

Çerikli Sulama Sahasında Toprak Tuzluluğunun Tahmininde Deterministik ve Stokastik Enterpolasyon Yöntemlerinin Kullanımı

Şeydagül ÖZDEMİR^{1,*}Hikmet GÜNAL²Nurullah ACİR³Hakan ARSLAN⁴Kadir Aytaç ÖZAYDIN¹Sultan Ergun KAHYAOĞLU¹Aysel M. AĞAR⁵¹T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara²Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Tokat³Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Kırşehir⁴Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Samsun⁵Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara

*Sorumlu yazar e-mail (Corresponding author e-mail):seydagul.ozdemir@tarimorman.gov.tr

Geliş tarihi (Received) : 13.12.2018

Kabul tarihi (Accepted): 04.03.2019

DOI : 10.21657/topraksu.544699

ÖZ

Arazi kullanımlarının etkin bir şekilde planlanması ve yönetilmesi, bir bölgedeki toprakların özelliklerinin dağılımlarının doğru ve güvenilir enterpolasyon yöntemleri ile tahmin edilebilmesine bağlıdır. Bu çalışmada, Çerikli sulama sahasındaki toprakların tuzluluk, pH ve değişebilir sodyum yüzdesinin (ESP) mesafeye bağlı değişkenliklerinin tahmininde ters uzaklık yöntemi (IDW) ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) gibi iki deterministik ve sıradan kriging (OK), evrensel kriging (UK) ve basit kriging (SK) gibi üç stokastik enterpolasyon yönteminin performansları karşılaştırılmıştır. Çalışma alanı, Yerköy'ün 8 km doğusundan başlamakta ve Delice Çayı boyunca uzanarak Delice Çayının Kızılırmak Nehri ile birleştiği yere kadar devam etmektedir. Toplam 14924 ha olan çalışma alanında 113 noktada 0-30, 30-60 ve 60-90 cm derinliklerden toprak örnekleri alınmış ve elektriksel iletkenlik (EC), pH ve ESP belirlenmiştir. Çalışma alanında toprakların EC değerleri 0-30, 30-60 ve 60-90 cm'de sırası ile 0.65 ile 67.1 dS m⁻¹, 1.07 ile 98.80 ve 0.99 ile 54.50 dS m⁻¹ arasında değişmiştir. Derinlik arttıkça ortalama tuzluluk değerlerinde de artış olduğu görülmektedir. Bu durum, çalışma alanında özellikle bazı lokasyonlarda toprak profilinin tamamında şiddetli tuzluluk sorununun olduğuna işaret etmektedir. Hata kareleri toplamının karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) değerleri karşılaştırıldığında, deterministik yöntemlerden RBF-IM ve stokastik yöntemlerden SK'nın kendi gruplarındaki diğer yöntemlerden daha iyi performans ortaya koyduğu görülmüştür. Bu nedenle, mesafeye bağlı değişkenliğin haritalanması işlemlerinde kullanılan programların öngörülen veya varsayılan (default) yöntemini kullanarak yapılan interpolasyonlarda önemli düzeyde hata oluşabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, her bir özellik ve derinlik için yapılacak haritalamalarda birden fazla sayıda yöntem denenmeli ve en doğru sonucu veren interpolasyon yöntemi kullanılarak tahminler yapılmalı ve haritalar oluşturulmalıdır.

Anahtar Sözcükler: Tuzluluk, mesafeye bağlı değişkenlik, tahmin, jeostatistik, basit kriging,

Use of Deterministic and Stochastic Interpolation Methods for Estimating Soil Salinity in Çerikli Irrigation Area

Abstract

Efficient planning and management of land uses relies on the ability to estimate the spatial distribution of soil characteristics in a region by accurate and reliable interpolation methods. In this study, the performances of two stochastic interpolation techniques such as inverse distance weighting

(IDW) and radial basis function (RBF), and two deterministic methods of ordinary kriging (OK), universal kriging (UK) and simple kriging (SK) were compared to estimate the spatial variation of salinity, pH and exchangeable sodium percentage (ESP) of soils located in Çerikli Irrigation Area covering a total of 14924 ha land. The study area is located 8 km east of Yerköy in Yozgat province of Turkey and extends along the Delice Stream to the point where Delice Stream merges with Kızılırmak River. Soil samples of 0-30, 30-60 and 60-90 cm depths were taken from 113 locations in the study area. Electrical conductivity (EC), pH and ESP of the samples were determined in the laboratory following the standard analysis procedure. The EC values of the soils ranged from 0.65 to 67.1, from 1.07 to 98.80 and from 0.99 to 54.50 dS m⁻¹ at 0-30, 30-60 and 60-90 cm, respectively. The average salinity increased as the soil depth increased. The results indicated that some locations in the study area have severe salinity problems in the soil profile. Evaluations of root-mean-square error (RMSE) and mean absolute error (MAE) revealed that RBF-IM as deterministic and SK as stochastic interpolation method performed better estimation results compared to the other interpolation methods. Therefore, significant errors may occur in the interpolated values using the predicted or default method of the software's used in the mapping of spatial distributions. For this reason, more than one interpolation method should be achieved in mapping of each soil attribute obtained by depth, and therefore estimations and mapping should be achieved by using the most accurate interpolation method.

Keywords: Salinity, spatial variability, spatial estimation, geostatistics, simple kriging,

GİRİŞ

Toprakların kalitelerinin korunarak sürdürülebilir kullanımlarının sağlanması, tarımsal üretimin devamlılığı ve gıda güvenliği açısından son derece önemlidir. Sürdürülebilirlik, toprak amenajmanının doğru planlanmasına ve toprak sağlığının (kalitesinin) düzenli takip edilmesine bağlıdır. Ancak, geniş alanlarda toprakların kalitesinin değişiminin belirlenmesi için çok sayıda toprak örneğinin alınması ve analiz edilmesinin gerekliliği, örneklenmeyen noktalarda toprak özelliklerinin doğru tahminini mümkün kılacak ara değer tahmin (enterpolasyon) yöntemlerinin belirlenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu sayede daha az noktada yapılacak örnekleme ile geniş alanlarda sağlıklı bilgi üretmek ve buna bağlı olarak doğru planlama yaparak uygun amenajmanları belirlemek mümkün olacaktır. Buna ilaveten, geniş alanlarda toprağın sürdürülebilir kullanımını tehdit eden tuzluluk ve sodiklik gibi sorunların belirlenmesi ve gerekli tedbirlerin alınması da sağlanmış olacaktır.

Kurak ve yarı-kurak iklim etkisindeki bölgelerde yetersiz drenaj altında bitkisel üretimi ve toprak organizmalarını etkileyecek düzeyde yüksek tuz içeren toprakların tanımlanması için kullanılan toprak tuzluluğu, sulamanın yapılmadığı arazilerde görülen kurak alan tuzluluğu (Juan vd. 2011) ve sulanan alanlarda görülen tuzluluk şeklinde iki

grupta incelenmektedir (Cetin ve Kitda. 2003). Toprakta çözünebilir tuzların yüksek düzeyde birikimi; birincil ve ikincil minerallerin ayrışması, yüksek düzeyde tuz içeren suların uygulanması, organik maddenin parçalanması ve taban suyundaki dalgalanmalar vb. nedenlere bağlıdır. Bir arazinin tuzluluğa olan eğilimi, arazinin konumuna, topoğrafyasına, toprak tipine ve yağış gibi faktörlere bağlıdır (Navarro vd., 2007). Arazideki toprak tuzluluğunun doğru bir şekilde haritalanması, sorunun giderilmesi ve amenajman için doğru kararların alınması aşamasında son derece önemlidir (Budak ve Günal, 2015; Li vd., 2015).

