

Ergani Ovasında Bazı Toprak Özelliklerinin Mekânsal Dağılımlarının Belirlenmesinde Lokal Polinomal Interpolasyon ve Deneysel Bayesyen Kriging Yöntemlerinin KarşılaştırılmasıOsman ABAKAY¹, Hikmet GÜNAL^{1*}¹Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa*Sorumlu yazar (Corresponding author): hikmetgunal@harran.edu.tr**Geliş Tarihi (Received):** 25.05.2023**Kabul Tarihi (Accepted):** 30.06.2023**Özet**

Bazı toprak özelliklerinin mekânsal dağılımının tahmin edilmesini amaçlayan bu çalışmada lokal polinomal interpolasyon (LPI) ve Deneysel bayesyen kriging (EBK)'nin mekânsal tahmin performansları karşılaştırılmıştır. Türkiye'nin güneydoğusunda Diyarbakır'ın Ergani ilçesi sınırları içerisinde 18.143 ha'lık çalışma alanında 622 toprak örneği alınmış ve toprak pH değeri, kireç içeriği, elektriksel iletkenlik (EC) ve katyon değişim kapasitesi (KDK) analizleri yapılmıştır. Her iki modelde tahmini ve ölçülen pH değerleri arasındaki varyasyon katsayısı oldukça benzerdir. Lokal polinomal interpolasyon yönteminde, toprakların kireç içeriğinde tahmini ve ölçülen veri kümesi varyasyon katsayısı birbirlerine oldukça benzerdir. Ortalama Karekök Sapması (RMSE) değerleri, EBK yönteminde LPI'ya göre pH, EC ve KDK için sırasıyla %9.5, %78.8 ve %25.6'lık bir azalış göstermiştir. LPI-Kireç yönteminde ise EBK'ya göre %28.4'lük RMSE iyileşmesi görülmüştür. Sonuçlar, EBK yöntemiyle elde edilen tahminlerin hata değerlerinin, LPI yöntemine kıyasla daha düşük olduğunu göstermektedir. Öte yandan, LPI yöntemi ile elde edilen tahmini pH ve kireç haritaları örneklem veri kümesine ait varyasyon katsayısına daha uyumludur. Bu araştırma, çevresel değişkene ihtiyaç duymadan hızlı ve etkin sayısal toprak haritalarının gerekli olduğu arazi yönetim uygulamalarına etkili bir biçimde mekânsal toprak bilgisi sağlaması açısından önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mekânsal dağılım, enterpolasyon, toprak özellikleri, pH, katyon değişim kapasitesi, kireç**A Comparison of Local Polynomial Interpolation and Experimental Bayesian Kriging Methods in Determining the Spatial Distribution of Some Soil Properties in Ergani Plain****Abstract**

In this study, the spatial prediction performances of Local Polynomial Interpolation (LPI) and Experimental Bayesian Kriging (EBK) were compared. Soil pH, lime content, electrical conductivity (EC) and cation exchange capacity (CEC) analyses were performed on 622 soil samples in a study area of 18,143 ha in Ergani district of Diyarbakır in southeastern Turkey. The coefficient of variation between estimated and measured pH values in both models was quite similar. In the local polynomial interpolation method, the coefficient of variation of the estimated and measured data set in the lime content of soils was quite similar. The root mean square deviation (RMSE) values showed a decrease of 9.5%, 78.8% and 25.6% for pH, EC and CEC, respectively, in the EBK method compared to the LPI. The LPI-Lime method showed an RMSE improvement of 28.4% compared to EBK. The results showed that the error values of the estimations obtained with the EBK method were lower compared to the LPI method. On the other hand, the estimated pH and lime maps obtained with the LPI method were more compatible with the coefficient of variation of the sample dataset. This research is important to provide efficient spatial soil information for land management applications where rapid and accurate digital soil maps are required without the need for environmental variables.

Keywords: Spatial distribution, interpolation, soil properties, pH, cation exchange capacity, lime

1. Giriş

Toprak özellikleri, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi, tarım arazilerinin kullanım planlaması, uygulamaların çevreye etkilerinin değerlendirilmesi ve ekosistem hizmetlerinin üretilmesi ve sunulması da dahil olmak üzere çok çeşitli konuyu çalışmak ve anlamak için faydalanılan değerli verilerdir. Mekânsal toprak bilgisi, arazi kullanımı ve yönetim uygulamaları hakkında bilinçli kararlar almak için gerekli olan, toprak özelliklerinin dağılımı ve arazi içerisindeki değişkenliği hakkında değerli bilgiler sağlar (Ahmed ve ark., 2022; Hussain ve ark., 2021). Arazi sahipleri veya yöneticileri pH, organik karbon içeriği, besin içerikleri ve tuzluluk gibi toprak özelliklerinin mekânsal dağılımı hakkında bilgi sahibi olduklarında, halihazırda uygulamakta oldukları yöntemlerin toprak sağlığı üzerine etkilerini değerlendirebilir ve toprak sağlığının bozulmasına neden olan uygulamaları optimize etmek için yönetim stratejilerini uyarlayabilirler (Budak ve ark., 2023; Hu ve ark., 2019). Örneğin, toprakta bulunan makro veya mikro besin elementlerinin mekânsal dağılımının bilinmesi, yetiştirilmesi planlanan ürünlerin daha fazla veya daha az verimli olabileceği alanların belirlenmesine yardımcı olabilir. Mekânsal dağılım haritalarının kullanımı ile beklenen ürüne uygun bir besin yönetimi uygulanabilir (Zhuo ve ark., 2019). Bunlara ek olarak, toprak özellikleri başta olmak üzere mekânsal toprak bilgisi ekosistem hizmetlerinin arzını değerlendirmek, tahmin etmek ve ekosistem hizmetlerinin arzına engel olan sorunların tespit edilerek iyileştirilmesi için de çok önemlidir (Polasky ve ark., 2011). Bu bilgiler daha sonra arazi kullanım kararlarını değerlendirmek ve ekosistem hizmetlerinin sağlanmasını en üst düzeye çıkarmak için koruma ve geliştirmeye yönelik uygulamaları önceliklendirmek için kullanılabilir (Nelson ve ark., 2009). Jeostatistik, besin maddelerinin mekânsal değişkenliğini sayısal olarak ifade eder ve

örneklenmemiş konumların değerlerini tahmin etmeye yarar (Goovaerts, 1999). Toprak verilerinin mekânsal tahmininde, farklı interpolasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler, veri setindeki eksik veya düzensiz veri noktaları arasındaki değerleri hesaplamak için kullanılır ve böylece homojen bir mekânsal dağılım elde edilmesine yardımcı olur. Bir araştırmada kullanılacak olan interpolasyon yöntemi, verilerin özelliklerine, dağılımına ve amaçlanan sonuçlara göre seçilmelidir (Goovaerts, 2001). Örneklenmemiş konumdaki toprak değişkenlerinin değerlerini tahmin etmek için en yaygın kullanılan çeşitli jeostatistiksel yöntemler arasında ters mesafe ağırlıklandırma, global ve yerel polinom interpolasyonu, radyal baz fonksiyonu ve Kriging bulunmaktadır. Mekânsal toprak bilgisinin elde edilmesi amacıyla farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Mekânsal enterpolasyon için deterministik yöntemler, matematiksel algoritmalar kullanarak yakın konumlardaki bilinen değerlere dayalı olarak gözlemlenmemiş konumlardaki değerlerin tahmin edilmesini işlemi yapmaktadır. Bu yöntemler, verilerin mekânsal otokorelasyonunu veya olasılık dağılımını dikkate almadıkları için deterministik olarak sınıflandırılırlar (Luo ve ark., 2008). Deterministik yöntemler fiziksel temellidir ve mekânsal değişime neden olan, bilinen fiziksel süreçlere dayanarak her noktada bir değişkeni açıklama ve tahmin etme imkânı sağlar. Bunlar, ayrıca yerel ve küresel algoritmalar olarak da sınıflandırılabilir. Yerel algoritmalar, tahmin edilen noktanın doğrudan komşuluğundan gelen verileri kullanarak tanımlanmış bir bölge içinde çalışırken, küresel algoritmalar tüm alan için tahminler yapmak için mevcut tüm verileri kullanır (Szymanowski ve Kryza, 2009). Bu araştırmada bazı toprak özelliklerinin mekânsal interpolasyonu için kullanılacak yöntemlerden bir tanesi olan Yerel Polinomal interpolasyon (Local Polynomial Interpolation: LPI), tahmin edilen noktanın yerel komşuluğundaki her

