşmuş bir veri seti kullanılmalıdır (Andrews et al., 2004; Veum et al., 2017.; Budak et al., 2018;). Nortcliff (2002), indikatörlerin iyi seçilememesi durumunda toprak kalitesinin değerlendirilmesinde sorunlar yaşanacağını belirtmiştir. Doran et al. (1996), toprak kalitesinin belirlenmesinde en az sayıda değişkenin kullanılmasını önermişler ve araştırmacılar bu değişkenlerin ise tekstür, kök derinliği, infiltrasyon hızı, hacim ağırlığı, su tutma kapasitesi, pH, total C, elektriksel iletkenlik, besin maddesi miktarı, mikrobiyal kütle, mineralize olabilir N ve toprak solunumu gibi özellikler olduğunu bildirmişlerdir.

Toprak özelliklerinin yüksek değişkenliği nedeni ile Raiesi (2017), farklı bölgelerde aynı veri setini kullanmak yerine farklı veri setlerinin oluşturulması gerektiğini bildirmektedir. Bu amaçla Temel Bileşen Analizi (PCA) veya Uzman görüşü gibi yöntemler kullanılarak ilgili araziye özgü minimum veri setleri (MVS) oluşturulmaktadır. Shukla et al., (2006) PCA yöntemini kullanarak indikatörlerin, veri setindeki toplam varyansa olan katkılarını dikkate almış ve gereksiz indikatörleri veri setinden uzaklaştırmıştır. Nakajima et al., (2015) her bir indikatörün tarımsal üretkenliğe katkısına ait ağırlıkları göz önünde bulundurarak veri setini oluşturmuştur.

Toprak kalitesinin belirlenmesinde MVS içine dâhil edilen göstergelerin doğrusal veya doğrusal olmayan yöntemlerle skorlanarak yorumlanabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda toprak kalite indeksi belirlenirken her ne kadar farklı skorlama yöntemleri kullanılsa da temel mantık birimleri ve değer aralıkları farklı olan toprak özelliklerine ait verileri normalize ederek ve birimsiz skorlara dönüştürerek yorumlanabilir hale getirmektir (Budak et al., 2018). Örneğin, Kosmas et al. (2006) tarafından geliştirilen MEDALUS modelinde araştırmacılar tarafından toprak kalite indeksi altında tanımlanan parametrelere 1 (en iyi) ile 2 (en kötü) arasında skorlar verilmiştir. Andrews

et al. (2004) ise SMAF modelinde tanımlanan parametrelere 0 (en kötü) ile 1 (en iyi) arasında skorlar verilmişlerdir. Yapılan bir başka çalışmada topraklar özelliklerine ait değerler, doğrusal skorlama fonksiyonları ile skorlanmış ve en yüksek ağırlık (0.27) organik maddeye verilirken en düşük ağırlık (0.04) silt içeriğine verilmiştir. En yüksek ağırlığın organik maddeye verilmesinin nedeni, toprak verimliliğini en fazla etkileyen toprak özelliği olmasından ileri geldiğini bildirmişlerdir (Koca et al., 2019). Benzer şekilde Acir (2014), farklı tarımsal ekolojilere sahip kurak ve yarı-kurak iki bölgede yaptığı çalışmalarda PCA ile değişken indirgeme yöntemini kullanarak MVS'i belirlemiş, göstergelere ait skor değerlerini hesaplamış ve ağırlıklı eklemeli indeks metodunu kullanmıştır. Toprak kalite indislerinin almış oldukları skor değerleri çoğunlukla yere özgüdür ve yorumlamaları genellikle toprak oluşumunun bir ürünü olan toprak özelliklerini esas almaktadır (Bayram et al., 2015). Örneğin, kurak bölge topraklarında %2 düzeyindeki bir organik madde içeriği en yüksek skor alırken, yağışlı ve serin bölge toprakları için %2 organik madde içeriği toprakta bozulmanın göstergelerinden kabul edilmekte ve skorlamada kurak bölgeye göre çok daha düşük değer almaktadır (Acir, 2014).

Bu çalışma ile Çankırı il merkezine yaklaşık 20 km mesafede yer alan, tipik yarı-kurak iklime sahip ve engebeli alanları temsilen seçilen sürekli buğday-nadas rotasyonu altındaki yaklaşık 10 ha genişliğindeki bir arazide toprak kalite indeksi (TKİ) hesaplanarak elde edilen değerlerin uzaysal değişkenliği belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Araştırma, Çankırı ili Aşağı Pelitözü köyünün 4 km güney doğusunda ve Çankırı il merkezine 20 km uzaklıkta bulunan tarım arazilerinde yürütülmüştür (Şekil 1). Örnekleme yapılan araziler üzerinde 70 yılı aşkın süredir geleneksel toprak işleme yöntemi ile buğday tarımı yapılmaktadır. Çalışma alanı Aşağı ve Yukarı Pelitözü köyleri çevresinde oldukça geniş bir yayılım alanı bulunan ve sıcak iklim koşullarında lagüner ortamda çökelmiş olan (Sarp, 2010) Bozkır formasyonunda yer almaktadır.

Çalışma alanının jeolojisi genel itibarıyla jips olup, tabanda kum taşı, silt taşı, üste doğru kil taşı, marn ara bantlarını kapsamaktadır. Çalışma alanı ve çevresi Türkiye'de özellikle Oligo-Miosen jipsli serileri olarak bilinen formasyonların yaygın olarak bulunduğu sahalardandır. Buradaki jips karstına ait şekilleri genellikle dolinler (çukur) oluşturur. Bu

bölgeye ait topografik haritalar incelendiğinde, jipsli alanlar üzerinde bazı yerlerde hiç dolin bulunmazken, bazı yerlerde seyrek olarak dağılmış, içlerinde geçici göllerin olduğu, irili ufaklı dolinler (çukurlar) dikkati çekmektedir (Sünel, 2018).



