



## Arazi toplulaştırma projelerinde kullanılan toprak indeks değerlerinin alansal dağılımının farklı enterpolasyon yöntemleri ile değerlendirilmesi

Eyüp UZUNAL, Hakan ARSLAN\*

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Samsun

### Öz

Toprak haritaları, sürdürülebilir tarım, arazi yönetimi ve arazi toplulaştırmalarının planlanmasında çok önemli yer tutmaktadır. Bu nedenle toprak özelliklerinin alansal dağılımlarının en az hata ile yapılması projenin başarısı için çok önemlidir. Bu haritaların oluşturulmasında farklı enterpolasyon yöntemleri (IDW, Kriging, RBF vb.) kullanılmaktadır. Enterpolasyon yöntemleri, toplulaştırma sürecinde toprak sınıflarının belirlenmesi ve sınırların doğru çizilmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışmada Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Konya ili Altınekin ilçesi 1. Kısım Arazi Toplulaştırma ve TİGH Projesi kapsamında, 24.911 hektarlık alanda 1318 noktadan elde edilen toprak verileri kullanılmış ve bu verilerden arazi toplulaştırma da çok önemli bir aşama olan toprak indeks değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada hesaplanmış olan toprak indeks değerlerinin alansal dağılım haritaları IDW, RBF ve Kriging enterpolasyon yöntemlerine ait toplam 12 farklı yöntem ile hazırlanmış ve en iyi enterpolasyon yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Yöntemlerin karşılaştırılmasında RMSE değerleri kullanılmıştır. Yapılan analizlerde, IDW-3 yöntemi 12.399 ile en düşük RMSE değerine sahip olarak belirlenmiş ve çalışma için en uygun yöntem olarak öne çıkmıştır. Yöntemlere göre alansal dağılım arasında çok büyük farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Bu durum alan bazlı çalışmalarda seçilen enterpolasyon yönteminin önemini ortaya koymuştur. Arazi toplulaştırma çalışmalarının toprak etüt ve haritalama aşamalarında klasik değerlendirme yerine enterpolasyon yöntemlerine göre yapılan haritaların kullanılması arazi toplulaştırma çalışmalarının başarısına önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Coğrafi bilgi sistemleri, enterpolasyon yöntemleri, storie indeks, arazi toplulaştırması

## Evaluation of the spatial distribution of soil index values used in land consolidation projects with different interpolation methods

### Abstract

Soil maps play a crucial role in the planning of sustainable agriculture, land management, and land consolidation. Therefore, accurately mapping the spatial distribution of soil properties is vital for the success of the project. Different interpolation methods (IDW, Kriging, RBF, etc.) are used to create these maps. Interpolation methods allow for the identification of soil classes and the accurate delineation of boundaries during the consolidation process. In this study, soil data obtained from 1,318 borehole points in an area of 24,911 hectares within the scope of the 1st Phase Land Consolidation and TİGH Project in the Altınekin district of Konya province, conducted by the General Directorate of State Hydraulic Works, were used. A total of 12 methods of IDW, RBF, and Kriging interpolation techniques were compared in the research, and the best interpolation method was sought. RMSE values were used for the comparison of the methods. In the geostatistical analysis performed, the IDW-3 method, with an RMSE value of 12.399, was identified as having the lowest RMSE and emerged as the most suitable method for the study. This result emphasizes the effectiveness of interpolation techniques in soil mapping and consolidation processes, as well as the importance of project-based method selection.

**Keywords:** Geographic information systems, interpolation methods, storie index, land consolidation

© 2025 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

\* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (533) 352 3120

E-posta : [hakan.arslan@omu.edu.tr](mailto:hakan.arslan@omu.edu.tr)

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 20 Mayıs 2025

Kabul Tarihi : 03 Haziran 2025

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbbd.1702744

## Giriş

Toprak; tarımsal üretim, ekosistem dengeleri ve insan faaliyetlerinin sürdürülebilirliği açısından kritik bir doğal kaynaktır. Tarım, ormancılık, kentsel planlama ve altyapı projeleri gibi multidisipliner alanlarda etkin arazi yönetimi için toprak özelliklerinin mekansal dağılımının haritalanması gereklidir (Aydın ve Dengiz, 2020). Özellikle tarımsal verimlilik hedefleri ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki dengenin sağlanması, örneklenmeyen bölgelerdeki toprak parametrelerinin doğru tahminine bağlıdır. Ancak, yüksek girdi kullanımına dayalı geleneksel tarım uygulamaları, toprak degradasyonu ve verim kayıplarına yol açabilmekte ve bu nedenle de bilimsel temelli arazi değerlendirme çalışmalarına duyulan ihtiyaç artmaktadır (Dengiz, 2011).