Toprak özelliklerinin mesafeye bağlı değişkenliklerinin karakterize edilmesi ve toplanıp analiz edilecek örnek sayısının azaltılmasında mesafeye bağlı değişkenliği konu eden jeostatistiksel yöntemler tarım biliminde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Cetin ve Kırdı, 2003). Toprak özelliklerinin alansal tahminlerinin yapılmasında ters uzaklık yöntemi (IDW), (Çetin ve Diker, 2003; Emadi ve Baghernejad, 2014; Rahmanipour vd., 2014), ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) (Rahmanipour vd., 2014; Bhunia vd., 2018) gibi deterministik veya sıradan kriging (OK) (Çetin ve Kırdı, 2003; Emadi ve Baghernejad, 2014; Bilgili, 2013), basit kriging (SK) (Surucu vd.,

2019; Nouri vd., 2018) veya evrensel kriging (UK) (Li vd., 2015) gibi stokastik enterpolasyon yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Deterministik enterpolasyon teknikleri, benzerlik derecesine (IDW) veya düzgünleştirme derecesine (RBF) bağlı olarak matematiksel fonksiyonları kullanarak örnek noktalardan yüzeyler oluşturur. Öte yandan, jeostatistiksel enterpolasyon teknikleri (kriging), uzaysal bağımlılık yapısı olarak adlandırılan variogram modelini (Çetin, 1996) kullanır. Örnekleme noktaları arasındaki mesafeye bağlı yersel ya da mekânsal korelasyonu sayısallaştırır ve tahmin noktalarının çevresindeki örnekleme noktalarının uzaysal konfigürasyonunu tahminde dikkate alır (Isaaks and Srivastava, 1989).

Bu çalışmanın amacı; Devlet Su İşlerinin (DSİ) Kırıkkale Gelingüllü, Çerikli Sulaması Planlama, Revize, Arazi Sınıflama ve Planlama sahasında yer alan toprakların tuzluluk ve sodiklik durumlarının belirlenmesi, mesafeye bağlı korelasyonlarının modellenmesi, deterministik ve stokastik enterpolasyon yöntemleri içerisinde en uygun tahmin yapan yöntemlerin seçilerek alansal dağılım haritalarının hazırlanmasıdır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Alanı ve İklimi

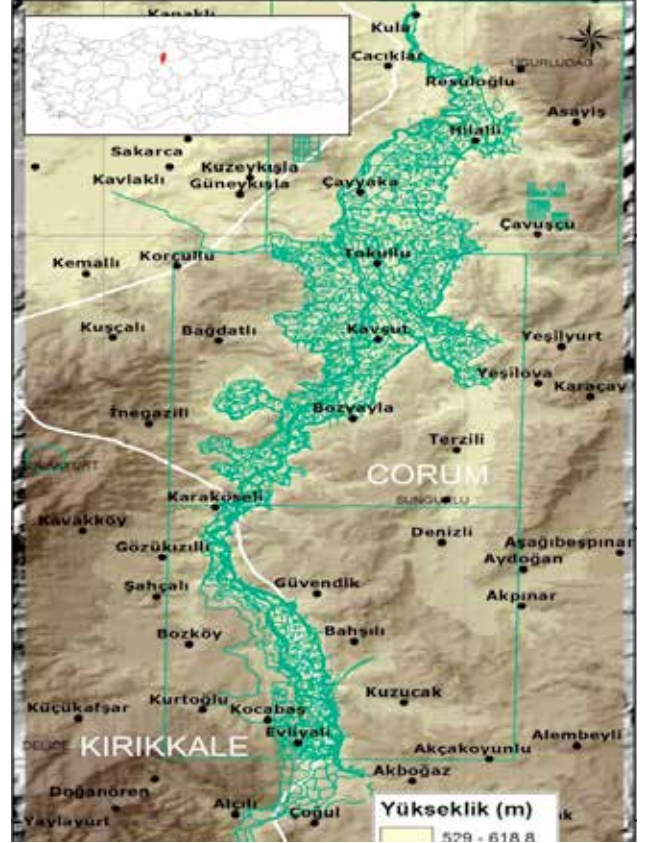
Kırıkkale Gelingüllü Projesi Çerikli Sulama sahası içerisinde yer alan çalışma alanı Yozgat-Yerköy'ün 8 km doğusundan başlamakta, Delice çayı boyunca uzanarak çayın Kızılırmak'la birleştiği yere kadar devam etmektedir. Değinilen proje alanı toplam 14924 ha olmasına rağmen sulanabilir alan 12306 ha'dır. Genel olarak Delice çayı boyunca uzanan taban arazilerin yer aldığı çalışma alanı 39°52'- 40°25' kuzey enlemleri ve 34°00'- 34°10' doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1).

Çalışma alanında, yazları sıcak ve kurak, kışları yağışlı ve soğuk geçen, tipik Orta Anadolu karasal iklimi görülmektedir. Çalışma alanında yıllık ortalama yağış 356 mm (Çiçekdağı) ile 571 mm (Yozgat) arasında değişmektedir.

Toprak Örnekleme ve Laboratuvar Analizleri

Arazi kullanımı, noktalara olan ulaşım kolaylığı, yükseklik, konumsal dağılım gibi parametreler coğrafi bilgi sistemleri içinde değerlendirilerek, 113 noktadan 0-30, 30-60 ve 60-90 cm derinliklerden toplam 339 adet bozulmuş toprak örneği alınmıştır. Toprak örneklerinin alındığı 113 noktanın coğrafi

konumu hassas bir GPS ile kayıt edilmiştir. Toprak örnekleri, temiz ambalaj kağıtlarına serilerek, taş ve bitki parçacıkları ayıklanmış ve havada kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan topraklar tahta tokmaklarla dövülerek 2 mm'lik elekten geçirilmiş ve analizler için kutulara konularak etiketlenmiştir.



Şekil 2. Çalışma Alanı
Figure 2. Study Area

Elektriksel iletkenlik ve pH ölçümleri hazırlanan saturasyon çamurunda Rhoades (1993)'in belirtilen yöntemine göre yapılmıştır. Amonyum Asetat (1 N, pH=7.0) çözeltisi ile ekstrakte edilen süzükte kalsiyum, magnezyum, potasyum ve sodyum konsantrasyonları atomik absorpsiyon cihazında belirlenmiş ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değişebilir Na ve KDK değerlerinden, $ESP = (Na/Kasyon\ Değişim\ Kapasitesi) \times 100$ eşitliği ile hesaplanmıştır (Thomas, 1982).

Mesafeye Bağlı Değişkenliğin Modellenmesi

Mesafeye bağlı değişkenliklerin analizine geçmeden önce çalışılan özelliklerin dağılımlarının normal dağılıma uyup uymadığı Webster (2001)'in belirttiği şekilde çarpıklık katsayısı hesaplanarak kontrol edilmiştir. Webster (2001) toprak

verilerinde normal dağılımdan ayrılmanın en önemli göstergesinin pozitif veya negatif çarpıklık değerleri olduğunu vurgulamışlardır. Bu nedenle, bu çalışmada da parametrelerin dağılımlarının şekli olarak tanımlanan çarpıklık, normal dağılıma uygunluğun göstergesi olarak kabul edilmiştir. Webster (2001), çarpıklık değerleri $-/+ 0.5$ ile 0.0 aralığında değişim gösteren çarpıklık katsayıları için herhangi bir dönüşümü (transformasyon) gerek görmez iken, $-/+0.5$ ile $-/+1.0$ arasında değişen çarpıklık katsayısı olan değişkenler için karekök transformasyonunun yapılmasını önermişlerdir. Çarpıklık değeri $-/+1.0$ 'den yüksek olduğunda veride herhangi bir istatistiksel analiz yapmadan önce verinin logaritmik transformasyon yapılarak log-normal dağılıma uydurulması gerektiğini belirtmişlerdir. Toprak ve su kalitesi verilerinin çarpık dağılım göstermesi durumunda izlenmesi gereken yol ve uygulanacak yöntemin ayrıntıları Çetin ve ark. (1999)'da bulunabilir. Her üç derinlikte belirlenen üç toprak özelliğinin de çalışma alanı içerisinde normal dağılım göstermedikleri anlaşılmaktadır (Çizelge 1). Bu nedenle verilerde mesafeye bağlı değişkenliklerin tanımlanması aşamasına geçilmeden önce logaritmik dönüşüm uygulanarak verilerin log-normal dağılımla karakterize edilmeleri sağlanmıştır.

Farklı kriging yöntemlerine göre alansal dağılım haritalarının hazırlanmasından önce her bir toprak özelliği için deneysel yarıvariogram modelleri (Cetin ve Kırd, 2003) elde edilmiş ve en uygun teorik model ile bu modelin parametreleri belirlenmiştir. Her bir değişken için elde edilen yarı-variogram modelline ait kontrolsüz etki varyansı (C_0), etki uzaklığı ve stokastik varyans (Sill ya da eşik değer, C_0+C) değerleri, modelin uygunluğunu gösteren r^2 ve ölçüm hatalarından biri olan RSS (Azaltılmış Kareler Toplamları) değerleri elde edilmiştir. Ayrıca örnekler arasındaki uzaklık sıfıra yaklaştıkça yarı-varyans değerinin sıfırdan uzaklaşmasının önemli bir göstergesi olan "kontrolsüz etki varyansı oranı" değerleri (nugget/sill) hesaplanmıştır (Mulla ve McBratney, 2000; Çitakoğlu ve ark., 2017).