Şekil 1. Çalışma alanının konumu.

Çalışma alanı tipik karasal iklim özellikleri göstermektedir (Birgili, 2015). Çalışma alanına en yakın meteoroloji istasyonu Çankırı Merkezde olup (731 m a.s.l) bu istasyondan alınan verilere göre bölgede yıllık ortalama sıcaklık 11.3°C'dir. Bölgenin vejetasyon süresi Nisan ve Ekim ayları arasındadır. Yıllık ortalama yağış miktarı 412.3 mm olup, vejetasyon süresi içindeki yağış miktarı 245.0 mm'dir. Yıllık ortalama bağıl nem %67, vejetasyon süresinde ise %62'dir. Çalışma alanı topraklarının nem rejimi Xeric'dir. Çankırı merkezde 50 cm toprak derinliğindeki ortalama sıcaklık 14,7°C olduğundan sıcaklık rejimi de Mesic olarak sınıflandırılmıştır (Sünel, 2018).

2.2. Yöntemler

Çalışma alanı topraklarının genel özelliklerinin belirlenmesi amacı ile üst topraktan (0-20 cm) alınan 100 adet bozulmuş toprak örneği oda şartlarında kurutulup, 2 mm'lik elekten geçirilmiş ve analize hazır hale getirilmiştir. Toprak örnekleme derinliği üst toprağın kalınlığına (toprak işleme derinliğinin altında sert katmanın başladığı derinliğe bağlı olarak) göre değişmektedir. Alınan toprak örneklerinde toprak tekstürü, agregat stabilitesi, pH, elektriksel iletkenlik, organik madde içeriği, kireç içeriği, tarla kapasitesi ve solma noktası tayin edilmiştir. Ayrıca, örnekleme esnasında alınan bozulmamış toprak örnekleri ile de hacim ağırlığı belirlenmiştir. Bu analizlere ilişkin yöntemler aşağıda verilmiştir.

Tarla Kapasitesi, basınçlı kaplar düzeneğinde seramik levha üzerine yerleştirilmiş suyla doymuş bozulmamış toprak örneğine 0.33 bar hava basıncı uygulamak suretiyle belirlenmiştir (Klute et al.,

1986). Daimi solma noktası, basınçlı kaplar düzeneğinde seramik levha üzerine yerleştirilmiş suyla doymuş bozulmuş toprak örneği üzerine 15 bar hava basıncı uygulamak suretiyle belirlenmiştir (Klute et al., 1986). Toprak reaksiyonu (pH), 1:2,5 oranında sulandırılmış süspansiyon cam bağıet yardımıyla ara ara karıştırılarak 30 dakika bekledikten sonra cam elektrotlu pH metre ile belirlenmiştir (Hendershot, et al., 1993). Elektriksel iletkenlik (EC), saf su ile 1:2,5 oranında sulandırılmış süspansiyonda pH ölçümü yapıldıktan sonra aynı süspansiyonda dijital EC metre ile ölçüm yapılmıştır (Janzen, 1993). Kireç içeriği, 0.5 gram toprak örneği tartılarak %10'luk hidroklorik asit ile Scheibler kalsimetresinde karbondioksit çıkış hacmine göre belirlenmiştir (Kacar, 1998). Organik madde içeriği, Modifiye Walkley Black yaş yakma yöntemiyle dikromat yükseltgenmesi esasına göre belirlenmiştir (Nelson and Sommers, 1982). Hacim ağırlığı, hacmi belli (100 cm³) çelik silindirler ile alınmış bozulmamış toprak örnekleri kullanılarak belirlenmiştir (Blake and Hartge, 1986). Toprakların kil, silt ve kum içerikleri Bouyocous Hidrometre yöntemi ile ayırt edilmiş ve tekstür üçgeni kullanılarak belirlenmiştir (Gee and Bauder, 1986). Agregat stabilitesi; toprakların agregat dayanıklılığı ıslak eleme yöntemine göre (08.13 wet sieving method) yapılmıştır (Kemper and Rosenau, 1986).

2.2.1 İstatistiksel Analizler

Toprak değişkenlerinin (kum, kil, silt, pH, EC, organik madde, kireç oranı, tarla kapasitesi, solma noktası, bitkiye yarayışlı su içeriği, agregat stabilitesi) laboratuvar analiz sonuçlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler hesaplanarak yorumlanmıştır. Aynı zamanda toprak değişkenlerine ilişkin korelasyon matrisi oluşturulmuştur. İstatistiklerin hesaplanmasında SPSS 23 paket programı kullanılmıştır.