bir düğüm noktası için ayrı polinomların kullanılmasını içeren bir tür deterministik enterpolasyon yöntemidir (Bayona ve ark., 2017). Bu yöntem, küresel polinom enterpolasyon yöntemlerine kıyasla verilerin yerel varyasyonunu yakalamada daha fazla esneklik sağlar (Attorre ve ark., 2007). Yerel polinom enterpolasyonunda kullanılan polinomun derecesi, enterpolasyonda kullanılan radyal baz fonksiyonunun (RBF) derecesi ile sınırlı değildir, bu da daha yüksek dereceli polinom yaklaşımlarına izin verir (Sevilla ve ark., 2008). Kriging, toprak özelliklerinin mekânsal dağılımını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan bir mekânsal enterpolasyon yöntemidir. Araştırma maliyetlerini en aza indiren ve tahmin hatası varyansını azaltan güçlü bir araçtır. Kriging, toprak özellikleri çalışmalarında yaygın olarak kabul görmüştür (Yang ve ark., 2016). Deneysel Bayesyen kriging (Deneysel Bayesian kriging: EBK), mekânsal dağılımları tahmin etmek için kullanılan bir jeostatistiksel enterpolasyon yöntemidir. Ağırlıkları optimize etme ve mekânsal otokorelasyonu dahil etme yeteneği nedeniyle ordinary kriging ile birlikte en iyi enterpolasyon tekniklerinden biri olarak kabul edilir (Tesema ve Teshale, 2021). EBK ve diğer kriging yöntemleri arasındaki temel fark, semivariogramın ve ilgili hataların tahminini ele alma yöntemleridir. EBK, standart hataların daha doğru tahmin edilmesini sağlayan semivariogram modelinden ortaya çıkan hatayı dikkate alır (Krivoruchko, 2012). EBK'da, enterpolasyon işlemi sırasında tek bir semivariogram kullanmak yerine birden fazla semivariogram modeli hesaplanır (Agyeman ve ark., 2021). Bu yaklaşım, semivariogram tahminindeki belirsizliğin hesaba katılmasına yardımcı olur ve tahminlerin doğruluğunu artırır (Krivoruchko, 2012; Magno ve Budianta, 2022). Bu, özellikle verilerin sınırlı olduğu veya toprak özelliklerinde yüksek varyasyon mekânsal gösterdiği durumlarda, toprak özelliklerinin daha

doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlar (Đurđević ve ark., 2019). Genel olarak verilerin enterpolasyonu için tercih edilen tek bir yöntem bulunmamaktadır. Toprak özelliklerinin mekânsal değişkenliğini belirlemek için gerekli en iyi enterpolasyon yöntemi, farklı bölgelerde uyarlanan çeşitli karşılaştırmalı çalışmaların sonucu ile belirlenebilir (Zimmerman ve ark., 1999). Genel olarak, EBK, belirsizliği ele alma, çoklu semivariogram modellerini dahil etme, mekânsal otokorelasyona dayalı ağırlıkları optimize etme ve durağan olmayan verileri işleme yeteneği nedeniyle toprak özelliklerinin mekânsal tahmini için kullanılmalıdır. Bu özellikler EBK'yı, etkili toprak yönetimi ve ürün yetiştiriciliği için gerekli olan toprak özelliklerinin mekânsal dağılımını doğru bir şekilde tahmin etmek için güçlü bir araç haline getirmektedir (Tripathi ve ark., 2015). Bu çalışmanın amacı deterministik yöntemlerden araştırma alanımız için uygun olan LPI ile EBK'nın sayısal toprak haritalamadaki tahmin performanslarını karşılaştırmaktır. Bu araştırma, özellikle mekânsal toprak bilgisinin gerekli olduğu arazi yönetim uygulamalarına hızlı ve etkili bir biçimde katkı sağlaması açısından önem arz etmektedir.

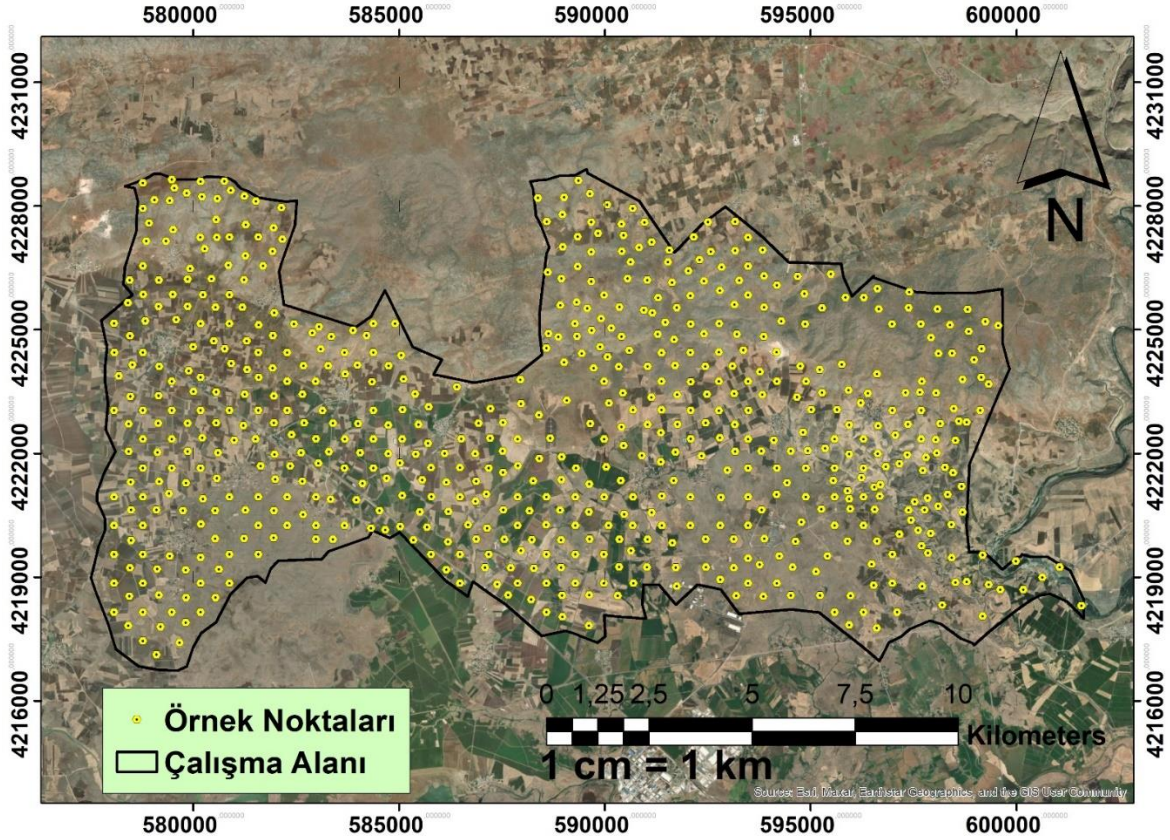
2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Türkiye'nin güneydoğusunda Diyarbakır'ın Ergani ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Örnekleme alanı Diyarbakır ilinin yaklaşık 26 km kuzey batısından başlayıp Ergani ilçesi ile Eğil ilçelerin köylerine kadar uzanmakta olup ortalama denizden yüksekliği 641 ile 970 m arasında değişmektedir. Yaklaşık 181.4 km² büyüklüğe sahip olan çalışma alanı 38° 4' - 38° 14' kuzey enlemleri ile 39° 54' - 40° 10' doğu boylamları arasındadır (Şekil 1). Örnekleme alanı, genel olarak düz bir arazi yapısına sahip olmakla birlikte, bazı bölgelerde eğim % 10'un üzerine çıkmaktadır. Eğimin % 10'un üzerinde olan bu alanlar kısmen kuru tarım ve kısmen de mera olarak kullanılmaktadır. Çalışma alanı