Enterpolasyon Yöntemleri

Çalışma alanında EC, ESP ve pH'nın alansal dağılımlarının haritalanmasında en doğru tahmin yapacak enterpolasyon yöntemini belirlemek için stokastik (jeostatistik) yöntemlerden sıradan (ordinary) kriging (OK), basit (simple) kriging (SK) ve evrensel (universal) kriging (UK) yöntemleri ile deterministik yöntemlerden radyal tabanlı

fonksiyon (RBF)'a ait beş farklı güç değeri ile ters mesafe ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemleri kullanılmıştır. Kriging enterpolasyon tekniği, minimum ortalama hata karesine sahip doğrusal optimum uygun bir enterpolasyon yöntemidir ve en iyi doğrusal yansız tahmin edici yöntemdir. Kriging yöntemi, gözlem verilerinin deneysel yarı-variogram yapısının belirlenmesi ve bu yapıya teorik yarı-variogram modelinin oturtulması ile başlar ve bu jeostatistik çalışmalarının temelini oluşturur. Kriging yöntemleri, Eşitlik 1'i kullanarak tahmin yapmaktadırlar (Webster ve Oliver, 2001).

$$\hat{Z}((X_0)-\mu) = \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(X_i) - \mu(X_0)] \quad \text{Eşitlik 1}$$

Eşitlik 1'de; μ = Populasyonun beklenen değerini, λ_i = kriging ağırlık değerlerini, n = tahmin yapmak için kullanılan örneklerin sayısını, Bu değer, arama penceresinin boyutuna bağlı olarak değişmektedir. $\mu(X_0)$ = arama penceresindeki örneklerin beklenen değeridir.

Basit kriging yönteminde esas kovaryans fonksiyonuna dayalı olarak alana dağılım ilkesine dayanmaktadır. Genel eşitliği kriging tahmin eşitliğinin modifikasyonu ile Eşitlik 2'de gösterildiği şekilde ifade edilir (Li ve Heap, 2008).

$$\hat{Z}(X_0) = \lambda_i \sum_{i=1}^n Z(X_i) + [1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i] \mu \quad \text{Eşitlik 2}$$

Eşitlik 2'de, $\hat{Z}(X_0)$: Tahmin edilen noktanın gerçek değeri, μ : Populasyonun beklenen değeridir. Bu çalışmada μ parametresinin tüm alanda sabit olduğu kabul edilmiştir ve verilerin ortalaması kullanılmıştır. n : tahminde kullanılan örneklenen nokta sayısı ve λ_i : kriging ağırlık katsayılarıdır. Basit kriging, bu referans değerden artıkları tahmin etmek için kullanılır ve bu nedenle bazen "bilinen ortalamalı kriging" olarak adlandırılır (Wackernagel, 2003).

Sıradan kriging basit kriginge benzerdir. Tek fark sıradan kriging işleminde Çetin ve Kırd (2003) ve Cetin (1996) tarafından da vurgulandığı üzere stasyonellik şartı olan $\mu(X_0) = \mu$ koşulunun sağlandığı varsayımı ve $\sum \lambda_i = 1$ koşulu altında Lagrange optimizasyonu kullanılarak kriging denklem sistemlerinin her tahmin yapılan nokta için çözülmesidir (Li ve Heap, 2008).

Evrensel kriging, verinin güçlü bir eğilime (gidiş) sahip olduğu ve eğilimin basit fonksiyonlarla modellenebildiği durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Bağımlı değişken, kriging için gerekli olan ikinci dereceden durağanlık kriterini karşılamadığında da Evrensel kriging kullanılmalıdır. İkinci dereceden durağanlık, ortalama ve varyansın tüm alanda aynı olduğu ve herhangi bir iki gözlem arasındaki korelasyonun sadece uzayda göreceli konumlara bağlı olduğu anlamına gelir (Kis, 2016). Belirli bir mesafede değişken değerlerinin sürekli artış göstermemesi durumunda kalıntı yarı-variogramlar kullanılarak trendler giderilir ve kriging ile tahminler yapılır. Bu tür hesaplamalar Evrensel Kriging (UK) olarak bilinmektedir (Brus ve Heuvelink, 2007) ve Eşitlik 3 ile hesaplanır;

$$\hat{Z}(S) = \sum_{i=0}^m \beta_j X_j(S) + \epsilon(S) \quad \text{Eşitlik 3}$$

Eşitlikte: $\hat{Z}(S)$ = Tahmin edilmesi hedeflenen veriler, $X_j(S)$ = İki boyutlu konumsal koordinatlar, (S) = Kovaryanslar, β_j = Regresyon katsayısı ve ϵ = Otokorelasyon sonucu kalıntıdır.

Enterpolasyon yöntemlerinde deterministik yöntemlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu kapsamda Radial Basic Functions (RBF) ve ters uzaklık yöntem (IDW) yöntemleri kullanılmıştır. RBF metodu çok boyutlu verilerin enterpolasyonunda kullanılan bir metottur. Genel olarak sınırlı sayıda ya da tahmin edilmesi zor olan noktaların tahmininde kullanılmaktadır. Bu metodun en büyük avantajı genel kısıtlamaların az olması nedeni ile herhangi bir boyutta rahatlıkla kullanılmasıdır. Radyal Temelli Fonksiyon Eşitlik 4 ile hesaplanmaktadır (Wright, 2003).

$$S(x) = \sum_{j=1}^n \lambda_j \phi(\|x - x_j\|) \quad \text{Eşitlik 4}$$

Eşitlik 4'te: x : Serbest değişken, $\{f_j(j = 1)\}$: Eşitliğin cevap kümesi, $S(x_j) = f_j, j = 1, \dots, n$ koşullarındaki genişleme kümesi, λ_j = genişleme katsayısı, $[A][\lambda] = [f]$ eşitlikteki, $A_{aj}, k = (\phi(x - \|x - x_j\|))$ radyal fonksiyon türlerini ve ϕ = teklî değişkeni ifade etmektedir.

IDW enterpolasyon tahminleri enterpolasyon lokasyonundan belirli bir mesafe uzaklıktan gelen komşu noktaların ağırlık değerlerini dikkate alarak yapılmaktadır. Bu değerlerin hesaplanmasında ise uzaklıkların ters mesafe fonksiyonlarından

yararlanılmaktadır. Bu varsayım değeri bilinen noktadan hedeflenen noktaya olan uzaklık arttıkça benzerliklerin azaldığı mantığına dayanmaktadır. IDW yönteminde enterpolasyon fonksiyonu Eşitlik 5'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$\lambda = \frac{1/d_i^p}{\sum_{j=1}^n 1/d_j^p} \quad \text{Eşitlik 5}$$

Eşitlik 5'de; λ_i , enterpolasyon yapılan noktadaki tahmin edilen değer, d_i x_0 ve x_i arasındaki mesafe, p , üs parametresi, n enterpolasyonda kullanılan örneklenen noktaların sayısıdır. IDW'nin doğruluğunu etkileyen ana faktör üs parametresinin değeridir. Mesafe arttıkça özellikle de üs parametresinin değeri arttığında, ağırlıklar azalır. Bu nedenle yakın örneklerin ağırlığı daha yüksektir ve tahmin üzerinde daha fazla etkiye sahiptir (Isaaks ve Srivastava, 1989). Her bir toprak özelliği için IDW yönteminde üs değeri 1.0'den 5.0'e kadar olacak şekilde 5 farklı üssel parametre değeri kullanılarak (IDW1, IDW2, IDW3, IDW4 ve IDW5) alansal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen değerlere çapraz doğrulama yapılmış ve en iyi sonucu veren güç değeri belirlenmiştir.

Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Ölçülen değerler ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişkiyi sorgulayabilmek, ölçülen değerlere en yakın sonucu veren başka bir ifade ile yöntemler arasından en uygun olanının seçilmesinde literatürde farklı karşılaştırma yöntemlerinin dikkate alındığı görülmektedir. Genel anlamda ortalama hata kareleri toplamının karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) toprak verilerinde tahmin edilen ve gözlenen değerler arasındaki korelasyon değerlerinin kullanıldığı yaygın yöntemlerdendir (Emadi ve Baghernejad, 2014; Rahmanipour vd., 2014). Bu çalışmada da enterpolasyonun doğruluğunu çapraz doğrulama ile tahmin etmede en uygun yöntemin seçilebilmesi için RMSE ve MAE birlikte kullanılmıştır. Enterpolasyon yöntemlerinin doğrulanması, çapraz doğrulama işlemi ile değerlendirilmiştir. Çapraz doğrulamada veri seti içerisinde sırası ile bir noktayı atılır ve kalan noktalar kullanılarak bu konumun değeri hesaplanır. Çıkarılan noktanın konumundaki tahmin edilen ve ölçülen değerler karşılaştırılır ve bu işlem, ikinci bir nokta için tekrar edilir. Tahmine dayalı bir modelin davranışını doğru bir şekilde tahmin etmek için, çapraz doğrulama işleminde, veriler modellerin oluşturulması ve doğrulanması için kullanılan iki

bölüme ayrılarak farklı variogramlar karşılaştırmıştır (Robinson ve Metternicht, 2006). Öncelikle her bir yöntem için en düşük RMSE değerini veren yarı-variogramlar belirlenmiş ve en düşük RMSE değerini veren yöntem, en uygun yöntem olarak değerlendirilmiştir (Bilgili 2013).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Tanımlayıcı İstatistikler

Her üç derinlik için belirlenen elektriksel iletkenlik (EC), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) ve pH değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Elektriksel iletkenlik değerleri ilk 30 cm derinlikte 0.45 ile 65.60 dS m⁻¹ arasındadır ve ortalama EC 5.25 dS m⁻¹’dir. En yüksek EC değeri, çalışma alanında bazı yerlerin çok şiddetli tuzluluk etkisi altında olduğunu göstermektedir.

Toprak örneklemeleri bölgedeki hasat döneminden sonra yapılmıştır. Özellikle tahıl ekili alanlarda, hasat sonrası çıplak kalan arazi yüzeyinde şiddetli buharlaşmanın etkisi ile tuzların yüzeye doğru hareket ettiği görülmüştür. Jorenush ve Sepaskhah (2003), sıg taban suyunun bulunduğu işlenen tarım arazilerinin %30’unda kapillar yükselme nedeni ile tuzluluk sorununun olduğunu bildirmişlerdir. Sulama yapılan alanlarda veya yağışların yoğun olduğu bölgelerde toprağa giren su tuzluluğa neden olan iyonların profilin alt kısımlarına doğru hareket etmesine neden olurken, yağışın ve sulamanın olmadığı dönemlerde taban suyu kapillar güçler ile yukarıya doğru hareket etmektedir. Yukarıya taşınan su, bitkiler tarafından tüketilmekte veya yüzeyden buharlaşmaktadır. Bu durumda, yüzeyde veya kök bölgesinde tuzlar zamanla birikerek zarar verecek düzeylere kadar yükselebilmektedir.

Yüzeyin hemen altında yer alan 30-60 cm derinlikteki toprakların EC değeri ise 0.29 dS

m⁻¹ ile 55.40 dS m⁻¹ arasında değişim göstermiş ve ortalama tuzluluk 5.26 dS m⁻¹ olarak hesaplanmıştır. 60-90 cm toprak derinliğindeki EC değerleri ise 0.37 dS m⁻¹ ile 62.40 dS m⁻¹ arasında değişim göstermiş ve ortalama EC değeri 6.09 dS m⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). Çalışma alanında derinlik arttıkça ortalama EC değerlerinin arttığı görülmektedir.

Arazi içerisinde herhangi bir özelliğin değişkenliğinin boyutunun belirlenmesinde varyasyon katsayısı (CV) değerleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Varyasyon katsayısının %15’den küçük olması durumunda az değişken, %15 ile %35 arasında olması durumunda orta değişken ve %35’den büyük olmasında ise çok değişken olarak değerlendirilmektedir (Wilding, 1985). Buna göre tüm toprak katmanlarındaki tuzluluk arazide büyük oranda değişkenlik göstermektedir. Cetin ve Kırdar (2003) tarafından da belirtildiği gibi, toprak tuzluluğundaki bu davranış normal ve beklenen bir durumdur. Dolayısıyla tarla ölçeğinde dahi büyük değişkenlik gösterebilen tuzluğun arazideki değişkenliğinin yüksek olması beklenen bir bulgudur ve farklı bölgelerde rapor edilen CV değerleri ile de uyumludur (Emadi ve Baghernejad, 2014). Toprakların pH değerleri incelendiğinde 0-30 cm toprak katmanında 6.40 ile 8.40, 30-60 cm toprak derinliğinde 6.84 ile 8.85 ve 60-90 cm toprak derinliğinde ise 6.66 ile 8.69 arasında değişim göstermiştir. Ortalama pH değerleri incelendiğinde ise toprağın alt derinliğine doğru pH değerlerinde azalış olduğu görülmektedir. Değişim katsayıları tüm katmanlarda %15’den küçük olduğunda pH değerlerindeki değişimin çok düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir.

ESP değerinin %15 den büyük olduğu topraklar sodiklik açısından problem olduğunu

Çizelge 1. Temel tanımlayıcı istatistikler

Table 1. Basic Descriptive Statistics

Toprak Özellikleri	En Küçük	En Yüksek	Ortalama	SD	CV	Çarpıklık	
0-30 cm	EC dSm ⁻¹	0.45	65.60	5.25	12.05	229.52	23.04
	pH	6.40	8.40	7.93	0.47	5.93	-0.79
	ESP %	0.18	52.76	7.36	8.17	111.05	14.57
30-60 cm	EC dSm ⁻¹	0.29	55.40	5.26	9.72	184.79	16.24
	pH	6.84	8.85	7.85	0.48	6.11	-0.90
	ESP %	0.08	60.63	8.72	9.22	105.74	13.06
60-90 cm	EC dSm ⁻¹	0.37	62.40	6.09	10.04	164.86	10.44
	pH	6.66	8.69	7.81	0.47	6.02	-0.70
	ESP %	0.14	55.70	11.26	10.78	95.74	6.39

S.D: Standart Sapma; CV: Varyasyon Katsayısı (%)

göstermektedir. 0-30 cm toprak derinliğinde ESP değerleri %0.18 ile %52.76, 30-60 cm toprak derinliğinde %0.18 ile %60.63 ve 60-90 cm toprak derinliğinde ise ESP değerleri %0.14 ile %55.70 arasında değişim göstermiştir. Alandaki ortalama ESP değeri ise derinliklere göre %7.36 ile %11.26 arasında değişim göstermiş ve derinlik arttıkça ESP değerinin arttığı belirlenmiştir.

Mesafeye Bağlı Değişkenliğin Modellenmesi ve Haritalama İşlemleri

Çalışılan özelliklerin mesafeye bağlı korelasyonları normal dağılıma dönüştürülen verilerde yarı-varyogramlar kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma alanında EC, pH ve ESP'nin her üç derinlikteki mesafeye bağlı değişkenliklerinin belirlenmesinde elde edilen en uygun modeller ve bu modellere ait parametreler Çizelge 2'de verilmiştir. Tüm derinliklerde EC ve ESP için en uygun yarı-variogram modeli küresel iken pH değerleri için 0-30 cm'de küresel ve 30-60 ve 60-90 cm için ise üssel modelin uygun olduğu belirlenmiştir. Kontrolsüz etki varyansının toplam varyansa oranı uzaysal bağımlılığın kısa mesafelerdeki bozunmasının ortaya konulmasında iyi bir göstergedir. Cetin ve Kirda, 2003). Bu oranın \leq % 25 olması değişkenin kuvvetli uzaysal bağımlı, %25 ile %75 arasında olması orta derecede uzaysal bağımlı ve %75'den fazla olması ise zayıf uzaysal bağımlı olarak sınıflandırılmasına neden olmaktadır (Cambardella vd., 1994). Çalışma alanında EC orta düzeyde (sırası ile %37.5, %29.7 ve %30.3) mesafeye bağımlılık göstermektedir. Bununla birlikte pH değerlerinin ise her üç derinlikte de %25'den daha düşük olduğu ve kuvvetli uzaysal bağımlı olduğu belirlenmiştir. ESP değerlerinin ise 0-30 ve 30-60 cm derinlikler için

orta derecede bağımlı (% 45.2 ve % 25.3) ve 60-90 cm için ise kuvvetli uzaysal bağımlı (%20.3) olduğu anlaşılmıştır. Uzaysal bağımlılığın yüksek olması, değerlerin mesafeye bağlı olarak düzenli bir azalış gösterdiğine yani uzaysal yapılarının olduğuna işaret etmektedir.