Arazi değerlendirme çalışmaları öncelikle tarımsal üretimin planlandığı alanın toprak haritasının çıkarılması ile başlamaktadır. Toprak haritaları, doğal kaynakların verimli kullanılması, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve ekonomik kalkınma açısından vazgeçilmez bir araçtır. Bu haritaların hazırlanması ve etkin kullanımı hem günümüz hem de gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılamada önemli bir rol oynamaktadır (Özden, 2002). Toprakların doğru bir şekilde değerlendirilmesi, toprak haritalarının oluşturulması ve güncel tutulması toplumların kalkınma hedeflerine ulaşması için stratejik bir öncelik olarak ele alınmalıdır (Alaboz ve ark., 2020). Ülkemiz toprakları hakkında ayrıntılı ve güncel bilgileri içeren detaylı toprak etüt ve haritalarının yeter derecede olmayışı tarımsal üretim açısından en önemli sorunların başında gelmektedir (Bayramın ve ark., 2013).

Toprak özellikleri, yeraltı suyu kalite özellikleri veya iklim parametreleri gibi birçok veri noktasal olarak elde edilmektedir. Bu verilerin alansal dağılımlarının yapılmasında, örnek noktaları arasında basit ortalamaların alınmasının yeterli olmayacağı kesindir. Örnek noktaları arasındaki değişimleri dikkate alarak uygun bir enterpolasyon yönteminin belirlenmesi gerekmektedir. Günümüzde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak yapılan uygulamalarda koordinatları bilinen noktalardan toplanan, yani noktasal olarak referanslandırılmış, verinin alansal olarak ifade edilmesi için mekansal enterpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Buradaki temel konu, mevcut veriler için en uygun enterpolasyon yönteminin seçilmesidir (Burrough ve McDonnell, 1998). Noktasal verilerinden konumsal dağılım özelliği gösteren verilerin elde edilmesinde günümüzde ki gelişmelere paralel olarak CBS uygulamaları sıklıkla kullanılmaya başlanılmıştır. Toprak özelliklerin alansal dağılımları ile ilgili yapılan birçok çalışmada enterpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Abdulmanov ve ark., 2021; Fu ve ark., 2021; Shahinzadeh ve ark. 2022). Toprak haritaları bitki besin elementi içeriği dağılımları, eğim, bakı vb. gibi toprak özelliklerinde çeşitli amaçlar için yapılabilmektedir. Bu haritaların GIS (ArcGIS, QGIS vb.) programları vasıtasıyla alansal dağılımlarını belirlemek için jeostatistiksel hesaplamalar yapılması gerekmektedir. Bu hesaplamalar çok kısa mesafelerde dahi büyük değişimler gösterebilecek toprak parametresine ait verilerin değerlendirilmesinin, bazı istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılmasının önemini göstermektedir. Haritalar yapılırken en uygun enterpolasyon yönteminin belirlenmesi aşamasında farklı değerlendirme kriterleri kullanılabilmektedir. Bu yöntemlerin en çok kullanılanı Hataların Karesinin Ortalamasının Karekökü (RMSE) yöntemidir (Heuvelink, 2006).

Uyan (2016)'da yapmış olduğu bir çalışmada Konya'da yapılan bir arazi toplulaştırması alanındaki toprak indeksinin jeostatistiksel yöntemler kullanılarak alansal dağılım haritalarını hazırlamış ve sonuçları klasik değerlendirme yöntemleri ile karşılaştırmıştır. Çalışmada 109 noktadan örnekleme yapılmış ve her bir noktanın toprak indeksi değerleri hesaplanmıştır. Ordinary kriging yönteminin altı farklı modeli ile haritalamalar yapılmış ve en iyi yöntemin belirlenmesinde RMSE değeri kullanılmıştır. Çalışmada örnek parseller için Kriging yöntemleri hazırlanan haritalardaki toprak indeksi ile klasik yöntem ile hazırlanan toprak indeksleri karşılaştırılmış ve kriging yöntemlerinin daha doğru sonuç verdiği belirlenmiştir. Kravchenko ve Bullock (1999) yaptıkları çalışmalarında, toprak özelliklerinin haritalanması için optimal enterpolasyon yöntemini belirlemek üzere Ters Mesafe Ağırlıklandırması (IDW), Sıradan Kriging (KO) ve Log-Normal Sıradan Kriging (Kolog) yöntemlerini değerlendirmişlerdir. Verilerin istatistiksel özellikleri ile yöntemlerin performansı arasındaki ilişkiler, otuz farklı tarım arazisinden elde edilen toprak test P ve K verileri kullanılarak analiz etmişlerdir. IDW ağırlıklandırması için 1, 2, 3 ve 4'üncü derece üs değerleri kullanılmıştır. Üç yöntem için de en yakın komşu nokta sayısı 5 ile 30 arasında değişmiştir. Sonuçlar, Kolog'un log-normal dağılımlı verilerde KO'ya kıyasla tahmin hassasiyetini artırabileceğini göstermişlerdir. Deneyisel veriler ile kriging tahminleri arasındaki korelasyon katsayıları, toplam 60 veri setinin 57'sinde InvD'den daha yüksek çıkmıştır; kriging mutlak hataları kırk dört veri setinde daha düşük ve kriging ortalama hataları otuz bir veri setinde IDW'den daha düşük bulunmuştur.