iklimi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin genel iklim özelliklerini taşımaktadır. Bölgede yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve yağışlı geçer. Ergani'de yıllık ortalama sıcaklık 15-16°C, yıllık ortalama yağış miktarı ise 700-800 mm civarındadır (Acar ve ark., 2018). Araştırma alanı toprakları, genellikle kireçtaşından oluşmuş ve killi-tınlı bünyededir. Ayrıca, bölgede volkanik kayalar da bulunmaktadır. Bu topraklar, tarım açısından oldukça verimlidir ve birçok tarım ürününün yetiştirilmesine olanak sağlar (Budak ve ark. 2018). Ergani depresyonu olarak tanımlanan çalışma alanı, kuzey doğu-

güney-batı yönünde dağların arasında yer almaktadır. Çalışma alanının kuzey-doğu ve güney-batı istikametinde Maden Dağı, Sakız Dağı, Abdulaziz Dağı yer alırken, güneyinde ise Hazartaş Dağları ve kuzey-doğusunda Dip Tepe yer almaktadır. Çalışma alanı, Kretase ve Paleosen'e ait kil, kumtaşı ve konglomeraların ardalanmasından oluşmuştur. Üzerlerine kirli sarı renkli Lütesiyen kireçtaşları yer almaktadır. Çalışma alanında yer yer aşınma sonucu oluşan yamaç molozu, Trias, Jura ve Kretase devirlerini belirleyen kumlu ve marnlı kırmızı renkli kireçtaşları da görülmektedir (İmamoğlu ve ark., 2014).



Şekil 1. Araştırma alanı ve örnekleme noktalarının coğrafi konumları

2.2. Toprak Örnekleme ve Laboratuvar analizleri

Toplam 18.143 ha araştırma alanının 15.934 ha'nı sulu ve kuru tarım arazileri ile çayır ve meralar oluştururken, 2.209 ha'nı yerleşim yeri, yol, dere, orman, kanal ve çıplak kayalıklar gibi yerler kaplamaktadır. Toprak örnekleri tarım arazileri ile çayır ve

meralardan alınmıştır. Izgara sistemine göre 750 m'lik grid aralıkları ve ayrıca 250 m aralıklarla uzaysal haritaların doğrulanması için kullanılmak üzere 0-30 cm derinlikten toprak burgusu ile toplam 622 adet örnek alınmıştır. El tipi GPS kullanılarak örnek noktalarının koordinatları belirlenmiştir. Toprak örnekleri hava kuru hale getiriliktten

sonra 2 mm'lik elekten elenerek katyon değişim kapasitesi analizine hazır hale getirilmiştir. Katyon değişim kapasitesi analizi sodyum asetat ve amonyum asetat çözeltileri ile iyon değiştirme metoduna göre gerçekleştirilmiştir (Summer ve Miller 1996). Hendershot ve ark. (1993)'e göre Elektriksel iletkenlik (EC) ve pH 1:2.5 toprak-su süspansiyonu metoduna göre ölçülmüştür. Toprakların kireç içeriği Allison ve Moodie, (1965)'e göre Scheibler Kalsimetre Metoduyla belirlenmiştir.

2.3. Mekânsal Dağılım Modelleri

Yerel polinom enterpolasyonu (LPI), seçilen bir bilinen nokta örneğini ve bilinmeyen değerleri tahmin etmek için bir polinom denklemini kullanan bir uzamsal enterpolasyon tekniğidir (Alcaras, 2020). Bitişik bir alandaki verileri tahmin etmek ve mevcut gözlem verileriyle bilinmeyen noktaları tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir (Xiao ve ark., 2016). LPI bir değişkenin bir alandaki mekânsal dağılımını tahmin etmek için her biri belirli örtüşen komşuluklar içinde birçok polinom uyarlar (Iorio ve ark., 2019). LPI'nin avantajı, verilerdeki yerel varyasyonları ve mekânsal heterojenliği yakalama yeteneğidir. Tüm veri setini kullanan global polinom enterpolasyonunun (GPI) aksine, LPI yalnızca belirli bir sektör içindeki bilinen noktaların seçilmiş bir örneğini kullanır (Alcaras, 2020). Bu, LPI'nin verilerin yerel özelliklerini daha iyi temsil etmesine ve karmaşık mekânsal modellere sahip alanlarda daha doğru tahminler üretmesine olanak tanır (Liao ve ark., 2018). LPI, özellikle mekânsal bağımlılık olduğunda veya veriler doğrusal olmayan eğilimler sergilediğinde kullanışlıdır (Rodrigues ve ark., 2018). Deneysel Bayesian Kriging (EBK), gözlemlenen verilere dayanarak gözlemlenmemiş konumlardaki değerleri tahmin etmek için kullanılan bir mekânsal enterpolasyon yöntemidir. Tahminlerin doğruluğunu artırmak için jeostatistiksel bir enterpolasyon yöntemi olan kriging ilkelerini Bayes istatistikleri ile birleştirir

(Giordano ve ark., 2017). EBK'da, gözlemlenen verilerden, veri noktaları arasındaki mekânsal korelasyonu tanımlayan bir semivariogram modeli tahmin edilir. Bu model daha sonra komşu veri noktalarından gelen bilgileri birleştirerek gözlemlenmemiş konumlardaki değerleri tahmin etmek için kullanılır. EBK'daki Bayesci yaklaşım, tahminlerin doğruluğunu artırabilecek verilerle ilgili ön bilgilerin veya uzman görüşlerinin dahil edilmesine izin verir. EBK'nın bir avantajı, semivariogram modelinin tahmini sırasında ortaya çıkan hatayı hesaba katma yeteneğidir. Bu, EBK'yı özellikle daha küçük örnek boyutlu veriler için diğer kriging yöntemlerinden daha doğru hale getirir. EBK ayrıca, enterpole edilen değerlerin belirsizliğini değerlendirmek için yararlı olabilecek standart tahmin hatalarının daha doğru ölçümlerini sağlar (Shabbir ve ark., 2022). Ek olarak, EBK'nın normal veya Gauss dağılımını takip eden ve geniş alanları kapsayan veri setleri için daha doğru tahminler ürettiği bilinmektedir (Giordano ve ark., 2017). Sunulan çalışmada ArcMap 10.8'in jeostatistik araç kutusu içerisinde yer alan LPI ve EBK modelleri ile toprak pH'sı, toprak kireç içeriği, toprak elektriksel iletkenliği ve toprak katyon değişim kapasitesi tahmini mekânsal dağılımlar gerçekleştirilmiştir. Veri kümesinde yer alan yaklaşık 622 adet örneklem noktasının %70'i eğitim, %30'u test olarak ayrılmıştır. Hata istatistikleri test veri kümesi kullanılarak hesaplanmıştır.