Etki uzaklığı en yüksek toprak özelliğinin her üç derinlik için de EC olduğu görülmektedir. EC için belirlenen etki mesafeleri 0-30, 30-60 ve 60-90 cm için sırası ile 8150 m, 6850 m ve 6610 m'dir. Bununla birlikte pH'nın her üç derinlikteki etki değerinin de EC ve ESP'den daha kısa olduğu anlaşılmaktadır. Kontrolsüz etki varyansı ölçüm yapılan en kısa mesafeden daha kısa mesafelerdeki değişkenlik tavrı ile ilgilidir. (Webster ve Oliver, 2001). Her üç derinlikte de en düşük kontrolsüz etki varyansına sahip özellik pH olmuştur (Çizelge 2). Kontrolsüz etki varyansının toplam varyans içerisindeki oranının büyük olması uzaysal bağımlılık yapısının mesafeye bağlı değişkenliği yeterince karakterize edemediğini ve bu özelliklerde belirsizliği ortadan kaldırmak için daha kısa mesafelerde ve daha fazla sayıda örnek alınması gerektiği bildirilmiştir (Emadi ve Baghernejad, 2014). Bir diğer ifade ile, Çetin ve ark. (2001) tarafından da açıkça belirtildiği gibi, kontrolsüz etki varyansının toplam varyans içerisindeki oranı arttıkça incelenen değişkenin daha çok rastgele karakterli olduğu ve uzaklığa bağlı bir bağımlılıktan bahsetme olanağının olmadığı söylenebilir.

Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Elektriksel iletkenlik değerlerinin alansal dağılımları

Tüm deterministik enterpolasyon yöntemleri karşılaştırıldığında örnekleme yapılan her üç toprak

Çizelge 2. Toprak özelliklerine ait uzaysal analiz sonuçları

Table 2. Results for Spatial Analyses of Soil Characteristics

Toprak Özellikleri		Model	Kontrolsüz Etki Varyansı (Co)	Sill (Co+C)	Etki uzaklığı (m)	Kontrolsüz etki varyansı oranı (%)	R ²	RSS
0-30 cm	EC	Küresel	0.363	0.967	8150	37.5	0.788	0.0636
	pH	Üssel	0.0317	0.207	2970	15.3	0.516	0.0026
	ESP	Küresel	0.484	1.07	7520	45.2	0.459	0.238
30-60 cm	EC	Küresel	0.337	1.136	6850	29.7	0.732	0.126
	pH	Üssel	0.0225	0.219	2670	10.3	0.645	0.001
	ESP	Küresel	0.227	0.898	5510	25.3	0.437	0.231
60-90 cm	EC	Küresel	0.379	1.252	6610	30.3	0.622	0.239
	pH	Küresel	0.0185	0.190	2670	9.7	0.621	0.00184
	ESP	Küresel	0.237	1.166	4470	20.3	0.554	0.206

derinliğindeki EC değerlerinin alansal dağılımları için en düşük RMSE değerini veren ters uzaklık yönteminin ağırlık üssü 1 olanının (IDW-1) en doğru sonuç verdiği görülmüştür. IDW yönteminde ağırlık gücünün artışı ile RMSE değerinin arttığı görülmektedir. Stokastik enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılmasında ise 0-30 cm derinlikteki toprakların EC değerlerinin

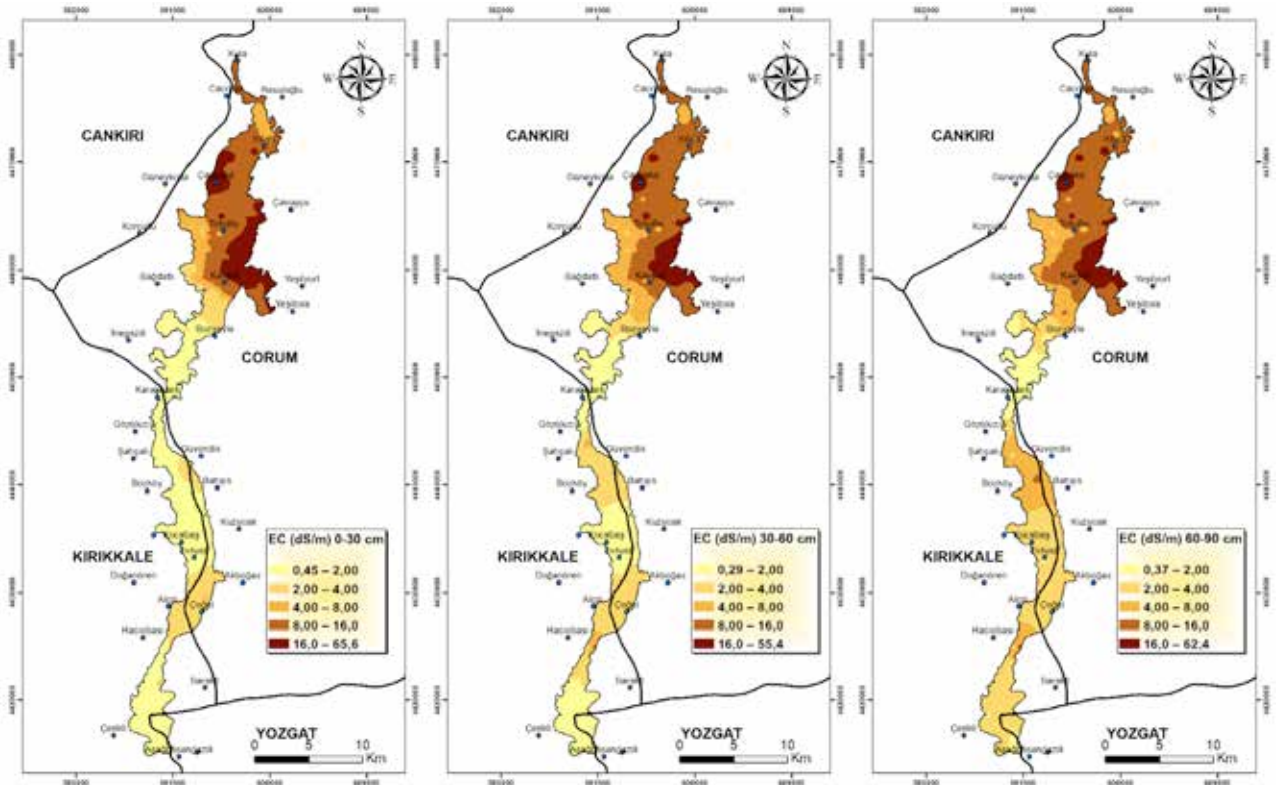
alansal dağılımında UK ve OK yöntemlerinin her ikisinin de uygun olduğu anlaşılmaktadır. Her yöntemde en düşük RMSE ve MAE değerlerine sahip olduklarından 0-30 cm için bu iki yöntemden biri tercih edilebilir. Bununla birlikte 30-60 ve 60-90 cm derinlikler için ise SK yönteminin en doğru sonucu veren yöntem olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3. Elektriksel iletkenlik için enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması

Table 3. Comparison of interpolation methods for electrical conductivity

	0-30 cm		30-60 cm		60-90 cm	
	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE
DETERMINİSTİK YÖNTEMLER						
IDW1	10.502	5.072	8.697	4.610	9.155	5.316
IDW2	11.139	4.904	9.448	4.792	9.867	5.443
IDW3	12.135	5.026	10.379	5.060	10.717	5.732
IDW4	12.849	5.191	11.015	5.265	11.015	5.265
IDW5	13.303	5.266	11.404	5.385	11.700	6.081
RBF-CRS	10.632	5.000	8.871	4.626	9.347	5.323
RBF-ST	10.551	4.932	8.740	4.805	9.166	5.626
RBF-M	11.918	4.932	10.144	4.805	10.645	5.626
RBF-IM	10.607	5.035	8.827	4.622	9.298	5.327
RBF-TPS	14.494	6.283	12.390	5.919	12.288	6.570
STOKASTİK YÖNTEMLER						
OK	11.005	4.323	9.027	4.269	9.490	5.002
SK	11.031	4.321	9.012	4.274	9.448	5.002
UK	11.005	4.323	9.027	4.269	9.490	5.002

RMSE: Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü, MAE: Ortalama Mutlak Hata



Şekil 2. Çalışma alanında elektriksel iletkenlik değerlerinin alansal dağılımı
Figure 2. Spatial Distribution of electrical conductivity values in study area

Çorum ilinin kuzey kesimlerinde yer alan arazilerin önemli bir bölümünde EC değerlerinin her üç toprak derinliğinde de 8.0 dS m⁻¹'den daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 2). Yağışlı ve sulama yapılan dönemlerde toprak profilinin alt kesimlerine hareket eden tuzların kuru dönemin

sonunda tekrardan toprak profilinin üst kısımlarına doğru hareket etmiş olduğu görülmektedir.

Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP) Değerlerinin alansal dağılımları

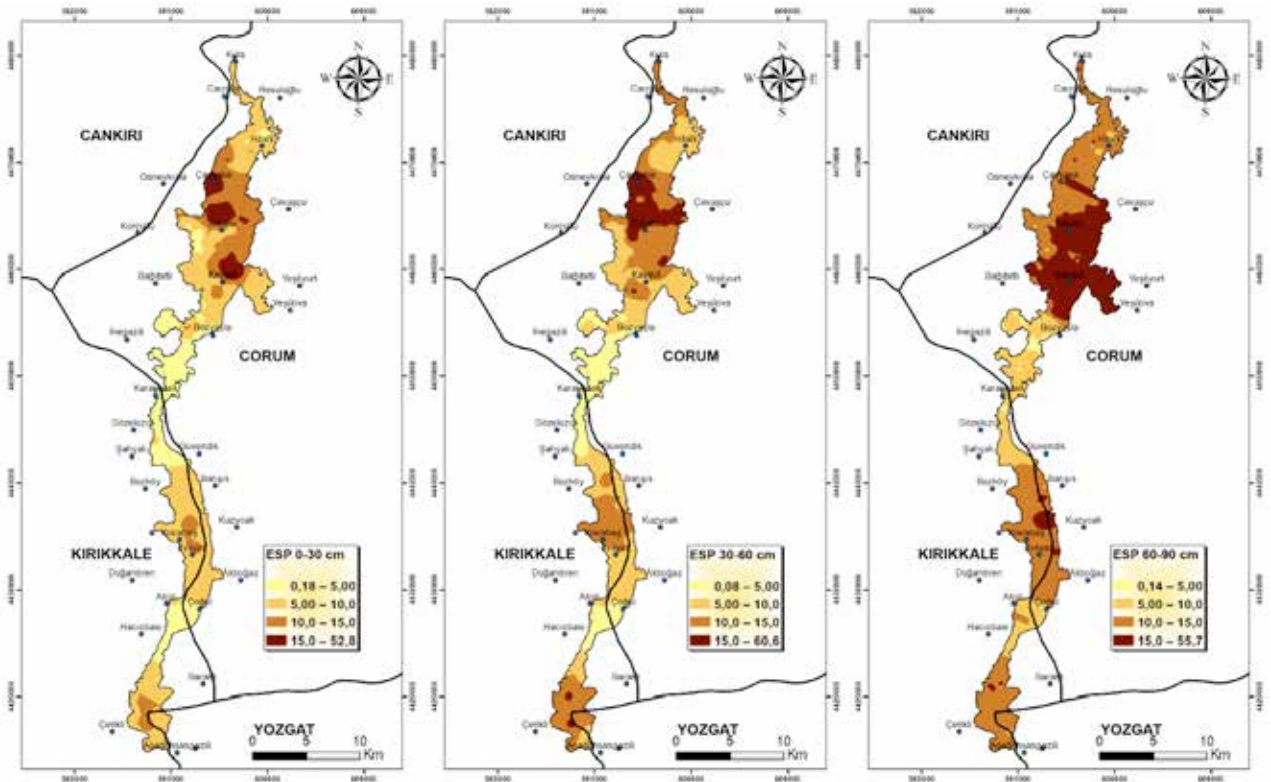
Tüm deterministik enterpolasyon yöntemleri karşılaştırıldığında ESP değerlerinin

Çizelge 4. Değişebilir sodyum yüzdesi değerleri için enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması

Table 4. Comparison of interpolation methods for exchangeable sodium percentage values

	0-30 cm		30-60 cm		60-90 cm	
	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE
DETERMINİSTİK YÖNTEMLER						
IDW1	7.790	5.169	9.736	6.289	10.714	8.074
IDW2	7.752	5.045	9.736	6.289	11.234	8.244
IDW3	7.969	5.074	10.338	6.700	11.807	8.662
IDW4	8.212	5.165	10.888	7.008	11.807	8.662
IDW5	8.377	5.230	11.315	7.210	12.669	9.243
RBF-CRS	7.752	5.093	9.384	6.014	10.667	7.936
RBF-ST	7.604	5.139	9.117	6.711	10.571	8.376
RBF-M	8.231	5.139	10.681	6.711	11.606	8.376
RBF-IM	7.753	5.090	9.339	5.997	10.635	7.937
RBF-TPS	9.602	5.503	13.416	8.550	13.909	10.444
STOKASTİK YÖNTEMLER						
OK	7.814	4.921	9.495	5.888	11.191	8.220
SK	7.760	4.934	9.402	5.876	11.099	8.184
UK	7.814	4.921	9.495	5.888	11.191	8.220

RMSE: Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü, MAE: Ortalama Mutlak Hata



Şekil 3. Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerlerine ait alansal dağılım haritaları

Figure 3. Spatial Distribution of exchangeable sodium percentage values in study area

alansal dağılımlarında 0-30, 30-60 ve 60-90 cm derinlikler için RBF-ST yönteminin en doğru sonuç verdiği belirlenmiştir. Stokastik enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılmasında ise her üç örnekleme derinliğindeki toprakların ESP değerlerinin alansal dağılımlarının en doğru tahmininin SK yönteminin kullanımı ile başarılacağı görülmüştür (Çizelge 4).

Çalışma alanında özellikle Çankırı ilinin güneyi ve Çorum ilinin kuzeyi arasında kalan arazilerin önemli bir kısmında her üç toprak derinliğinde de önemli düzeyde alkalilik (sodiklik) sorunu olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, elde edilen haritalarda da derinlikle birlikte ESP değerlerinin artmış olduğu açık bir şekilde izlenmektedir (Şekil 3).

pH değerlerinin alansal dağılımları

Araştırmaya konu olan tüm deterministik enterpolasyon yöntemler karşılaştırıldığında pH değerlerinin alansal dağılımları için 0-30 cm toprak derinliğinde IDW-1, 30-60 cm toprak derinliğinde RBF-ST ve 60-90 cm toprak derinliğinde ise RBF-IM yönteminin en doğru sonuç verdiği belirlenmiştir. Stokastik enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılmasında ise her üç derinlikteki toprakların pH değerlerinin alansal dağılımlarının haritalanmasında kullanılabilir

en uygun yöntemin en düşük RMSE değerlerine sahip olan SK yöntemi olduğu görülmektedir.