2.2.2. Değişkenlerin Skorlanması

Toprak kalitesi indeksinin hesaplanmasında kullanılan toprak değişkenleri için skorlar üretilmiştir. Toprak kalitesi indeksi altında tanımlanan değişkenlerin arazi bozulması süreci ile ilişki düzeyine bağlı olarak 1.0 ile 2.0 arasında skorlar verildiği, tanımlanan parametrelerin çalışma yapılan bölgelere göre değerlendirilebileceği ve

skorlamanın çalışılan bölgeye göre düzenlenebileceği rapor edilmiştir (Kosmas et al., 2006). Toprak kalitesi indeksinin hesaplanmasında skorlama yöntemi ilk kez Karlen ve Stott (1994) tarafından kullanılmıştır. Bu araştırmacılar toprak kalite indeksini belirlemek için tanımladığı parametreleri skorlarken üç ana skorlama fonksiyonu kullanmışlar ve bu skorlama eğrilerini “daha fazla daha iyidir”, “daha az daha iyidir” ve “optimum daha iyidir” şeklinde tanımlanmışlardır. “Daha fazla daha iyidir” ile skorlamada, göstergenin değeri arttıkça verilen skor değeri de giderek artırılır; “daha az daha iyidir” ile skorlamada, göstergenin daha düşük değerine daha yüksek skor verilir; “orta nokta optimumdur” skorlamada ise göstergenin değeri orta değere ne kadar yakınsa skor değeri de o derece yüksek tutulur, ortalamadan her iki yönde uzaklaştıkça verilen skor değerleri de o derece düşürülür. Bu çalışmada “daha fazla daha iyidir” mantığından hareketle en kötü için 1.0 en iyi için ise 2.0 skoru kullanılmıştır. Bu bağlamda değişkenlerin skorları ve referans alınan kaynaklar Çizelge 1’de verilmiştir.

2.2.3. Minimum Veri Setinin Oluşturulması

Çalışma alanı topraklarının toprak kalite indeksini belirlemek amacıyla en uygun parametrelerin seçimi için bir veri azaltma aracı olan temel bileşenler analizi (PCA) kullanılmıştır. Analizden önce elde edilen sonuçların PCA için uygun olup olmadığını anlamak için küresellik testi (Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)) kullanılmıştır (Çizelge 3). Bu yöntemle göre KMO testi faktörü >0,5 olduğu durumlarda PCA analizi yapılabilmektedir (Field, 2013). Ancak, KMO testi faktörü <0.5 olduğunda verilerin PCA için uygun olmadığı, değerler 0.5-0.69 arasında olduğu durumlarda temkinli davranılarak analizin yapılabileceği ve KMO test faktörü > 0.7 olduğu durumlarda ise analizin rahatlıkla yapılabileceği bildirilmiştir (Solgi et al., 2017). PCA ile yapılan değerlendirmede değişkenlerin MVS’ne dahil edilebilmesi için aygen (eigen) değeri > 1.0 olan PC’ler altındaki değişkenler dikkate alınmış olup, PC’ler altındaki değişkenlerin MVS için seçiminde mutlak dolun değeri en yüksek olan değişkenler ile bu mutlak dolun değerinin %10 eksikliği olan diğer değişkenler MVS içine dahil edilmiştir (Andrews et al., 2004).

Çizelge 1. Toprak kalite indeksi altında tanımlanan değişkenlere ilişkin indis değerleri ve yararlanılan kaynaklar. Avcı (2019)'dan uyarlanmıştır.

	Sınıf	Değerlendirme	Tanım	Skor	Kaynak
Tekstür	1	Çok İyi	L	2.0	Kosmas, et al. (1999)
	2	İyi	SCL, SiCL, CL	1.7	
	3	Orta	SL, SiL, LS, SC	1.3	
	4	Zayıf	SiC, C,	1.2	
	5	Oldukça Zayıf	S, Si ve %60 dan fazla kil	1.0	
pH	1	Aşırı asit	<4.5	1.0	ÇEM (2017)
	2	Çok Kuvvetli asit	4.5-5.0	1.1	
	3	Kuvvetli asit	5.1-5.5	1.2	
	4	Orta Asit	5.6-6.0	1.4	
	5	Hafif Asit	6.1-6.5	1.7	
	6	Nötr	6.6-7.3	2.0	
	7	Hafif alkalın	7.4-8.0	1.7	
	8	Orta Alkalın	8.1-8.5	1.3	
	9	Kuvvetli Alkalın	8.6-9.0	1.1	
	10	Çok Kuvvetli Alkalın	>9.0	1.0	
EC (dS m ⁻¹)	1	İyi	<1.2	2.0	ÇEM (2017)
	2	Hafif	1.2-2.0	1.7	
	3	Orta	2.0-4.0	1.3	
	4	Tuzlu	4.0-8.0	1.2	
	5	Çok Tuzlu	>8.0	1.0	
OM (%)	1	Çok yüksek	>4.0	1.0	ÇEM (2017) ve (Avcı, 2019)
	2	Yüksek	3.0-4.0	1.1	
	3	Orta	2.0-3.0	1.2	
	4	Düşük	1.0-2.0	1.4	
	5	Çok düşük	0.5-1.0	1.7	
	6	Aşırı düşük	<0.5	2.0	
CaCO ₃ (%)	1	Çok az kireçli	0-2	1.4	(ÇEM, 2017)
	2	Az kireçli	2-4	1.7	
	3	Orta kireçli	4-8	2.0	
	4	Kireçli	8-15	1.7	
	5	Çok kireçli	15-30	1.8	
	6	Aşırı kireçli	30-50	1.1	
	7	Kireç toprağı	>50	1.0	
Agregat stabilite indeksi (%)	1	Zayıf	<25	1.0	Mutlu (2015) ve (Avcı, 2019)
	2	Orta	25 - 50	1.2	
	3	İyi	50 - 75	1.7	
	4	Çok iyi	>75	2.0	
Hacim ağırlığı (g cm ⁻³)	1	Kumlu	<1.40 iyi	1.7	Andrews et al. (2004) ve (Avcı, 2019)
			1.40-1.6 Normal	1.4	
			1.6-1.8 Kötü	1.1	
			>1.80 Çok Kötü	1.0	
	2	Siltli	<1.20 iyi	1.7	
			1.2-1.5 Normal	1.4	
			1.5-1.6 Kötü	1.1	
			>1.60 Çok Kötü	1.0	
	3	Killi	<1.10 iyi	1.7	
			1.10-1.3 Normal	1.4	
			1.3-1.5 Kötü	1.1	
			>1.5 Çok Kötü	1.0	