2.4. Doğruluk Değerlendirmesi

Farklı enterpolasyon yöntemlerinin performansını değerlendirmek için Isaaks ve Srivastava, (1988) tarafından tanımlanan üç doğrulama indeksi: Hata kareler ortalaması (Mean Squared Error - MSE) (Denklem 1), Hatanın mutlak ortalaması (Mean Absolute Error - MAE) (Denklem 2), Hata kareler ortalamasının karekökü (Root Mean Squared Error - RMSE) (Denklem 3) aşağıda denklemlere göre hesaplanmıştır.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(Z(x_i) - \hat{Z}(x_i))^2] \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)| \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(Z(x_i) - \hat{Z}(x_i))^2]} \quad (3)$$

Denklemlerde verilen $\hat{Z}(x_i)$ tahmini toprak özelliğidir, $Z(x_i)$ ölçülen toprak özelliğidir ve n ise validasyon için kullanılan örnek sayısıdır. Mekânsal enterpolasyon

modellerinin RMSE değerlerine göre karşılaştırmak amacıyla Denklem 4’de görülen Göreceli Gelişim (RI)’e Mishra ve ark. (2010)’ün önerdiği gibi hesaplanmıştır:

$$RI = \frac{RMSE_{int1} - RMSE_{int2}}{RMSE_{int}} \times 100\% \quad (4)$$

Burada $RMSE_{int}$ ve $RMSE_{int2}$ sırasıyla bu çalışma kapsamında ele alınan farklı enterpolasyon yöntemleridir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Tanımlayıcı istatistikler

Ergani Ovası’nın bazı toprak özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik değerleri Tablo 1’de görülmektedir. Yarı kurak iklime sahip Kahverengi, Kireçsiz Kahverengi ve Bazaltik üç farklı büyük toprak grubunun yer aldığı araştırma alanında, pH değerleri 7.06 ile 7.98 arasında değişmektedir. Ortalama pH değeri 7.63’tür. Standart sapma değeri 0.16’dır. Önceki çalışmalar, toprak pH’sını kontrol eden temel genetik faktörlerin sıcaklık ve yağış olduğunu (Dharumarajan ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2019), dinamik faktörlerin ise tarımsal uygulamalar olduğunu ortaya koymuştur (Liu ve ark., 2022; Günal ve

ark., 2021). Toprak pH’ı verilerinin çalışma alanında çarpıklık değeri -0.67’dir, bu da dağılımın hafifçe sola çekik olduğunu göstermektedir. Elektriksel iletkenlik (EC) en az 0.13 en fazla 1.26 dS m⁻¹ olarak bulunmuştur. EC değerleri için çarpıklık değeri 1.50’dir, bu dağılımın sağa doğru çekik olduğunu göstermektedir. Bir veri kümesinin göreceli değişkenliğini temsil eden istatistiksel bir ölçü olan Varyasyon Katsayısı (%), CaCO₃ ve KDK için sırasıyla % 98.93 ve % 76.95 olarak bulunmuştur. Budak ve ark. (2018), Dicle Havzasında CaCO₃ için bulmuş olduğu VK’ya (104.4%) değeri çalışma alanımızdakine benzerdir. Yarı kurak bir iklime ve üç farklı büyük toprak grubuna sahip araştırma alanının özel durumunda, kireç içeriğindeki farklılıklar ana materyaldeki farklılıklar, ayrışma süreçleri ve arazi kullanım geçmişi gibi faktörlere bağlanabilir (Sarı, 2019).

Tablo 1. Toprak özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikler

	pH	EC dS m ⁻¹	CaCO ₃ %	KDK me/100 g
En düşük	7.06	0.13	1.15	0.64
En Yüksek	7.98	1.26	35.45	86.24
Ortalama	7.63	0.45	5.74	21.84
Standart Sapma	0.16	0.18	5.67	16.81
VK	2.15	40.70	98.93	76.95
Çarpıklık	-0.67	1.50	2.90	1.23

3.2 Mesafeye Bağlı Değişimin Modellenmesi

Sunulan çalışma kapsamında yerel polinom interpolasyonu tekniğine ait model parametreleri Tablo 2’de görülmektedir. Örneklem noktalarının çevresindeki noktalara olan uzaklıkla birlikte, bir ağırlık faktörü hesaplamayan çekirdek fonksiyonu, tüm toprak özelliklerinde üssel olarak belirlenmiştir (Gribov ve Krivoruchko, 2011). Veri noktalarının tahmin için kullanılacağı maksimum mesafeyi belirten bandwidth değeri pH için 4.61 km, CaCO₃ için 3.16 km, EC için 3.01 km ve KDK için 3.12 km’dir. Bu değerler optimum bant

genişliğini ifade etmektedir zira bant genişliği arttıkça tahmin yanlılığı artar ve tahmin varyansı azalır (Zhang ve ark., 2008). Mekânsal koşul sayısı eşiği (Spatial condition number threshold) polinom katsayılarındaki küçük bir değişiklikte doğrusal denklemlerin çözümünün ne kadar yanlış olabileceğini gösteren değeri ifade etmektedir. Daha düşük bir çevresel koşul sayısı, daha iyi bir doğruluk ve kararlılık sağlar, ancak hesaplama süresini artırabilir (ESRI Inc., 2023). Spatial condition number threshold değeri pH, CaCO₃, EC ve KDK için sırasıyla 9.56, 13.77, 5.00 ve 5.17 olarak bulunmuştur.

Tablo 2. Yerel polinomal interpolasyon modeli parametreleri

	pH	CaCO ₃	EC	KDK
Kernel fonksiyonu	Üssel	Üssel	Üssel	Üssel
Güç	1	1	1	1
Bant Genişliği	4.61	3.16	3.01	3.12
Mekânsal koşul sayısı eşiği	9.56	13.77	5.00	5.17
Keşifsel Trend Yüzey Analizi	48	59	54	53

Bu çalışmada, ele alınan bir diğer mekânsal enterpolasyon modeli olan Deneysel Bayesyen Kriging’e (Deneysel Bayesian Kriging) ait optimum parametre değerleri Tablo 3’de görülmektedir. Toprak özellikleri (pH, CaCO₃, EC ve KDK) ve örneklem koordinatlarından oluşan girdi

veri setine uygulanan dönüşüm türü Deneysel olmuştur. Semivariogram model tipleri pH ve KDK için K-Bessel Eğrisizleştirilmiş (K-Bessel Detrended) iken CaCO₃ ve EC için Exponential Detrended olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Deneysel Bayesyen Kriging modeli optimum model parametreleri

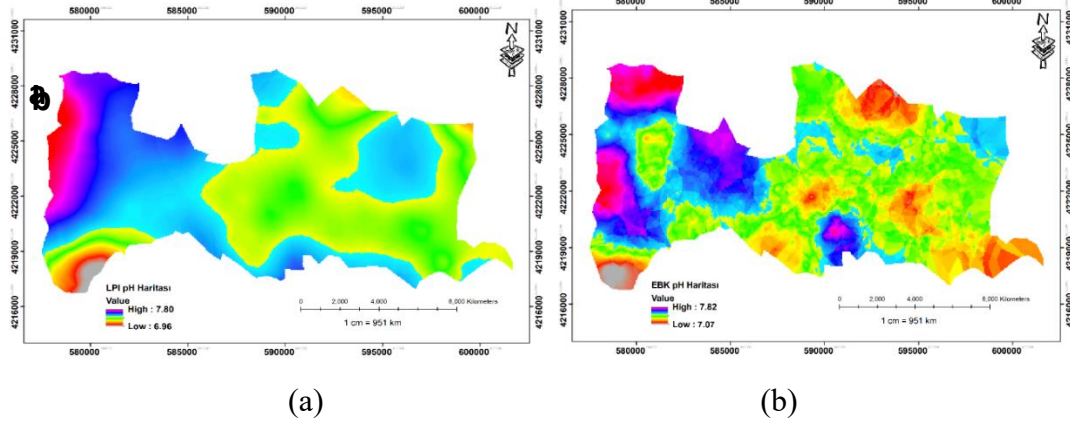
	pH	CaCO ₃	EC	KDK
Dönüşüm Türü	Deneysel	Deneysel	Deneysel	Deneysel
Semivariogram Model Tipi	K-Bessel Detrended	Exponential Detrended	Exponential Detrended	K-Bessel Detrended
Alt Küme Boyutu	100	100	100	100
Örtüşme Faktörü	1	1	1	1
Simülasyon Sayısı	100	100	100	100