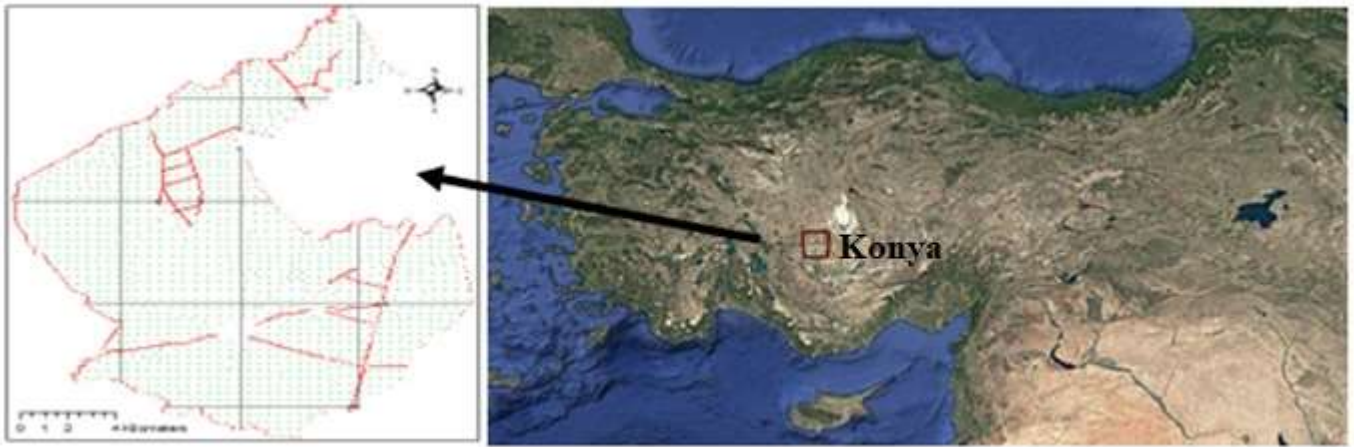
Türkiye'de arazi toplulaştırma projeleri, 1984 tarihli 3083 sayılı Sulak Alanlarda Arazi Düzenlemesine İlişkin Kanun'a uygun olarak Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir. Bu kanun, sulak alanların korunması, sürdürülebilir kullanımı ve tarımsal verimliliğin artırılması amacıyla arazi düzenlemelerini kapsamaktadır. Bu süreçte, toprak haritalarının oluşturulmasında Storie İndeksi yöntemi kullanılmaktadır. Storie İndeksi, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu indeks, toprakların verimliliği, su tutma kapasitesi, drenaj durumu ve diğer özellikleri hakkında detaylı bilgiler sunarak, sulak alanların en uygun şekilde değerlendirilmesine olanak tanır.

Bu çalışmada, arazi toplulaştırma projelerinde önemli bir yer tutan toprak indeksi değerlerinin alansal dağılımlarının coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak yapılması ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır..

## Materyal ve Yöntem

### Çalışma Alanı Konumsal Durumu

Bu çalışma, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Konya İli Altınekin İlçesi 1. Kısım Arazi Toplulaştırma ve Tarımsal Altyapıyı Geliştirme Projesi (TİGH) kapsamındaki sahayı ele almaktadır. Proje alanı, Konya şehir merkezinin yaklaşık 50 km kuzeydoğusunda, Altınekin ilçesi sınırları içerisinde konumlanmıştır. 38°18' Kuzey enlemi ve 32°52' Doğu boylamı merkez koordinatlarına sahip bölge, parçalı arazi yapısı ve kırsal yerleşim alanları ile karakterize edilen tarım arazilerini kapsamaktadır (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**). Konya Kapalı Havzası'nda bulunan saha, yıllık ortalama 300–350 mm yağış alan yarı kurak iklim kuşağında yer almakta olup, su yönetimi ve arazi kullanım optimizasyonunu zorunlu hale getirmektedir (Sarış ve Gedik, 2021).