Çizelge 1. Devamı

Bitkiye yarayışlı su içeriği (%)	1	Kum	4-8	1.1	Andrews et al. (2004) ve (Avcı, 2019)
	2	Silt	8-12	1.2	
	3	Tınlı kum	12-16	1.4	
	4	Kumlu tın	16-20	1.7	
	5	Siltli tın	>20	2.0	
	6	Kil içeriği<%8	<5	2.0	
	1	Kumlu killi tın	5-10	1.1	Andrews et al. (2004) ve (Avcı, 2019)
	2	Kumlu kil	10-15	1.2	
	3	Killi tın	15-20	1.4	
	4	Tın	20-25	1.7	
	5	Siltli killi tın	>25	2.0	
	6	Siltli kil <%60	<6	1.0	
	1	Kil >%60	6-12	1.1	
	2		12-18	1.2	
	3		18-24	1.4	
	4		24-30	1.7	
	5		>30	1.0	

EC: Elektriksel iletkenlik, OM: Organik madde

2.2.3. Değişkenlerin Etki Derecelerinin Belirlenmesi (Ağırlıklandırılması)

Minimum veri setlerine dâhil edilen toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri ağırlıklandırılmıştır. Minimum veri seti için seçilen değişkenlerin PCA ile ağırlıklarını belirlemek için ilgili değişkenin yer aldığı temel bileşenin (PC) açıkladığı yüzde varyansı toplam yüzde varyansa bölünerek, söz konusu değişken için ağırlıklar hesaplanmıştır. Şayet aynı PC altında MVS'ye dahil edilen birden fazla değişken var ise, elde edilen ağırlık değeri ilgili değişkenler arasında eşit şekilde paylaştırıldı (Mukherjee and Lal, 2014).

2.2.4. Toprak Kalite İndeksinin Hesaplanması

Temel bileşenler analizi (PCA) sonucu MVS'ne dahil edilen değişkenlerin skorları ile, yine PCA ile elde edilen ağırlık değerleri çarpılmış ve ağırlıklı değerlerin toplamı (Eşitlik 1) ilgili örnekleme noktası için TKİ olarak hesaplanmıştır (Andrews et al., 2004).

$$TKI_{PCA} = (T1 \times X1 + T2 \times X2 + T3 \times X3 + \dots + Tn \times Xn) \quad (1)$$

Eşitlik 1'de: T, MVS'ye dahil edilen değişken; X, ilgili değişken için PCA ile elde edilen ağırlık değeri ve n ise değişken sayısıdır.

2.2.5. Toprak Kalite İndeksinin Uzaysal Yapısının Analizi

Örnekleme noktaları için hesaplanan TKİ değerlerinin çalışma alanındaki uzaysal değişkenliği jeostatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Tipik bir jeostatistiksel analiz, verilerin tanımsal istatistiği, özelliğin uzaysal değişkenliğinin modellenmesi (genellikle semivaryogram analizi yapılır), ve uzaysal enterpolasyon (krigleme) şeklinde 3 aşamadan oluşmaktadır (Isaaks and Srivastava, 1989). Bu çalışmada, TKİ değerlerinin uzaysal değişkenliği semivaryogram kullanılarak modellenmiştir. Modellemede en uygun modelin belirlenmesinde determinasyon katsayısı, en düşük hata kareler toplamı ve en yüksek çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı ölçüt alınmıştır. TKİ değerlerinin uzaysal tahmininde krigleme yöntemi ters mesafenin karesi yöntemine göre daha başarısız olduğundan, TKİ değerlerinin çalışma alanındaki yüzey haritasının oluşturulmasında ters mesafenin karesi yöntemi tercih edilmiştir. Ters mesafe karesi yönteminin tahmin performansının değerlendirilmesinde, model performansı, nispi mutlak hata ve çapraz değerlendirme korelasyon katsayısı ölçüt alınmıştır. Jeostatistiksel analizler GS+ (versiyon 7) ile yapılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Tanımlayıcı İstatistikler

Çalışma alanında, TKİ değerleri 1.23 (düşük) ve 1.54 (orta) arasında değişmekte olup, ortalama TKİ değeri "orta kaliteyi" göstermektedir. TKİ değerleri, düşük düzeyde değişken olup orta düzeyde sağa çarpık bir dağılım göstermiştir. Çalışma alanı

topraklarında ortalama parçacık büyüklük dağıllımı kildir. Tekstür bileşenleri orta düzeyde değişkenlik göstermektedir; silt şiddetli sağa, kil orta düzeyde sola ve kum hafif sola çarpıktır. Çalışma alanında tuzluluk ve alkalilik sorunu olmamakla birlikte, EC için hesaplanan aşırı sağa arpıklık katsayısı, tuzluluğun belirtisi olan EC değerinin maksimum $1313 \mu\text{S cm}^{-1}$ 'ye ulaştığı az sayıda lokal alanların varlığına işaret etmektedir (izelge 2). Çalışma alanındaki hacim ağırlığı değerleri 0.89 ile 1.80 g cm^{-3} arasında değişmekte olup, ortalama hacim

ağırlığı işlenen killi topraklar için beklenen değerden daha yüksektir (izelge 2). Toprakların kireç (CaCO_3) içeriği, toprak kalitesini olumsuz yönde etkileyecek derecede yüksektir ve ysek düzeyde değişkendir. Toprakların organik madde içeriği toprak kalitesini olumsuz yönde etkileyecek derecede düşük ve agregat stabilitesi ise genelde düşüktür. Diğer toprak özelliklerinden TK, YSİ, SN ve pH ise toprak kalitesi açısından fazla bir olumsuzluk teşkil etmemektedir.