Yerel polinom interpolasyonu tahmini pH haritası Şekil 2.a’da, Deneysel Bayesyen Kriging tahmini pH haritası Şekil 2.b’de görülmektedir. LPI pH haritasında değerler 6.96 ile 7.80 arasında değişiyor iken EBK pH haritasında 7.07 ile 7.82 arasında değişmektedir. EBK pH tahmin

haritasında piksel değerlerinin ortalaması 7.47 ve standart sapması 0.13’dür. LPI pH haritasında ise tahminlerin ortalaması 7.47 ve standart sapması 0.11’dir. Tahmin haritalarının varyasyon katsayıları EBK tahmin haritasında 1.74, LPI haritasında 1.47’dir. Her iki tahmin haritasında da

mekânsal varyasyon benzerdir. Her iki haritada da çalışma alanındaki pH değerlerinin, doğudan batıya gidildikçe arttığı görülmektedir. LPI yöntemi ile üretilen toprak pH'sı haritasında sınırlar

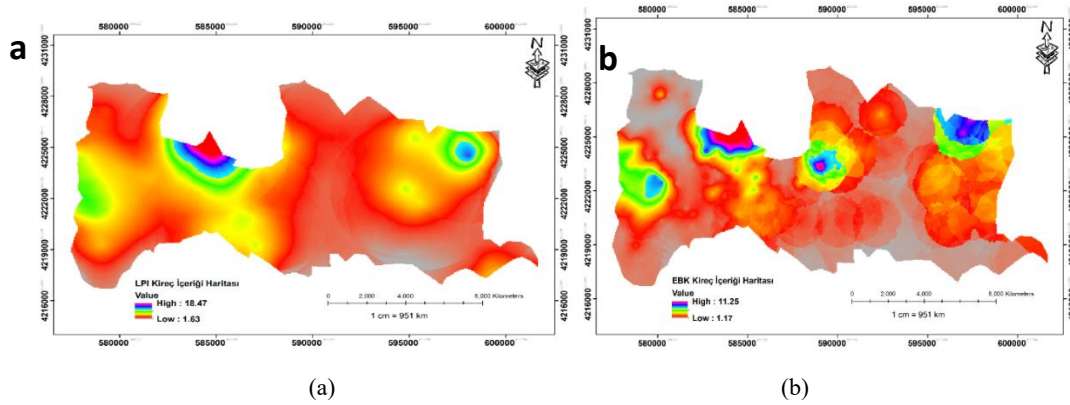
daha geniş ve geçişken iken EBK ile üretilen pH haritasında çok daha fazla sınıf olduğu ve daha yamalı bir dağılım olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Tahmini pH Haritaları

Deneyisel Bayesyen Kriging tahmin haritasında toprakların kireç içeriği % 1.17 ile % 11.25 arasında değişmektedir (Şekil 3a). Ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla % 1.65 ve % 1.87'dir. Tablo1'de kireç içeriğine ait varyasyon katsayısı 98.93 iken EBK tahmin haritasında % 113.3'dür. EBK ile üretilen kireç içeriği haritasındaki daha yamalı dağılım, LPI ile üretilen haritaya göre daha yüksek olan varyasyon katsayısını da açıklar niteliktedir. Bu sonuç, EBK'nın veri kümesindeki varyasyonu mekânsal tahmin haritasına yansıtma kabiliyeti olduğunu göstermektedir. LPI haritasında (Şekil 3b) tahmini kireç içeriğine ait ortalama ve standart sapma

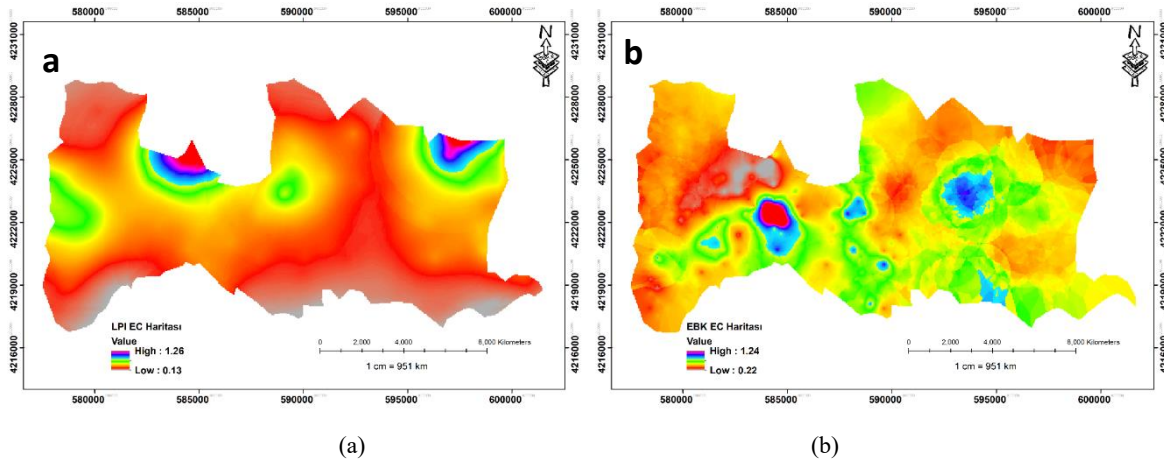
değerleri sırasıyla % 1.96 ve % 1.85'dir. Bu modelin tahmin sonuçlarına ait varyasyon katsayısı (% 94.38) laboratuvar analiz sonuçları ile elde edilen veri kümesine ait varyasyon katsayısına (% 98.93) oldukça benzerdir. Çalışma alanının çok büyük bir bölümünde nispeten daha düşük olan kireç içeriğinin çalışma alanının kuzey doğusu ve kuzey batısında lokal olarak alanın geri kalanına kıyasla daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Çalışma alanının özellikle de orta kesimlerinde kireç içeriğinin nispeten daha homojen olduğu her iki yöntemle üretilen kireç haritasında da görülmektedir (Şekil 3a ve 3b).



Şekil 3. Tahmini Kireç İçeriği Haritaları

Şekil 4.a'da LPI modeli ile elde edilen tahmini EC haritası, Şekil 4.b'de EBK modeli ile elde edilen tahmini EC haritası görülmektedir. Bu tahmin haritalarına ait ortalama değerler sırasıyla 1.69 dS m^{-1} ve 0.46 dS m^{-1} 'dir. Tanımlayıcı istatistikler göz önüne alındığında EBK model tahminleri ortalaması veri kümesi ortalamasına oldukça yakındır. Tahmin haritalarının histogram değerlerine bakıldığında LPI-EC ve EBK-EC haritalarının standart sapmaları sırasıyla 1.52 ve 0.08'dir. Varyasyon katsayıları

sırasıyla % 89.9 ve % 17.39 olarak veri kümesine ait varyasyon katsayısından (% 40.7) oldukça farklıdır. Elektriksel iletkenlik için her iki yöntemle de üretilen haritalar kireç içeriği için üretilen haritalara büyük oranda benzerlik göstermektedir. Alanın büyük bir kısmında oldukça düşük olan EC değerleri, kireç içeriğinde olduğu gibi çalışma alanının kuzey batısı ve kuzey doğusunda lokal olarak yüksek görünmektedir.