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası

### Toprak Haritalarının Oluşturulması

Arazi toplulaştırma çalışmalarında derecelendirme için kullanılan toprak indeksi, yalnızca toprak özelliklerine dayanan; toprak derinliği, yüzey tabakasının yapısı, alt toprak özellikleri, drenaj, tuzluluk, alkalinite, pH, erozyon ve rölyef gibi faktörlerin değerlendirilmesiyle elde edilmektedir. Toprak indeksi, toprak özelliklerine göre verimlilik yeteneklerini ve tarımsal potansiyel sınıflarına göre derecelendirmektedir. Storie indekse göre araziler aşağıda görülen denkleme göre, 0 – 100 arası puan olarak sınıflandırmaları yapılmaktadır.

$$SI = A \times B \times C \times X$$

Burada A, toprak profili grubunu (ana malzeme türü, şekil ve birikim oluşumu, toprak malzemesinin yaşı, derinliği, erozyon direnci), B, üst toprak dokusunu (üst toprak içindeki çeşitli boyut gruplarına göre kum, silt ve kil oranları), C, arazi eğimini ve X, diğer toprak özellikleri (drenaj, tuzluluk, alkalinite, asidite vb.) temsil etmektedir.

Bu çalışmada, DSİ tarafından Konya ili Altınekin ilçesi 1. Kısım Arazi Toplulaştırma ve TİGH Projesi kapsamında hazırlanan Storie İndeks haritası kullanılmıştır. Yapılan çalışmada 24.911 hektarlık alanda 1318 farklı noktadan elde edilen veriler kullanılmıştır.

## Enterpolasyon Yöntemleri

Toprak haritaları, tarımsal verimlilik, arazi planlaması, çevresel analiz ve su yönetimi gibi birçok alanda kritik öneme sahiptir. Bu haritaların doğruluğu ve kullanılabilirliği, temel olarak arazi ölçüm noktalarından elde edilen verilerin enterpolasyon yöntemleri ile ilişkilidir. Enterpolasyon, sınırlı sayıdaki ölçüm noktasından elde edilen verilerden yararlanarak, bu noktalar arasındaki alanların özelliklerini tahmin etmeye yarayan matematiksel bir teknik olmakla birlikte toprak biliminde enterpolasyon, özellikle fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin mekansal dağılımını modellemek için kullanılır (Bishop et al., 2001).

Enterpolasyon yöntemleri; mekansal analiz, istatistiksel modelleme ve veri enterpolasyonu disiplinlerinde temel yöntem ve kavramlara karşılık gelir. Deterministik ve stokastik olmak üzere 2 farklı enterpolasyon yöntemleri bulunmaktadır. Inverse Distance Weighting (IDW) veya Ters Mesafe Ağırlıklı, enterpolasyon sürecinde yakınlık ilkesini matematiksel olarak uygulayan deterministik bir yöntemdir. Bu teknik, özellikle jeofizik ve çevresel modelleme çalışmalarında, ölçüm noktaları arasında mesafe artışına bağlı olarak ağırlıkların üstel azalması prensibiyle çalışmaktadır (Shepard, 1968). Bu çalışmada IDW yöntemi içerisinde bulunan 3 farklı güç seviyesi (1, 2, ve 3) kullanılarak alansal dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Radyal Taban Fonksiyonu (RBF), yüksek boyutlu veri setlerinde enterpolasyon ve regresyon için kullanılan parametrik bir yaklaşımdır. RBF yöntemi içerisinde farklı fonksiyonlar bulunmaktadır. Bu fonksiyonlardan Thin Plate Spline (TPS) veya İnce Plaka Spline, esnek bir enterpolasyon tekniği olarak, yüzey deformasyonlarını minimum eğrilik enerjisi ile modellemek için kullanılmaktadır. Tıbbi görüntüleme ve jeodezik haritalamada, noktasal deformasyonların matematiksel olarak dengelenmesi için tercih edilmektedir (Bookstein, 1989). Coordinate Reference System (CRS) veya Koordinat Referans Sistemi fonksiyonu ise mekansal verilerin konumsal doğruluğunu sağlamak için kullanılmaktadır. Stationary Wavelet Transform (SWT) veya Durağan Dalgacık Dönüşümü, sinyal işlemede zamanla değişen frekans bileşenlerini analiz etmek için kullanılmaktadır (Stephane, 1999). Bu çalışma kapsamında toprak indeks değerlerinin alansal dağılımlarını yapmak için RBF yöntemi altında 3 farklı fonksiyon (TPS, CRS ve SWT) yöntemi karşılaştırılmıştır.