Çizelge 2. Çalışma alanı topraklarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler.

Değişken	En küçük	En büyük	Aritmetik ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı	arpıklık	Basıklık
TKI	1.23	1.54	1.34	0.057	4.25	0.76	0.87
Kil (%)	35.9	55.9	47.2	4.87	10.3	-0.51	-0.83
Kum (%)	12.5	49.1	34.2	6.23	18.2	-0.39	0.61
Silt (%)	8.40	39.1	18.5	4.56	24.6	1.34	3.76
CaCO_3 (%)	10.3	72.3	38.1	18.7	49.0	0.27	-1.36
OM (%)	0.16	2.72	1.44	0.59	40.9	-0.08	-0.35
AS (%)	0.37	0.58	48.0	0.04	8.33	-0.48	0.64
TK (%)	20.0	49.4	36.8	8.67	23.5	-0.26	-1.17
SN (%)	4.21	34.5	18.1	6.59	36.4	0.67	-0.26
YSİ (%)	7.00	38.7	18.6	6.81	36.6	0.66	-0.08
pH	7.17	7.84	7.71	0.10	1.30	-2.64	9.97
$\text{EC} (\mu\text{S cm}^{-1})$	101.8	1313.0	254.3	177.2	69.6	3.09	13.2
$\text{HA} (\text{mg m}^{-3})$	0.89	1.80	1.33	0.20	15.0	0.21	-0.70
TKI	1.31	1.73	1.47	0.09	6.22	-0.58	0.02

AS: Agregat stabilitesi; OM: Organik madde, HA: Hacim ağırlığı; TK: Tarla kapasitesi; SN: Solma noktası; BYSİ: Bitkiye yararlı su içeriği

Elde edilen sonuçların istatistiksel olarak önemli olup olmadığına bakmak için küresellik testi (Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)) kullanılmış olup (izelge 3), bu yönteme göre KMO testi faktörü $>0,5$ olduğu için PCA analizi yapılabilmiştir.

Çizelge 3. KMO test analiz sonuçları.

	TKI
KMO test değeri	0,52
Ki-kare değeri	39,05
Bartlett Küresellik testi	28
nem seviyesi	0,08

Çalışma alanında toprak kalitesini en iyi temsil edecek toprak özelliklerini belirlemek için yapılan PCA hesaplamaya dahil edilmesi gereken toprak değişkeni sayısı altıya düşürmüştür. Bu altı değişken üç temel bileşen altında toplanmış olup, bu bileşenler orijinal verilerin toplam varyansının %50.5'ini açıklamaktadır (izelge 4).

Çizelge 4. Toprak kalitesi göstergelerinin seçimi için yapılan PCA sonuçları.

Değişkenler	Temel bileşenler (PC)		
	1	2	3
Agregat stabilitesi	0.205	0.495	-0.022
CaCO_3	0.794	0.056	-0.054
Organik madde	0.231	-0.068	0.662
Tekstür	-0.191	0.789	0.087
Hacim ağırlığı	-0.773	-0.115	-0.143
pH	0.137	0.712	-0.084
Elektriksel iletkenlik	-0.219	0.039	0.694
Bitkiye yararlı su içeriği	-0.049	0.004	-0.506

Aynı PC altında birden fazla değişken olduğundan, değişkenlerin arasındaki korelasyon katsayısına bakılarak değişkenin gerekli olup olmadığına karar verilmiştir. Böylece değişkenler arasında mutlak dolum değer farkı $<10\%$ olduğundan bu değişkenler veri setinden çıkarılmamıştır.

MVS'ye dahil edilen toprak özelliklerinin çarpanlarının (ağırlık) belirlenmesine ilişkin sonuçlar izelge 5'de verilmiştir.

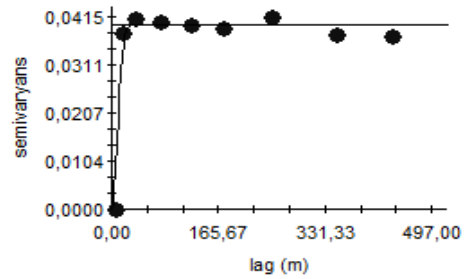
Çizelge 5. PCA yöntemi ile MVS'ne dahil edilen değişkenlerin çarpanlarının belirlenmesi.