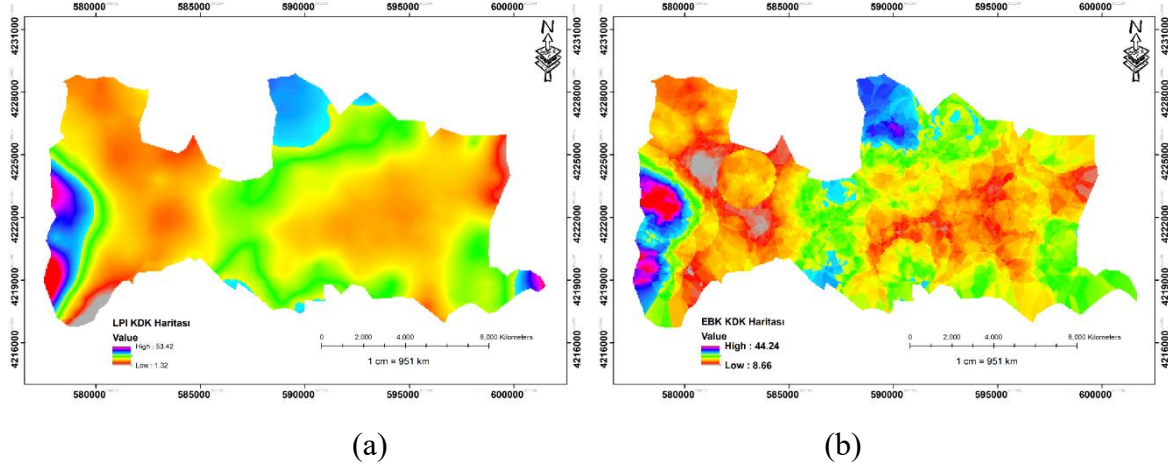
Şekil 4. Tahmini Elektriksel İletkenlik (EC) Haritaları

Kasyon Değişim Kapasitesi tahmin modellerine ait haritalar Şekil 5'de görülmektedir. LPI-KDK haritasına (Şekil 5a) ait tahmini KDK değerleri ortalaması ve standart sapma değerleri sırasıyla $21.07 \text{ me}/100 \text{ g}$ ve $5.22 \text{ me}/100 \text{ g}$ 'dir. EBK-KDK model haritasında (Şekil 5b) ise ortalama ve standart sapma $20.64 \text{ me}/100 \text{ g}$ ve $5.52 \text{ me}/100 \text{ g}$ 'dir. Her iki model tahmin sonuçlarına ait varyasyon katsayıları (LPI-KDK %24.7, EBK-KDK %26.7), KDK'nın örneklem değerlerine ait varyasyon katsayısından (%76.95) oldukça düşüktür. Bu sonuçlar, KDK tahmin modellerinin mekânsal varyasyonu yeterince yansıtmadığını göstermektedir. Her iki yöntemle oluşturulan KDK mekânsal dağılım haritalarında, KDK değerlerinin çalışma alanının batısına doğru gittikçe düzenli olarak arttığı görülmektedir. Diğer

toprak özelliklerinde olduğu gibi KDK'da da LPI yöntemi ile oluşturulan haritada daha az sayıda sınıf bulunurken, EBK ile oluşturulan haritada sınıf sayısı daha yüksektir. Toprakların KDK'si, tarım topraklarında haritalanması gereken en önemli toprak özelliklerinden biridir. Kasyon değişim kapasitesi, bir toprağın değiştirilebilir katyonlarla etkileşime girme ve bunları bağlama kapasitesinin bir ölçüsüdür. Aynı zamanda, KDK verimlilik, asitlik ve yapı gibi toprak özellikleri üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir ve toprağın kimyasalları depolama ve filtreleme kabiliyetinin yanı sıra kimyasal özellikleri değişikliklere karşı tamponlama kabiliyetini de etkilemektedir (Charman ve Murphy, 2007). Bu gösterge özellikleri dikkate alındığında, çalışma alanında kırmızı renkle gösterilen ve özellikle her iki

haritada da orta bölümde yer alan arazilerin düşük olan KDK değerleri, bu bölgelerin

verimlilik potansiyelinin de nispeten düşük olabileceğini göstermektedir.



Şekil 5. Tahmini Katyon Değişim Kapasitesi (KDK) Haritaları

3.4. Doğruluk Değerlendirmesi

EBK ve LPI modellerinin doğruluk değerlendirmesine olanak tanıyan hata istatistikleri Tablo 4’de görülmektedir. Toprak pH’sı RMSE değeri LPI’de 0.115 ve EBK’da 0.104 olarak bulunmuştur. EBK modeli %9.5 oranında LPI’ya göre göreceli doğruluk göstermiştir. Wimalasiri ve ark. (2020), diğer enterpolasyon yöntemlerine kıyasla en düşük RMSE değerlerini sağlaması nedeniyle Sri Lanka’da toprak pH’ı için en başarılı modelin EBK olduğunu bildirmiştir. Söz konusu araştırmada EBK-pH modelinin RMSE değeri 0-5 cm, 5-15 cm ve 15-30 cm derinlik kademesinde sırasıyla 0.770, 0.756 ve 0.848’dir. Yazarlar, Sri Lanka’da toprak pH’ı için en başarılı model olarak EBK olma nedeninin, veri setinin seyrek doğasını hesaba katma ve toprak özelliklerinin heterojenliğini ele alma yeteneğine bağlamışlardır. Araştırmamızda, EBK-RMSE değeri 0.104 (Tablo 4) olarak bu araştırmaya uyumlu bulunmuştur. Zira, veri setimizde örneklem sıklığı yüksek olduğundan dolayı EBK-RMSE değeri daha düşük bir değer almıştır. Toprak elektriksel iletkenliğinin mekânsal dağılımını belirlemek için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Sonuçlara göre, EBK yönteminin daha iyi bir performans

sergilediği EBK-RMSE değerinin 0.166 dS m⁻¹ olmasıyla ve LPI-RMSE’ değerine göre %78.8’lik azalma görülmektedir (Tablo 4). Huang ve ark. (2019), Ningxia Hui Özerk Bölgesi, Çin’in Kuzeybatısı’nda Alüvyon yataklarında gelişen toprak solonetz olarak sınıflandırılan ve geniş bir alanda yüksek oranda tuzlu-sodik topraklarda 0-30 cm toprak derinliğinde Ordinary Kriging-EC modelinde RMSE değerini 0.630 dS m⁻¹, Geri Yayılım Yapay Sinir Ağı-RMSE değerini 0.562 dS m⁻¹ olarak bildirmişlerdir. Yüzey toprağı özellikleri arazi yönetimi uygulamalarından oldukça fazla etkilenmektedir (Moore ve ark., 1993). Bu durum, üst toprakta EC’nin ekim ve sulama gibi karmaşık antropojenik faaliyetlerle mekânsal varyasyonuna önemli ölçüde katkıda bulunur (Akramkhanov ve ark., 2011). Yerel polinom interpolasyonunun mekânsal varyasyonu temsil etmede etkili olmasının bir nedeni, yerel minimumları veya maksimumları kontrol etme ve interpolasyonu buna göre ayarlama yeteneğidir. Bu uyarlanabilir yapı, enterpolasyon fonksiyonunun verilerdeki yerel özellikleri ve varyasyonları doğru bir şekilde yakalamasını sağlamaktadır (Bradshaw ve Cargill, 2013). Ayrıca, yerel polinom enterpolasyonu, yüksek dereceli

lokal polinomal denklemlerle karmaşık mekânsal örüntüleri yakalayabilir ve mekânsal varyasyonun daha doğru temsillerini sağlayabilir (Ricchiuto ve Filippini, 2014). Bu bağlamda, Huang ve ark. (2019)'ın çalışmalarına benzer olarak EC-LPI'de mekânsal varyasyonu temsil edebilmiştir ancak RMSE değeri 0.783 olarak bulunmuştur. Öte yandan, EBK-EC modelinde RMSE değeri 0.166 bulunmasına rağmen mekânsal varyasyonu yeterince temsil edememiştir. LPI ve EBK modelleri ile KDK'nın mekânsal interpolasyonuna ait hata istatistikleri Tablo 4'de görülmektedir. EBK-KDK modeli RMSE değerine göre %25.6 bir gelişim göstermektedir. KDK için LPI-RMSE ve EBK-RMSE değerleri ise sırasıyla 3.218 me/100 g ve 2.395 me/100 g olarak hesaplanmıştır. Selmy ve ark. (2022), Mısır'ın batısında yer alan Dakhla'da KDK'nın mekânsal tahminini yaptıkları

çalışmada Ordinary Kriging (OK) varyasyon katsayısını ve RMSE değerini sırasıyla %56.3 ve 2.26 me/100 g olarak bildirmişlerdir. EBK'nın OK'a göre başarılı tahminde bulunmasının nedenlerinden biri, EBK'nın nominal değerleri dikkate alan ve standart hataya göre kalibrasyonu sağlanmış yapay yarı-varyogram arasından en başarılısını seçmiş olmasıdır (Berrocal ve ark., 2010). Bir diğeri ise EBK, yarı-varyogram modelinin tahmin edilmesiyle ortaya çıkan ek hatayı hesaba katma kabiliyetidir. Bu, özellikle daha küçük örneklem boyutlu veriler için standart tahmin hatalarının daha doğru ölçülmesini sağlamaktadır (Shabbir ve ark., 2022). Bu sonuçlara göre araştırmamızda kullanılan K-Bessel Eğrisizleştirilmiş (K-Bessel Detrended) yarı-varyogram EBK modelinin Selmy ve ark. (2022)'ın dairesel OK modeline göre daha doğru tahmin sonucuna sahip olduğu söylenebilir.