Kriging, jeostatistiğin temel taşlarından biri olarak bilinmekte ve uzamsal otokorelasyon yapısını (variogram) kullanarak belirsizlik ölçütleriyle birlikte optimal tahminler üretmektedir. Bu yöntem, maden kaynaklarının tahmininden hava kalitesi modellemeye kadar geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır (Oliver ve Webster, 1990). Gauss modeli (GAU), üssel model (EXP) ve küresel model (SPH) terimleri ise variogram modelleme sürecinde kullanılan temel fonksiyonlardır. Gauss modeli düzgün geçişli uzamsal ilişkileri tanımlarken, Üssel model kısa mesafeli ani değişimleri, Küresel model ise belirli bir mesafe sonrasında korelasyonun sıfıra düştüğü durumları temsil eder. Bu modellerin seçimi, verinin uzamsal yapısına ve araştırma hedeflerine bağlıdır (Pebesma, 2004). Her bir yöntem, disiplinler arası çalışmalarda veriye dayalı karar süreçlerini desteklemek için kritik rol oynamaktadır. Araştırma kapsamında ordinary kriging ve universal kriging yöntemlerine ait gauss, üssel ve küresel variogram modelleri kullanılarak enterpolasyon haritaları üretilmiştir.

## Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Bu çalışmada toprak indeksinin alansal dağılımlarını hazırlamak ve en uygun alansal dağıtım yöntemini belirlemek için iki deterministik (IDW, RBF) ve iki jeostatistiksel yöntem (OK, UK) kullanılmıştır. En iyi enterpolasyon yöntemini belirlemek için Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) kullanılmıştır (Alaboz et al., 2020). RMSE, tahmin edilen değerler ile gözlemlenen değerler arasındaki farkın büyüklüğünü ölçerek modelin doğruluğunu objektif bir şekilde karşılaştırmaya olanak tanımaktadır. RMSE değerinin daha küçük olması enterpolasyon yönteminin daha iyi olduğunu göstermekte olup aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır (Wang ve Lu, 2018).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{i^*} - Z_i)^2}$$

Burada n örnek sayısını,  $Z_{i^*}$  enterpolasyonla elde edilen tahmin değerini,  $Z_i$  ise gerçek değeri temsil etmektedir.

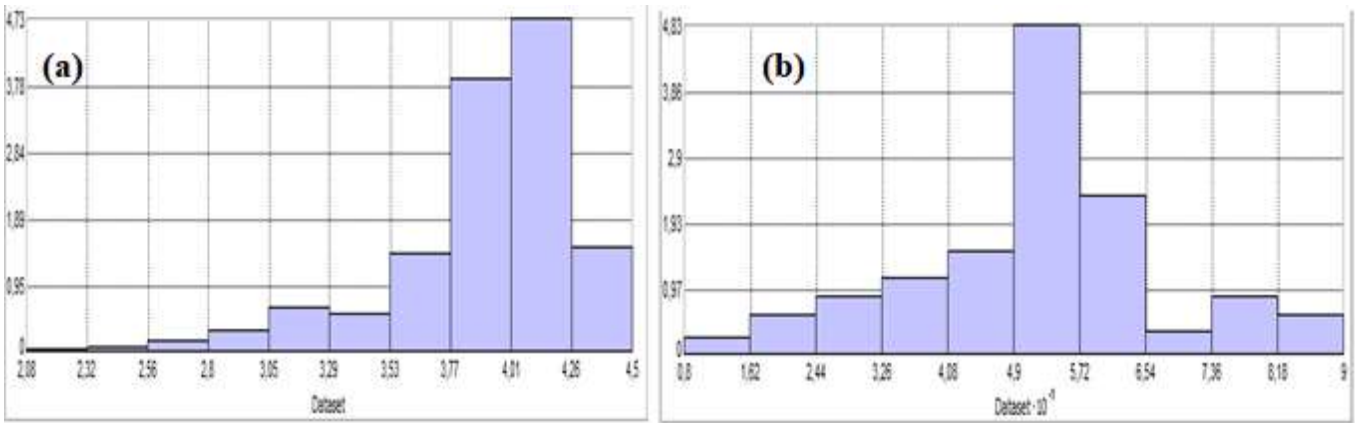
## Bulgular ve Tartışma

### İstatistiksel Özellikler

Toprakların storie indeks değerlerine ait temel istatistiksel değerler Çizelge 1 de verilmiştir. Toprak indeksi değerleri 7.97 ile 90 arasında değişim göstermiş ve ortalama değer ise 52.5 olmuştur. Varyasyon katsayısı (CV); toprak özelliklerinin değişkenliğini tanımlamada en önemli faktördür. Veriler, değişkenlik miktarına göre düşük değişkenlik (CV,  $\leq 15$  %), orta değişkenlik (CV, 15–35 %) veya yüksek değişkenlik (CV,  $> 35$  %) gösterir (Wilding 1985) Çalışmada toprak indeksi değerlerinin orta değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Jeostatistiksel yöntemleri ile alansal dağılım haritalarının hazırlanması esnasında, öncelikle incelenen özelliklerin normal dağılım gösterip göstermediğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Örnekler üzerinde tek örneklem Kolmogorov Smirnov testi uygulanmış ve örneklerin normal dağılım içerisinde olmadığı belirlenmiştir. Şekil 2’de örneklerin normal dağılımına ve log normal dağılımına ait grafikler verilmiştir. İncelenen veriler log normal dağılım göstermiş ve kriging enterpolasyon yöntemlerinde konumsal dağılım yaparken veriler log normal olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. Tanımlayıcı istatistiki değerler