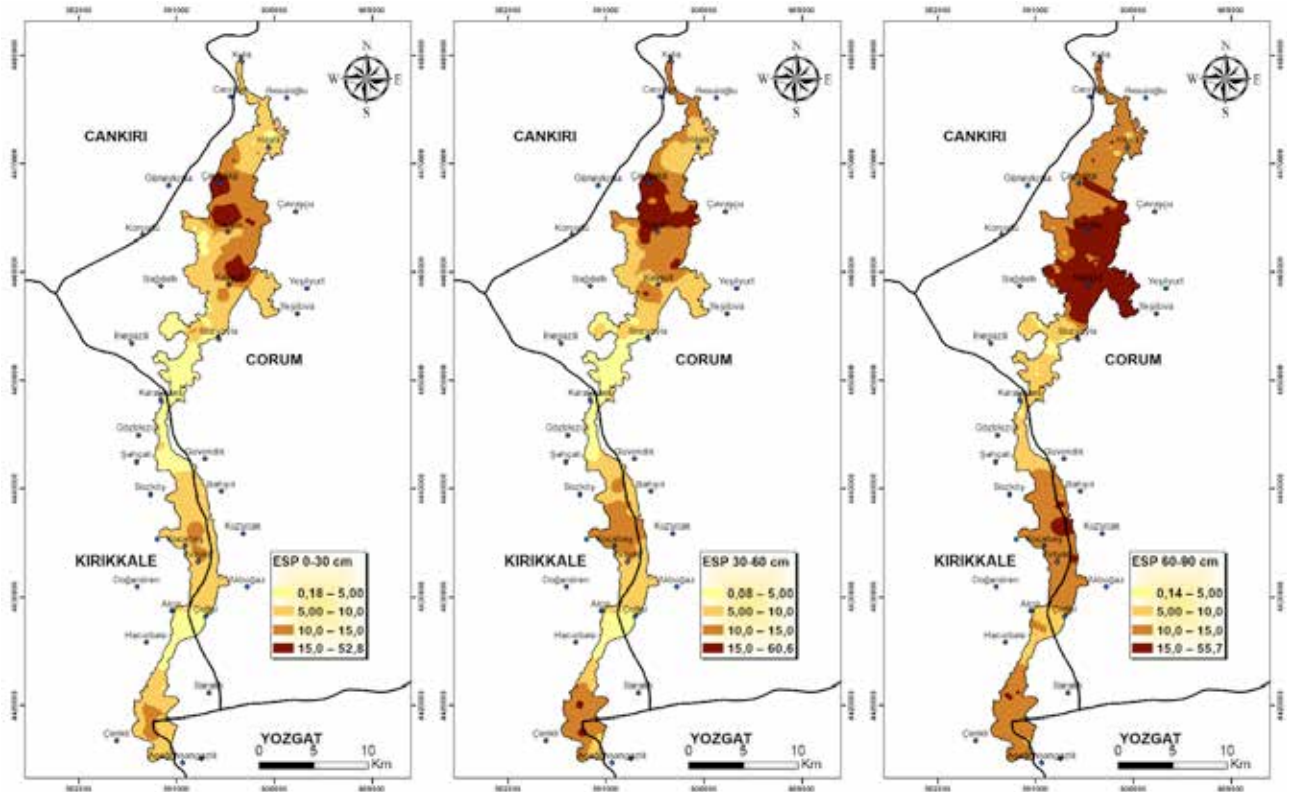
Toprak pH'sı, toprakta asitlik veya alkaliliğin bir göstergesi olarak kabul edilir ve toprak sağlığının önemli bir göstergesidir. Arazide yetiştirilen ürünün verimini, arazinin ürüne olan uygunluğunu, besin elementlerinin yarıyışlılığını ve toprakta gerçekleşen birçok önemli olayda etkili olan toprak mikroorganizmalarının aktivitelerini etkilemektedir. Birçok bitkinin gelişimi için en uygun pH aralığı 6.0-7.5 olduğu belirtilmektedir (Simith ve Doran, 1996). Yüzeysel topraklarında pH değerleri Kırıkkale ilinin güney ve kuzeyi ile Çorum ilinin kuzeyinde bir kısım arazilerde 8.40-8.74 arasında iken, çalışma alanının geri kalan kısımlarında 8.40'ın altında olduğu görülmüştür (Şekil 4). Yüzeysel altında 30-60 cm derinlikte ise Çankırı ilinin kuzeyinde bulunan çalışma alanının sınırlarına yakın bölgelerde 7.50'nin altında olan pH değerlerinin alanın büyük bir bölümünde 8.10 ile 8.40 arasında değişmektedir. Bu derinlikte sadece Çorum ilinin kuzey batısında yer alan Bozyayla yerleşim yerine ait bir kısım arazilerde 8.40-8.74 arasındadır. Üçüncü örnekleme derinliği olan 60-90 cm'de pH değişimi 30-60 cm derinlik ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

Çizelge 5. pH değerleri için enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması

Table 5. Comparison of interpolation methods for pH values

Yöntemler	0-30 cm		30-60 cm		60-90 cm	
	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE
DETERMINİSTİK YÖNTEMLER						
IDW1	0.459	0.377	0.471	0.389	0.448	0.374
IDW2	0.481	0.398	0.515	0.409	0.479	0.395
IDW3	0.508	0.416	0.548	0.429	0.514	0.415
IDW4	0.508	0.416	0.570	0.444	0.538	0.428
IDW5	0.541	0.437	0.584	0.454	0.554	0.439
RBF-CRS	0.462	0.383	0.479	0.390	0.445	0.369
RBF-ST	0.464	0.420	0.455	0.439	0.448	0.409
RBF-M	0.506	0.420	0.560	0.439	0.501	0.409
RBF-IM	0.460	0.380	0.475	0.388	0.444	0.370
RBF-TPS	0.597	0.496	0.681	0.535	0.573	0.472
STOKASTİK YÖNTEMLER						
OK	0.472	0.393	0.517	0.412	0.481	0.390
SK	0.467	0.385	0.510	0.411	0.474	0.381
UK	0.472	0.393	0.517	0.412	0.481	0.390

RMSE: Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü, MAE: Ortalama Mutlak Hata



Şekil 4. Toprak pH'sına ait alansal dağılım haritaları
Figure 4. Spatial Distribution of pH values in study area

SONUÇLAR

Bu çalışmada, Çankırı ilinin kuzeyinde yer alan Kula Köyü ile Yozgat ilinin batısındaki Aşağıhsangazlı Köyü arasında Delice Çayının etrafındaki DSİ'nin Gelingüllü Çerikli Sulama sahasında yer alan arazilerin tuzluluk ve sodiklik durumunun alansal dağılımı modellenmiş ve en uygun enterpolasyon yönteminin belirlenmesi ile haritalanmıştır. Örnekleme yapılmayan noktaların elektriksel iletkenlik (EC), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) ve pH değerlerinin tahmininde 3 stokastik ve

2 deterministik yöntemden yararlanılmıştır. Her bir deterministik yöntem altında da 5 farklı fonksiyona ait enterpolasyonların doğrulukları test edilmiştir. Böylelikle her bir özelliğin farklı derinliklerinin alansal dağılımlarının modellenmesinde deterministik ve stokastik toplam 13 enterpolasyon yönteminin doğruluğu test edilmiş ve en doğru tahmini yapmamızı sağlayan yöntemler seçilmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Değişebilir sodyum yüzdesi değerleri için enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması

Table 6. Comparison of interpolation methods for exchangeable sodium percentage values

Derinlik	Dönem	EC	ESP	pH	EC	ESP	pH
		DETERMINİSTİK			STOKASTİK		
0-30 cm	2005	RBF-ST	RBF-IM	RBF-IM	OK, SK	SK	SK
	2016 Nisan	RBF-IM	RBF-IM	RBF-IM	SK	OK	SK
	2016 Eylül	IDW-1	RBF-ST	IDW-1	UK, OK	SK	SK
30-60 cm	2005	RBF-ST	RBF-IM	RBF-ST	SK	SK	SK
	2016 Nisan	RBF-IM	RBF-IM	RBF-IM	SK	SK	OK
	2016 Eylül	IDW-1	RBF-ST	RBF-ST	SK	SK	SK
60-90 cm	2005	RBF-IM	RBF-CRS	RBF-CRS	SK	SK	UK
	2016 Nisan	RBF-IM	RBF-IM	RBF-IM	SK	SK	SK
	2016 Eylül	IDW-1	RBF-ST	RBF-IM	SK	SK	SK

SK: Simple Kriging; RBF: Radial Base Function; IDW: Ters Uzaklık Yöntemi; ST: Spline with Tension; IM: Inverse Multiquadratic Function; CRS: Completely Regularized Spline

Sonuçlar, belirlenen özelliklerin alansal dağılımlarının modellenmesinde her 3 örnekleme döneminde de en doğru sonucu veren deterministik ve stokastik enterpolasyon yöntemlerinin farklı olduğunu göstermiştir. EC değerlerinin alansal dağılımında deterministik yöntemlerden IDW-1 yöntemi ile daha doğru tahmin yapılabildiği görülmüştür. Deterministik yöntemler içerisinde RBF-ST, RBF-IM, RBF-CSR ve IDW-1 yöntemlerinin özelliklerin alansal dağılımlarının doğru tahmin edilmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak bu yöntemlerden RBF-IM'in diğer yöntemlere kıyasla daha çok tercih edilebileceği düşünülmektedir.