Tablo 4. LPI ve EBK modellerinin tahmin performanslarını gösteren hata istatistikleri

	LPI			RI %	EBK			RI %
	MSE	MAE	RMSE		MSE	MAE	RMSE	
pH	0.013	0.094	0.115		0.011	0.084	0.104	9.5
CaCO₃	2.772	1.143	1.665	28.4	4.570	1.382	2.138	
EC	0.616	0.646	0.783		0.028	0.111	0.166	78.8
KDK	3.696	2.495	3.218		3.737	1.691	2.395	25.6

4. Sonuç

Bu araştırma, Deneysel Bayesyen Kriging (EBK) ve Lokal Polinomal Interpolasyon (LPI) yöntemlerini kullanarak bazı toprak özelliklerinin mekânsal dağılımının tahmin edilmesi üzerine odaklanmıştır. Araştırma kapsamında, Türkiye'nin güneydoğusunda Diyarbakır'ın Ergani ilçesi sınırları içerisinde toprak pH değeri, CaCO₃ içeriği, elektriksel iletkenlik ve katyon değişim kapasitesi için mekânsal tahminler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlarımız, her iki yöntemin de toprak özelliklerinin tahmininde başarılı olduğunu göstermektedir. EBK, nominal değerleri dikkate alan ve standart hataya göre

kalibrasyonu sağlanmış yapay yarı-varyogram kullanmak suretiyle pH, EC ve KDK için daha doğru sonuçlar elde etmiştir. Bu yöntem, pH, EC ve KDK toprak özelliklerinde RMSE değerleri dikkate alınarak %9.5 ile %78.8 arasında göreceli bir başarı göstermiştir. Sonuç olarak, EBK yöntemiyle elde edilen tahminler, LPI yöntemine kıyasla daha düşük hata değerlerine sahiptir. Öte yandan, LPI yöntemi ile üretilen sayısal toprak haritaları, laboratuvar analizleri sonucunda elde edilen örneklem veri kümesine ait varyasyon katsayısına daha uyumludur. Bu sonuçlar, LPI'nin her bir nokta için yerel bir polinom oluşturarak tahmin yapan doğasının neticesinde elde edilmiştir. Ayrıca, yerel

polinomlar, noktaların çevresindeki veri yoğunluğunu ve varyasyonlarını dikkate alması EC gibi maksimum değeri arazi yönetiminde sorun oluşturacak toprak özelliklerinin mekânsal tahmininde faydalı olacağı düşünülmektedir.

Yazarların Katkı Beyanı

Verilerin derlenmesi ve makalenin yazımı Osman Abakay tarafından yazılmıştır. Modelleme, haritaların hazırlanması ve makalenin yazımı Hikmet Günal tarafından yazılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

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

Finansman

Bu çalışmada kullanılan veriler, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 10. Bölge Müdürlüğü Arazi Toplulaştırma ve Tarla İçi Geliştirme Hizmetleri Şube Müdürlüğünden temin edilmiştir. Verilerin kullanımı için yasal izin alınmıştır.

Açıklama

Bu çalışma ilk yazarın (Osman Abakay) yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- Acar, S., Kazankaya, A., Doğan, A., 2018. Selection of almonds (*P. amygdalus* L.) naturally grown in Eğil and Ergani Towns in Diyarbakır Province. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences* 28: 448–457.
- Agyeman, P.C., John, K., Kebonye, N.M., Borůvka, L., Vašát, R., Drábek, O., 2021. A geostatistical approach to estimating source apportionment in urban and peri-urban soils using the Czech Republic as an example. *Scientific Reports*, 11.
- Ahmed, M., El-Desoky, M., Gameh, M., Ahmed, E., Selmy, S., 2022. Soil Suitability Assessment for Twenty Crops in East Edfu Soils, Aswan. *Assiut Journal of Agricultural Sciences* 53: 203–223.

- Akramkhanov, A., Martius, C., Park, S.J., Hendrickx, J.M.H., 2011. Environmental factors of spatial distribution of soil salinity on flat irrigated terrain. *Geoderma* 163: 55–62.
- Alcaras, E., 2020. Interpolating single-beam data for sea bottom GIS modelling. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research* 8: 591–597.
- Allison, L.E., Moodie, C.D., 1965. Carbonate. *Methods of Soil Analysis, Agronomy Monographs*.
- Attorre, F., Alfo, M., De Sanctis, M., Francesconi, F., Bruno, F., 2007. Comparison of interpolation methods for mapping climatic and bioclimatic variables at regional scale. *International Journal of Climatology* 27: 1825–1843.
- Bayona, V., Flyer, N., Fornberg, B., Barnett, G.A., 2017. On the role of polynomials in RBF-FD approximations: II. Numerical solution of elliptic PDEs. *Journal of Computational Physics* 332: 257–273.
- Berrocal, V.J., Gelfand, A.E., Holland, D.M., 2010. A spatio-temporal downscaler for output from numerical models. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 15: 176–197.
- Bradshaw, S.J., Cargill, P.J., 2013. The influence of numerical resolution on coronal density in hydrodynamic models of impulsive heating. *Astrophysical Journal* 770.
- Budak, M., Günal, E., Kılıç, M., Çelik, İ., Sırrı, M., Acir, N., 2023. Improvement of spatial estimation for soil organic carbon stocks in Yuksekova plain using Sentinel 2 imagery and gradient descent–boosted regression tree. *Environmental Science and Pollution Research* 30: 53253–53274.