|        | Örnek Sayısı | En Düşük | En Büyük | Ortalama | Standart Sapma | Varyasyon Katsayısı | Çarpıklık | Basıklık |
|--------|--------------|----------|----------|----------|----------------|---------------------|-----------|----------|
| Normal | 1318         | 7.97     | 90.00    | 52.65    | 16.04          | 30.97               | -0.22     | 3.28     |
| Log.   | 1318         | 2.08     | 4.50     | 3.90     | 0.38           |                     | -1.51     | 5.96     |



Şekil 1. Değerlerinin (a) normal dağılım (b) log normal dağılım grafikleri

### Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında toprak indeks değerlerinin alansal dağılımları IDW enterpolasyon yöntemine ait 1, 2 ve 3 güç değerleri, RBF yöntemine ait üç farklı fonksiyon (TPS, CRS ve SWT), OK ve UK yöntemlerine ait üç (GAU, SPH ve EXP) ve altı farklı enterpolasyon yöntemini kullanarak toplam on iki farklı harita hazırlanmıştır. Haritalamada toprak indeks değerleri 30’dan küçük, 30-45, 45-60, 60-75 ve 75-90 olacak şekilde beş farklı gruba ayrılmıştır. Enterpolasyon yöntemlerinin performanslarını karşılaştırmak için RMSE değerleri kullanılmış ve yöntemlere ait RMSE değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çalışma kapsamında, IDW yöntemine ait 3 farklı güç değeri kullanılarak (IDW-1, IDW-2, IDW-3) alansal dağılım haritaları hazırlanmıştır (Şekil 3). Üç güç değerine göre hazırlanmış alansal dağılım haritalarının RMSE değerlerini incelendiğinde RMSE değeri 12.399 ile en iyi yöntemin IDW-3 olduğu belirlenmiştir. RBF yönteminde 3 farklı fonksiyon (TPS, CRS, SWT) kullanılmıştır (Şekil 4). RMSE değerleri 12.420 ile 13.051 arasında değişim göstermiştir. En iyi yöntem 12.42 RMSE değerini veren RBF-CRS yöntemi olmuştur. 2 farklı kriging yöntemi (OK, UK) kullanılarak toprak indeksine ait alansal dağılım haritaları hazırlanmıştır (Şekil 5, Şekil 6). Her bir kriging yönteminde 3 farklı variogram model (Gau, Exp, Sph) kullanılmıştır. Tüm kriging modelleri arasında en düşük RMSE değerleri 12.585 ile OK-Exp ve UK-Exp modellerinde olmuştur. En yüksek RMSE değeri ise 12.644 ile UK-Sph modelinde hesaplanmıştır.