Stokastik enterpolasyon yöntemlerinden SK her üç özellik içinde örneklerin alansal dağılımlarının belirlenmesinde en doğru tahmin yapan yöntem olmuştur. Bu durum, coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak yapılan haritalama çalışmalarında enterpolasyon modeli seçimlerinin ne kadar önemli olduğunu anlaşılması açısından son derece önemlidir. Zira birçok araştırmacı, kullandıkları programın uygun gördüğü veya programda varsayılan (default) enterpolasyon yöntemini kullanarak örneklenmeyen noktaların tahminlerini yaptırmakta ve ardından bu değerleri kullanarak alansal dağılım haritalarını oluşturmaktadırlar. Bu şekilde üretilen haritalarda hata payının yüksek olması elde edilen haritalardan üretilen faydanın da azalmasına neden olacaktır. Sonuçlar, enterpolasyon yöntemleri kullanılarak oluşturulan haritalarda hataya en düşük seviyede tutabilmek için, birden fazla yöntemin denenmesinin ve en doğru tahmin yapılmasına izin veren yöntemin kullanılmasının önemini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Çalışma alanı için üretilen tuzluluk, sodiklik ve pH haritalarında gözlemlenen farklılığın en önemli nedeninin ise toprak örnekleme yöntemleri yapıldığı dönem olduğu düşünülmektedir. Zira kurak bir dönemde yapılan örnekleme ile yağış ve sulamalardan sonra yapılan örnekleme arasında özellikle tuz konsantrasyonu açısından önemli farklılıklar oluşabilmektedir. Kurak dönemde, tuz ve sodyum konsantrasyonu yüksek olan taban sularının kapilarite ile toprak profilinin üst kısımlarına taşınıyor olması, örnekleme derinliklerinde EC, ESP ve pH değerlerinin yüksek çıkmasına neden olmuştur. Çalışılan alanda tuz ve sodiklik ile birlikte yüksek pH'dan kaynaklanan alkalilik sorunlarının olduğu muhakkaktır. Elde

edilen haritalar çalışma alanında sorunların en şiddetli olduğu ve ıslah işlemlerinde öncelikli alanların nereleri olması gerektiğini de açık bir şekilde göstermektedir. Çankırı ilinin güney ile Çorum ilinin kuzeyi arasında kalan bölgede her üç örnekleme döneminde de gözlemlenen tuzlu ve sodik alanlarda alınacak tedbirler ve uygulanacak ıslah programları ile arazilerin ıslah edilmesi ve tarımsal üretimin iyileştirilmesi mümkündür. Bölgede ıslah ile araziden uzaklaştırılacak tuzlu ve iyonlarca yoğun olan suların tahliye edilecek bir drenaj ağının bulunması ise önemli bir avantaj olarak görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Araştırma Geliştirme Destek Programları kapsamında TAGEM/TSKAD/15/A13/P08/11 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Bilgili AV (2013). Kriging teknikleri kullanılarak Harran Ovası'ndaki toprak tuzluluğunun mekansal değerlendirilmesi.. Çevre İzleme ve Değerlendirme, 185:777-795.
- Bhunia GS, Shit PK, Maiti R (2018). Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 17(2):114-126.
- Brus DJ, Heuvelink GBM (2007). Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables. Geoderma:138: 89-95.
- Budak M, Günal H (2015). Tuzlu-Alkali Topraklarda Bor Konsantrasyonunun Uzaysal Değişkenliğinin Jeostatistiksel Analizi ve Haritalanması. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 52(2):191-200
- Cambardella CA, Moorman TB, Novak JM, Parkin TB, Karlen DL, Turco RF, Konopka AE (1994). Field-Scale Variability Soil Properties in Central Iowa Soils. Soil Sci. Society of American Journal, 58:1501-1511.
- Cetin M, Kirda, C, 2003. Spatial and Temporal Changes of Soil Salinity in a Cotton Field Irrigated with Low-quality Water. Journal of Hydrology (272):238-249.
- Cetin M, Diker K (2003). Assessing Drainage Problem Areas by GIS: A Case Study in the Eastern Mediterranean Region of Turkey. Irrigation and Drainage (52):343-353.
- Cetin M (1996). Jeostatistiksel Yöntem ile Nokta ve Alansal Yağışların Saptanması ve Stokastik Olarak Modellenmesi Örnek Havza Uygulamaları. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Sayfa:1-127, 6 Temmuz-1996, Adana. 564
- Cetin M, Özcan H, Tülüçü K (1999). Aşağı Seyhan Ovası (ASO) IV. Merhale Proje Alanı Toprak ve Taban Suyuna İlişkin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerin Olasılık Dağılım Fonksiyonlarının Belirlenmesi. GAP I. Tarım Kongresi, Sayfa: 547-554, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, 26-28 Mayıs 1999, Şanlıurfa.

Cetin M, Özcan H, Tülücü K (2001). Aşağı Seyhan Ovası (ASO) IV. Merhale Proje Alanında Toprak ve Taban Suyuna İlişkin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerin Yersel Değişimlerinin Jeostatistik Yöntemle Araştırılması. C. Ü. Rektörlüğü Araştırma Fonu Projesi Sonuç Raporu, 19 sayfa, Proje No: ZF/99/14, Adana.

Citakoğlu H, Çetin M, Çobaner M, Haktanır T (2017). Mevsimsel Yağışların Jeostatistiksel Yöntemle Modellenmesi ve Gözlemi Olmayan Noktalarda Tahmin Edilmesi. IMO Teknik Dergi, 28(1): 7725-7745, Ocak 2017. DOI:10.18400/tekderg.299132.

Emadi M, Baghernejad M (2014). Comparison of spatial interpolation techniques for mapping soil pH and salinity in agricultural coastal areas, northern Iran. Archives of Agronomy and Soil Science, 60(9):1315-1327.

Jorenush MH, Sepaskhah AR (2003). Modelling capillary rise and soil salinity for shallow saline water table under irrigated and non-irrigated conditions. Agricultural Water Management, 61(2):125-141.

Juan P, Mateu J, Jordan MM, Mataix-Solera J, Meléndez-Pastor I, Navarro-Pedreño J, (2011). Geostatistical methods to identify and map spatial variations of soil salinity. Journal of Geochemical Exploration, 108(1):62-72.

Isaaks EH, Srivastava RM (1989). An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press.

Kis IM (2016). Comparison of Ordinary and Universal Kriging interpolation techniques on a depth variable (a case of linear spatial trend), case study of the Sandrovac Field. Rudarsko-Geolosko-Naftni Zbornik, 31(2):41-57.

Li J, Heap AD (2008). A review of spatial interpolation methods for environmental scientists.

Li HY, Webster R, Shi Z (2015). Mapping soil salinity in the Yangtze delta: REML and universal kriging (E-BLUP) revisited. Geoderma, 237:71-77.

Mulla DJ, Mc Bratney AB (2000). Soil Spatial Variability. Chapter #9. In: Sumner M E. (Ed.), Handbook of Soil Science. CRC Press, pp. 321-352.

Navarro-Pedreño J, Jordan MM, Meléndez-Pastor I, Gómez I, Juan P, Mateu J, (2007). Estimation of soil salinity in semi-arid land using a geostatistical model. Land Degradation and Development 18:339-353.

Nouri H, Chavoshi Borujeni S, Alaghmand S, Anderson S, Sutton P, Parvazian S, Beecham S (2018). Soil Salinity Mapping of Urban Greenery Using Remote Sensing and Proximal Sensing Techniques; The Case of Veale Gardens within the Adelaide Parklands. Sustainability, 10(8):1-14.

Rahmanipour F, Marzaioli R, Bahrami HA, Fereidouni Z, Bandarabadi SR (2014). Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. Ecological Indicators, 40:19-26.

Rhoades JD (1993). Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. Advances in Agronomy. 49:201-251.

Smith JL, Doran JW (1996). Measurement and Use of pH and Electrical Conductivity for Soil Quality Analysis. In Methods for Assessing Soil Quality (Vol. 49). Soil Science Society of America Madison, WI.

Surucu A, Ahmed TK, Gunal E, Budak M (2019). Spatial Variability of Some Soil Properties in an Agricultural Field of Halabja City of Sulaimania Governorate, Iraq. Fresenius Environmental Bulletin. 29(1):193-206.

Thomas GW (1982). Exchangeable cations. In: Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties, Mad., WI-USA: ASA-SSSA. pp.159-165.

Webster R, (2001). Statistics to support soil research and their presentation. European Journal of Soil Science, 52(2):331-340.

Webster R, Oliver MA (2001). Geostatistics for environmental scientists. Brisbane: Wiley.

Wilding LP (1985). Spatial Variability: Its Documentation, Accommodation and Implication to Soil Surveys. In: Nielsen Dr, Bouma J, Editors. Soil Spatial Variability. Wageningen: Pudoc; pp. 166-194.

Wackernagel H (2003). Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications. Springer, Berlin, 387 pp.

Wright G 2003. Radial Basis Function Interpolation: Numerical and Analytical Developments. Ph.D. Thesis, University of Colorado, Boulder.