- Budak, M., Günal, H., Çelik, İ., Acir, N., Sırrı, M., 2018. Dicle havzası toprak özelliklerinin yersel değişimlerinin jeostatistik ve coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi ve haritalanması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*. 5(2): 103-115.
- Charman, P.E., Murphy, B.W.. 2007. Soils: Their properties and management. Oxford University Press, New York, NY
- Dharumarajan, S., Hegde, R., Singh, S. K. 2017. Spatial prediction of major soil properties using Random Forest techniques-A case study in semi-arid tropics of South India. *Geoderma Regional*, 10: 154-162.
- Đurđević, B., Jug, I., Jug, D., Bogunović, I., Vukadinović, V., Stipešević, B., Brozović, B., 2019. Spatial variability of soil organic matter content in Eastern Croatia assessed using different interpolation methods. *International Agrophysics* 33: 31–39.
- ESRI Inc., 2023. Local Polynomial Interpolation (Geostatistical Analyst) [www Document]. URL <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/geostatistical-analyst/local-polynomial-interpolation.htm> /Erişim Tarihi: 10.04.2023)
- Giordano, B. V., Kaur, S., Hunter, F.F., 2017. West Nile virus in Ontario, Canada: A twelve-year analysis of human case prevalence, mosquito surveillance, and climate data. *PLoS ONE*, 12.
- Gribov, A., Krivoruchko, K., 2011. Local polynomials for data detrending and interpolation in the presence of barriers. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 25: 1057–1063.
- Goovaerts, P., 1999. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, 89(1-2): 1-45.
- Goovaerts, P., 2001. Geostatistical modelling of uncertainty in soil science. *Geoderma*, 103(1-2): 3-26.
- Güenal, H., Miraç Kılıç, Mesut Altındal, recep Gündoğan. 2021. Rapid spatial estimation of soil ph using machine learning under limited covariate conditions. *Levantine Journal of Applied Sciences*, 1(1): 30-37.
- İmamoğlu, M., Kavak, O., Kaya, M. 2014. Diyarbakır ili Ergani ilçesi ve çevresinin jeolojik özellikleri. Editörler: Güzel, C., Haspolat K. Tüm Yönleriyle Diyarbakır Ergani İlçesi ve Turizm. Amaç Matbaacılık, ss.258-330.
- Hu, C., Wright, A., Lian, G., 2019. Estimating the spatial distribution of soil properties using environmental variables at a catchment scale in the loess hilly area, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16: 491.
- Huang, Yajie, Li, Z., Ye, H., Zhang, S., Zhuo, Z., Xing, A., Huang, Yuanfang, 2019. Mapping soil electrical conductivity using ordinary kriging combined with back-propagation network. *Chinese Geographical Science* 29: 270–282.
- Hussain, Azfar, Ali, H., Begum, F., Hussain, Azhar, Khan, M.Z., Guan, Y., Zhou, J., Saif-Ud-din, Hussain, K., 2021. Mapping of soil properties under different land uses in Lesser Karakoram range, Pakistan. *Polish Journal of Environmental Studies* 30: 1181–1189.
- Iorio, D. Di, Walter, M., Lantinga, E., Kerckhoffs, H., Campbell, R.E., 2019. Mapping European canker spatial pattern and disease progression in apples using GIS, Tasman, New Zealand. *New Zealand Plant Protection*, 72: 176–184.
- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M., 1988. Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical Geology*, 20: 313–341.
- Krivoruchko, K., 2012. Deneysel Bayesian Kriging, ESRI Press.
- Liao, Y., Li, D., Zhang, N., 2018. Comparison of interpolation models for estimating heavy metals in soils under various spatial characteristics and sampling methods. *Transactions in GIS* 22: 409–434.

- Liu Q., Sun X., Wu W., Liu Z., Fang G., Yang, P., 2022. Agroecosystem services: A review of concepts, indicators, assessment methods and future research perspectives. *Ecological Indicators*, 142:109218.
- Luo, W., Taylor, M.C., Parker, S.R., 2008. A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England and Wales. *International Journal of Climatology*, 28: 947–959.
- Magno, J.L., Budianta, W., 2022. Spatial distribution and pattern of heavy metals in urban soils of Yogyakarta, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1071: 012032.
- Summers M.E., Miller, W.P., 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. In. *Methods of soil analysis*. SSSSA Book Series 5: 1201-1229.
- Mishra, U., Lal, R., Liu, D., Van Meirvenne, M., 2010. Predicting the Spatial variation of the soil organic carbon pool at a regional scale. *Soil Science Society of America Journal*, 74: 906–914.
- Moore, I.D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A., Peterson, G.A., 1993. Soil Attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal* 57: 443–452.
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J., Polasky, S., Tallis, H., Cameron, D.R., Chan, K.M.A., Daily, G.C., Goldstein, J., Kareiva, P.M., Lonsdorf, E., Naidoo, R., Ricketts, T.H., Shaw, M.R., 2009. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7: 4–11.
- Polasky, S., Nelson, E., Pennington, D., Johnson, K.A., 2011. The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: A case study in the state of Minnesota. *Environmental and Resource Economics*, 48: 219–242.
- Ricchiuto, M., Filippini, A.G., 2014. Upwind residual discretization of enhanced Boussinesq equations for wave propagation over complex bathymetries. *Journal of Computational Physics*, 271: 306–341.
- Rodrigues, M.S., Alves, D.C., De Souza, V.C., De Melo, A.C., Lima, A.M.N., Cunha, J.C., 2018. Spatial interpolation techniques for site-specific irrigation management in a mango orchard. *Comunicata Scientiae* 9: 93–101.
- Sari, H., 2019. Geostatistical Assessments for characteristics of soils around naip dam. *International Journal of Scientific Research and Management* 7.
- Selmy, S., El-Aziz, S.A., El-Desoky, A., El-Sayed, M., 2022. Characterizing, predicting, and mapping of soil spatial variability in Gharb El-Mawhoub area of Dakhla Oasis using geostatistics and GIS approaches. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21: 383–396.
- Sevilla, R., Fernández-Méndez, S., Huerta, A., 2008. NURBS-enhanced finite element method (NEFEM). *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 76: 56–83.
- Shabbir, W., Omer, T., Pilz, J., 2022. The impact of environmental change on landslides, fatal landslides, and their triggers in Pakistan (2003–2019). *Environmental Science and Pollution Research*.
- Szymanowski, M., Kryza, M., 2009. GIS-based techniques for urban heat island spatialization. *Climate Research*, 38: 171–187.
- Tesema, G.A., Teshale, A.B., 2021. Residential inequality and spatial patterns of infant mortality in Ethiopia: evidence from Ethiopian Demographic and Health Surveys. *Tropical Medicine and Health*, 49.

- Tripathi, R., Nayak, A.K., Shahid, M., Raja, R., Panda, B.B., Mohanty, S., Kumar, A., Lal, B., Gautam, P., Sahoo, R.N., 2015. Characterizing spatial variability of soil properties in salt affected coastal India using geostatistics and kriging. *Arabian Journal of Geosciences*, 8: 10693–10703.
- Wimalasiri, E.M., Jahanshiri, E., Suhairi, T., Mapa, R.B., Karunaratne, A.S., Vidhanarachchi, L.P., Udayangani, H., Nizar, N.M.M., Azam-Ali, S.N., 2020. The first version of nation-wide open 3D soil database for Sri Lanka. *Data in Brief* 33: 106342.
- Xiao, Y., Gu, X., Yin, S., Shao, J., Cui, Y., Zhang, Q., Niu, Y., 2016. Geostatistical interpolation model selection based on ArcGIS and spatio-temporal variability analysis of groundwater level in piedmont plains, northwest China. *SpringerPlus* 5.
- Yang, Q., Luo, W., Jiang, Z., Li, W., Yuan, D., 2016. Improve the prediction of soil bulk density by cokriging with predicted soil water content as auxiliary variable. *Journal of Soils and Sediments* 16: 77–84.
- Zhang, Z.G., Chan, S.C., Ho, K.L., Ho, K.C., 2008. On bandwidth selection in local polynomial regression analysis and its application to multi-resolution analysis of non-uniform data. *Journal of Signal Processing Systems* 52: 263–280.
- Zhuo, Z., Xing, A., Li, Y., Huang, Y., Nie, C., 2019. Spatio-temporal variability and the factors influencing soil-available heavy metal micronutrients in different agricultural sub-catchments. *Sustainability (Switzerland)* 11.
- Zimmerman, D., Pavlik, C., Ruggles, A., Armstrong, M.P. 1999. An experimental comparison of ordinary and universal kriging and inverse distance weighting. *Mathematical Geology*, 31: 375-390.

Atıf Şekli: Akabay, O., Günal, H., 2023. Ergani Ovasında Bazı Toprak Özelliklerinin Mekânsal Dağılımlarının Belirlenmesinde Lokal Polinomal Interpolasyon ve Deneysel Bayesyen Kriging Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 8(4): 654-668.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8396228>.

To Cite: Akabay, O., Günal, H., 2023. A Comparison of Local Polynomial Interpolation and Experimental Bayesian Kriging Methods in Determining the Spatial Distribution of Some Soil Properties in Ergani Plain. *MAS Journal of Applied Sciences*, 8(4): 654-668.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8396228>.