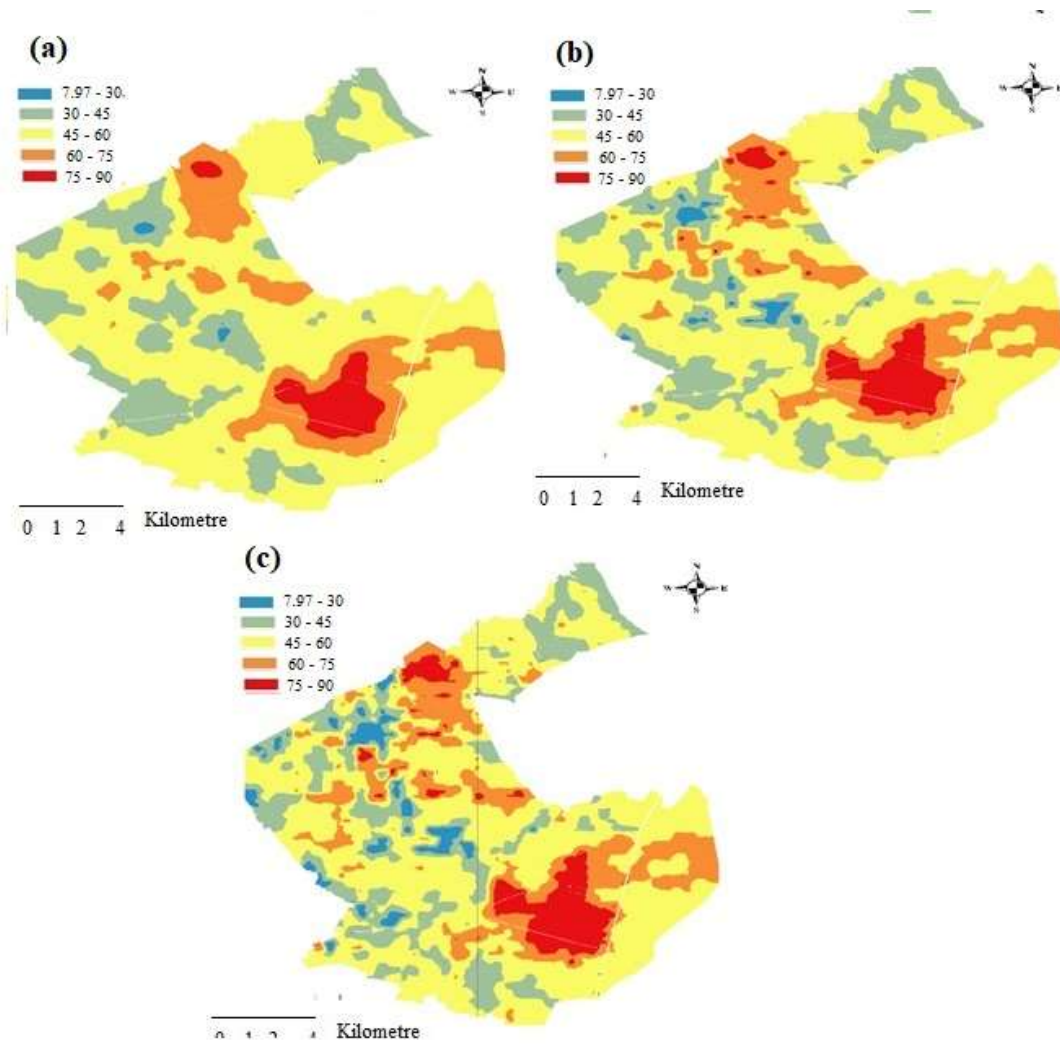
Çizelge 2. Enterpolasyon yöntemlerine göre çapraz doğrulama sonuçları RMSE değerleri

| IDW    |        |               | RBF    |        |        |        | KRIGING |        |        |        | UK     |  |
|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--|
| 1      | 2      | 3             | TPS    | CRS    | SWT    | GAU    | OK      | SPH    | GAU    | EXP    | SPH    |  |
| 12.732 | 12.493 | <b>12.399</b> | 13.051 | 12.420 | 12.477 | 12.602 | 12.585  | 12.644 | 12.602 | 12.585 | 12.644 |  |

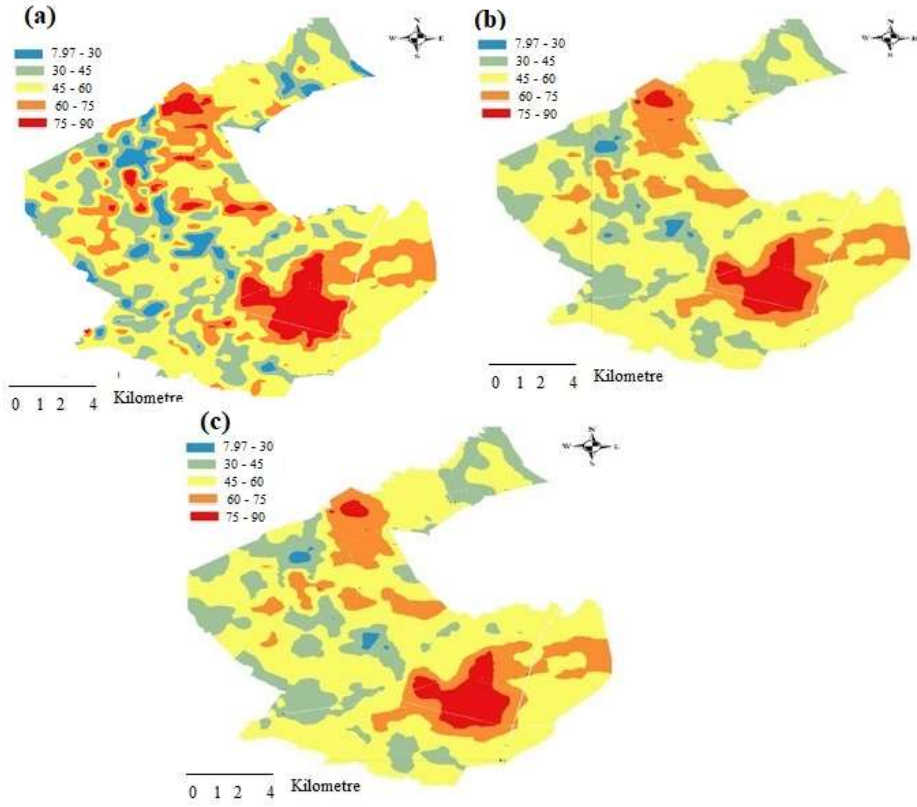
IDW:Ters Mesafe Ağırlıklı, RBF: Radyal Taban Fonksiyonu, TPS:İnce Plaka Spline, CRS:Koordinat Referans Sistemi, SWT:Durağan Dalgacık Dönüşümü, OK:Ordinary(Olağan), UK:Evrensel, GAU:Gauss, EXP:Üssel, SPH:Küresel