Bileşen (PC)	Varyans	Birikimli Varyans (%)	PC altında tanımlanan değişken sayısı	Her bir PC altında MVS'ye dahil edilen değişkenler
1	17,86	17.86	2	CaCO ₃ , hacim ağırlığı
2	17,47	35.33	2	Tekstür pH
3	15,20	50.53	2	Organik madde, EC
Toplam %varyans = (17,86x2)+(35,33x2)+(50,53x2)= 101.06				
Değişkenlere verilen ağırlık değerleri				Ağırlık (çarpan)
CaCO ₃	17.86/101.06		0.177	
Hacim ağırlığı	17.86/101.06		0.177	
Tekstür	17.47/101.06		0.172	
pH	17.47/101.06		0.172	
Organik madde	15.20/101.06		0.150	
EC	15.20/101.06		0.150	

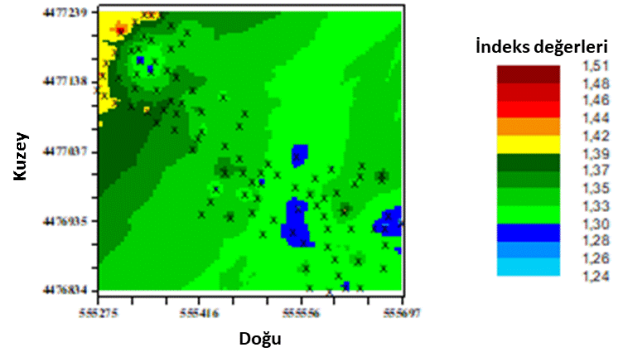
Kosmas et al. (1999)'a göre, TKİ <1.13 ise yüksek kalite; 1.13-1.46 ise orta kalite; TKİ >1.46 ise düşük kalite olarak sınıflandırılmaktadır. Ancak, Kosmas et al. (1999) çalışmalarında “en düşük en iyidir” seçeneğini kullanmışlardır. Bizim çalışmamızda ise “en yüksek en iyidir” seçeneği kullanılmıştır. Bu durumda, Kosmas et al. (1999) tarafından önerilen eşik değerleri “en yüksek en iyidir” seçeneğine uyarlandığında; TKİ>1,77 ise yüksek kalite, 1.36<TKİ<1.77 orta kalite ve TKİ<1.36 düşük kalite şeklinde modifiye edilmiştir. Çalışma alanının TKİ değerleri 1.33-1.73 arasında değişmekte olup ortalama 1.47'dir, yani orta düzeyde kaliteli grubunda yer almaktadır.

3.2. Jeoistatistiksel analizler

Toprak kalite indeksine ilişkin semivaryogram Şekil 2'de ve teorik semivaryograma ilişkin parametreler Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelge 6, deneysel semivaryogramın modellenmesine ilişkin determinasyon katsayısının 0.74 ve RSS değerlerinin oldukça düşük olmasına rağmen, çapraz değerlendirme korelasyon katsayısının tatminkar olmadığını göstermektedir. Ters mesafenin karesi için (r_{CD}) ile karşılaştırıldığında, krigleme r_{CD} değerinin daha düşük olduğu görüldüğünden, TKI değerlerinin uzaysal enterpolasyonunda ters mesafenin karesi yöntemi tercih edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Toprak kalite indeksine ilişkin semivaryogram



Şekil 3. Ters mesafenin karesi yöntemi ile tahmin edilen toprak kalitesi indeksi değerlerinin çalışma alanında dağılım deseni, “x” örnekleme noktalarını göstermektedir

Çizelge 6. Çalışma alanında toprak kalite indeksi için semivariogram modeli, model parametreleri ve çapraz değerlendirme.

Model	Nugget (C ₀)	Sill (C ₀ +C)	Range (m)	Nugget etkisi (%)	R ²	RSS	r _{CD}
Gaussian	0.0001	0.039	21.99	0.25	0.95	1.11x10 ⁻⁴	0.43

4. Tartışma

Çalışma alanı topraklarının ortalama toprak kalitesi “orta” düzeydedir. Kalite indeksinin hesaplanmasına CaCO_3 ve OM içeriği ile HA, toprak tekstürü, pH ve EC dahil edilmiş olup (Çizelge 4), bu özellikler tüm özelliklerdeki toplam değişkenliğin %50’sini temsil edebilmektedir (Çizelge 5). Yani hesaplamada toplam varyansın %50’si temsil edilememiştir. Çalışma alanında ortalama toprak tekstürü “kil” dir. Toprak kalitesi açısından en uygun toprak tekstürünün tın olduğu düşünüldüğünde bu, toprak kalitesinin yüksek değil de orta çıkmış olmasında tekstürün etkisinin önemli olduğunu düşündürmektedir. Çalışma alanı topraklarının su tutma karakteristikleri (TK, SN ve YSI) tipik bir killi toprağınki ile benzerlik göstermektedir (Çizelge 2) (Koorevaar et al., 1983). Çalışma alanında toprak kalitesini olumsuz etkileyen toprak değişkenlerinden birisi de HA’dır. Çalışma alanı topraklarının ortalama HA değeri beklenenden daha yüksektir. Çalışma alanında hacim ağırlığının 1.80 g cm^{-3} gibi yüksek değerlere çıkmış olması bazı yerlerde sıkışma sebebiyle kök gelişiminin ve toprak kalitesinin olumsuz etkilenebileceğini göstermektedir. Toprak kalite indeksinin hesaplanmasına dahil edilen bir diğer toprak özelliği CaCO_3 içeriği olup, toprak kalitesini olumsuz yönde etkileyecek derecede yüksektir (Çizelge 1 ve 2). Kısaca, çalışma alanı topraklarının kalitesini etkileyen toprak değişkenlerinin, HA, tekstür, CaCO_3 içeriği ve OM olduğu anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, pH ve özellikle EC’den kaynaklanan olumsuz etkinin önemli olmadığı görülmektedir.

Çalışma alanındaki topraklar genelde orta düzeyde değişkendir (Çizelge 2). Mulla and McBratney (2001) varyasyon katsayısı (VK)’nı esas alarak ilgili toprak özelliğini; $\text{VK} < \%15$ düşük değişken, $\%15 < \text{VK} < \%40$ orta düzeyde değişken ve $\text{VK} > \%40$ ise fazla değişken olarak nitelendirmişlerdir. Bu bağlamda, çalışma alanındaki toprak özelliklerinin genelde düşük-orta değişken olduğu söylenebilir. Webster (2001) çarpıklık katsayısının (ÇK) mutlak değerine göre; şayet bir değişken için $\text{ÇK} < 0.5$ ise dağılımın hafif çarpık olduğu ve normal kabul edilebileceği, $0.5 < \text{ÇK} < 1.0$ ise dağılımın orta düzeyde çarpık olduğu ve $\text{ÇK} > 1.0$ olduğunda ise şiddetli çarpık olduğunu belirtmektedir. Bu durumda, EC ve silt şiddetli sağa; HA ise şiddetli sola çarpık bir dağılım sergilemektedir. Normal dağılım için basıklık değerinin (basıklık katsayısı $-3 = 0$) 0 olduğu düşünüldüğünde (Webster, 2001), pH ve

EC dışındaki toprak değişkenlerinin genelde hafif sivri ya da normale yakın dağılım gösterdikleri, EC ve pH’nın ise yayvan bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır (Çizelge 2). TKİ değerleri ise düşük düzeyde değişken olup, orta düzeyde sağa çarpık bir dağılım göstermektedir.

TKİ değerlerinin orta düzeyde çarpık olması nedeniyle (Çizelge 2), Webster (2001) tarafından yapılan öneri dikkate alınarak, simvaryogramın modellenmesi ve daha sonra uzaysal enterpolasyon yapılmadan önce TKİ’nin karekök dönüşümü uygulanmıştır. Karekök dönüşümü uygulanan TKİ değerleri için deneysel semivaryogramın modellenmesinde Gaussian model en uygun sonucu vermiştir (Şekil 2 ve Çizelge 6). Gaussian model, orijin yakınlarında parabolik davranır ve daha sonra hızla yükselerek giderek bir sill değerine yaklaşır. Ancak, gerçek bir sill değerine ulaşamaz (Isaaks and Srivastava, 1989).

Şekil 3 incelendiğinde TKİ’nin arazinin güneydoğu tarafında düşük, kuzey batı tarafında ise daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Arazi gözlemlerimiz, TKİ’nin özellikle eğimin daha fazla ve toprak derinliğinin düşük olduğu lokal alanlarda daha düşük değerler aldığı, tersi durumlarda ise daha yüksek değerler aldığı görülmüştür.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, eğimli, yarı-kurak ve sürekli buğday tarımı altındaki arazileri temsilen belirlenen bir alanda; toprak tekstürü, pH, EC ve HA ile EC ve CaCO_3 içeriğinin toprak kalitesini etkileyen başlıca toprak özellikleri olduğu belirlenmiştir. Özellikle tekstür, OM ve HA’daki olumsuzlukların TKİ’nin “yüksek” değil de “orta” çıkmasında başlıca faktörler olduğu anlaşılmaktadır. Hesaplanan TKİ değerlerinin uzaysal değişim deseni arazi gözlemleri ile karşılaştırıldığında, elde edilen sonuçların isabetli olduğu anlaşılmıştır. Semivaryogram analizi, çalışılan arazi koşullarında TKİ’nin uzaysal yapısının emniyetle belirlenebilmesi için bu çalışmada kullanılan çok daha yoğun bir örnekleme gerekliliğini göstermiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- Acir, N., 2014. Kurak ve yarı-kurak bölge topraklarının toprak kalitesinin belirlenmesinde kullanılacak minimum veri setlerinin hazırlanması. Doktora tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı, Tokat.
- Andrews, S.S., Karlen, D.L., Cambardella, C.A., 2004. The Soil Management Assessment Framework. *Soil Science Society of America Journal* 68, 1945-1962 <https://doi.org/10.2136/sssaj2004>.
- Arshad, M.A., Coen, G.M., 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* 7, 1-7. <https://doi.org/10.1017/S0889189300004410.49:123-142>
- Avcı A.S., 2019. Yoğun Tarımsal Üretim Yapıldığı Yukarı Dicle Havzasında Toprak Kalitesinin Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı.syf.12-25
- Bayram, M., Günal, H., Özgöz, E., 2015. Sürdürülebilir Toprak İşleme Yöntemlerinin Belirlenmesinde Toprak Kalitesi Değerlendirmelerinin Önemi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi* 25, 339-346. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.236414>. 339-341
- Bayramın, İ., 2003. Beypazarı Topraklarının Medalus Metoduna Göre Toprak Kalite İndekslerinin Belirlenmesi. *HR.Ü.Z.F.Dergisi* 7 (3-4), 29-35.
- Birgili, S, R.Y. and G.U., 2015. Çankiri-Çorum havzasının jeolojisi ve petrol olanakları. MTA Raporu.
- Blake, G.R., Hardge, K.H., 1986. Bulk Density, in: Klute., A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, pp. 363-375.
- Budak, M., Gunal, H., Celik, I., Yildiz, H., Acir, N., Acar, M., 2018. Soil quality assesment of upper Tigris basin. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 13, 301-316. <https://doi.org/10.26471/cjees/2018/013/026>, 301-302.
- ÇEM, 2017. Türkiye Çölleşme Modeli, Teknik Özet, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Doran, J.W., Jones, A.J., Doran, J.W., Parkin, T.B., 1996. Quantitative Indicators of Soil Quality: A Minimum Data Set. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c2>, 35,3-3.
- Everest, T., Sungur, A., Özcan, H., 2020. Medalus Yöntemi Kullanılarak Karacabey Tarım İşletmesi Toprak Kalite İndeksinin Değerlendirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 7, 120-131. <https://doi.org/10.30910/turkjans.680030>, syf 121-122.
- Gee, G., Boudier, J., 1986. Particle Size Analysis, in: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, pp. 383-411.
- Hendershot, W.H., Lalonde, H. ve Duquette, M., 1993. *Soil Reaction and Exchangeable Acidity*. Canadian Society of Soil Science, CRC Pres Inc. Boca Raton, Florida. USA.
- Isaaks, H., Srivastava, R., 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.
- Janzen, H.H., 1993. Soluble Salts in Soil Sampling and Methods of Analysis. In Carter M.R. (ed), *Canadian Society of Soil Science, CRC Pres Inc. Boca Raton, Florida. USA.p:161-166*
- Kacar, B. ve İnal, A., 1998. Bitki Analizleri. Bitki Analizleri, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti. Yayınları, Yayın No: 1241; Fen Bilimleri: 63, (I. Basım) Ankara.
- Karlen, D.L., Hurley, E.G., Andrews, S.S., Cambardella, C.A., Meek, D.W., Duffy, M.D., Mallarino, A.P., 2006. Crop rotation effects on soil quality at three northern corn/soybean belt locations. *Agronomy Journal* 98, 484-495. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0098>, 291-299
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E., 1997. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). *Soil Science Society of America Journal* 61, 4-10. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.0361599500610010001x>, 61:4-10
- Kemper, W.D., Rosenau, R.C., 1986. Aggregate stability and size distributon, in: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, pp. 425-442.
- Klute, A., Cassel, D., Nielsen, D., 1986. Field capacity and available water capacity, in: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madsion, pp. 901-926.
- Koca, Y.K., Acar, M., Turgut, Y.Ş., 2019. Tarım topraklarının jeostatistiksel modelleme ile kalitesinin değerlendirilmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 23, 489-499. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.556103>
- Koorevaar, P., Menelik, G., Dirksen, C., 1983. *Elements of Soil Physics*, 1st ed. Elsevier, Wageningen.
- Kosmas, C., Ferrara, A., Briasouli, H., Imeson, A., 1999. Methodology for mapping environmentally sensitive areas (ESAs) to desertification. In: Kosmas, C., Kirkby, M., Geeson, N. (Eds.), *The Medalus Project: Mediterranean Desertification and Land Use. Manual on Key Indicators of Desertification and Mapping Envi*, in: European Union 18882.1-20.
- Kosmas, C., Tsara, M., Moustakas, N., Kosma, D., Yassoglou, N., 2006. *Environmentally Sensitive Areas and Indicators of Desertification*.

- Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue. https://doi.org/10.1007/1-4020-3760-0_25
- Mukherjee, A., Lal, R., 2014. Comparison of soil quality index using three methods. *PLoS ONE* 9, 1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105981>.
- Mulla, D.J., McBratney, A.B., 2001. Soil spatial variability, in: A.W. Warick (Ed.), *Soil Physics Companion*, pp 343-375. <https://doi.org/10.1081/e-enrl-120047495.321-355>
- Mutlu, N., 2015. Yarı Kurak Bir Bölgede Çölleşmenin İzlenmesini Sağlayacak Göstergelerinin Belirlenmesi ve Haritalanması. Doktora Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak bilimi ve bitki Besleme Bölümü, Tokat.
- Nakajima, T., Lal, R., Jiang, S., 2015. Soil quality index of a crosby silt loam in central Ohio. *Soil and Tillage Research* 146, 323-328. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.001>.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, in: Page, A.L., Miller, R., Keeney, D. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, pp. 539-579.
- Nortcliff, S., 2002. Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88, 161-168. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00253-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00253-5)
- Özulu, M., Özyaytekin, H., Uyanöz, R., 2006. Toprak kalitesinin değerlendirilmesinde farklı yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 20, 1-8.
- Parr, J.F., Hornick, S.B., Meyer, R.E., Papendick, R.I., 1992. Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture* 7, 5-11. <https://doi.org/10.1017/S0889189300004367>.
- Raiesi, F., 2017. A minimum data set and soil quality index to quantify the effect of land use conversion on soil quality and degradation in native rangelands of upland arid and semiarid regions. *Ecological Indicators* 75, 307-320. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.049>.
- Sağlam, M., Dengiz, O., 2013. Kimyasal Toprak Kalite Göstergelerinin Faktör ve Jeostatistik Analiz Yöntemleriyle Değerlendirilmesi. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 50, 1871-190.
- Shukla, M.K., Lal, R., Ebinger, M., 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research* 87, 194-204. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.03.011>.
- Solgi, A., Pourhaghi, A., Bahmani, R., Zarei, H., 2017. Improving SVR and ANFIS performance using wavelet transform and PCA algorithm for modeling and predicting biochemical oxygen demand (BOD). *Ecohydrology and Hydrobiology* 17, 164-175. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2017.02.002>.
- Süenal, S., 2018. Yarı-Kurak Orta Anadolu Koşullarında Tepe-eğim hidropedolojisi. Doktora tezi, ÇAKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı.
- Trangmar, B.B., Yost, R.S., Uehara, G., 1986. Application of Geostatistics to Spatial Studies of Soil Properties. *Advances in Agronomy* 38, 45-94. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60673-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60673-2).
- Veum, K.S., Sudduth, K.A., Kremer, R.J., Kitchen, N.R., 2017. Sensor data fusion for soil health assessment. *Geoderma* 305, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.031>.
- Webster, R., 2001. Statistics to support soil research and their presentation. *European Journal of Soil Science* 52, 330-340. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2001.00383.x>