İncelenen tüm enterpolasyon yöntemleri karşılaştırıldığında en iyi yöntem IDW- 3 olurken, en kötü yöntem ise RBF-TPS olmuştur. Toprak indeksi değerlerinin alansal dağılımları en iyi yöntem haritasına göre; 30 değerinden küçük değere sahip alanların toplamı 721 ha, 30-45 aralığındaki alanların toplamı 4.843 ha, 45-60 aralığındaki alanların toplamı 13.387 ha, 60-75 aralığındaki alanların toplamı 4.284 ha ve 75-90 aralığındaki alanların toplamı ise 1.676 ha olarak belirlenmiştir (Çizelge 3).

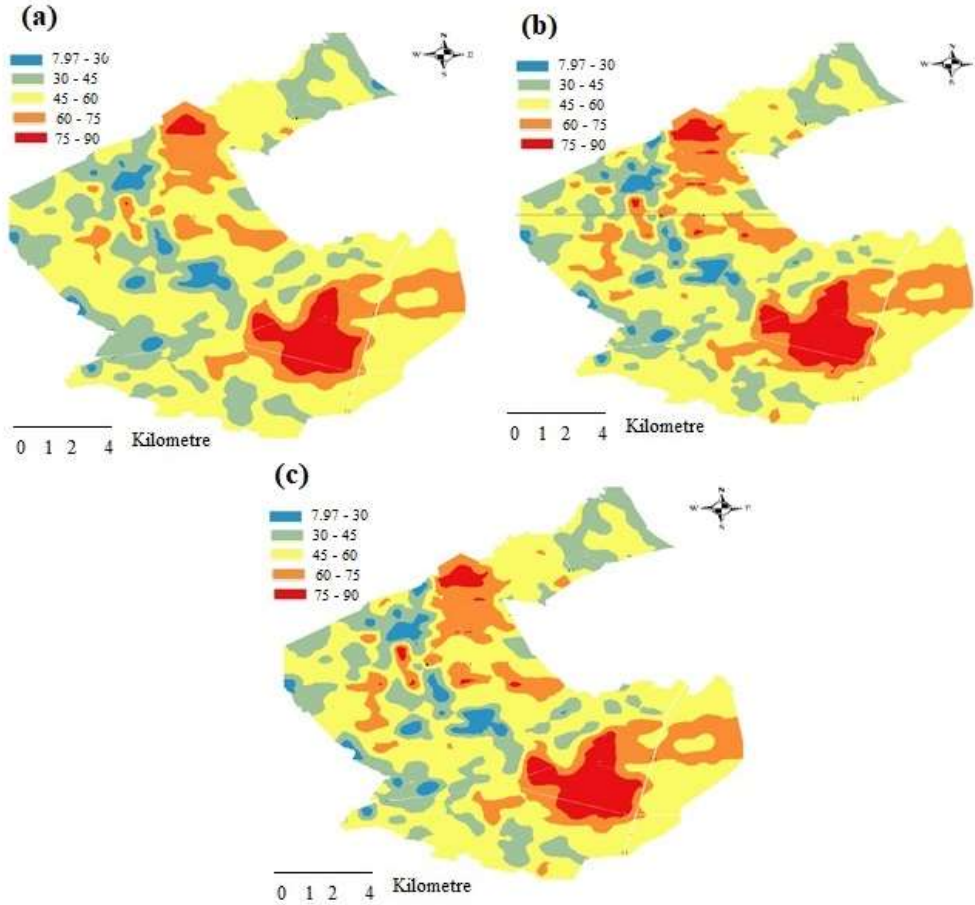
Buna karşılık, en yüksek RMSE değerini vererek en kötü alansal dağılımı yapan RBF-TPS ye göre hazırlanmış alansal dağılım haritası incelendiğinde ise; 30 değerinin altındaki 1.029 ha ve 75-90 aralığında ise 1.773 ha alan olduğu belirlenmiştir. İki yöntemdeki sınıf alanları arasındaki farklılıklar incelendiğinde %4.90 ile %42.80 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum alansal dağılım haritaları hazırlanırken yöntem seçiminin toprak yönetimindeki önemini ortaya koymaktadır.



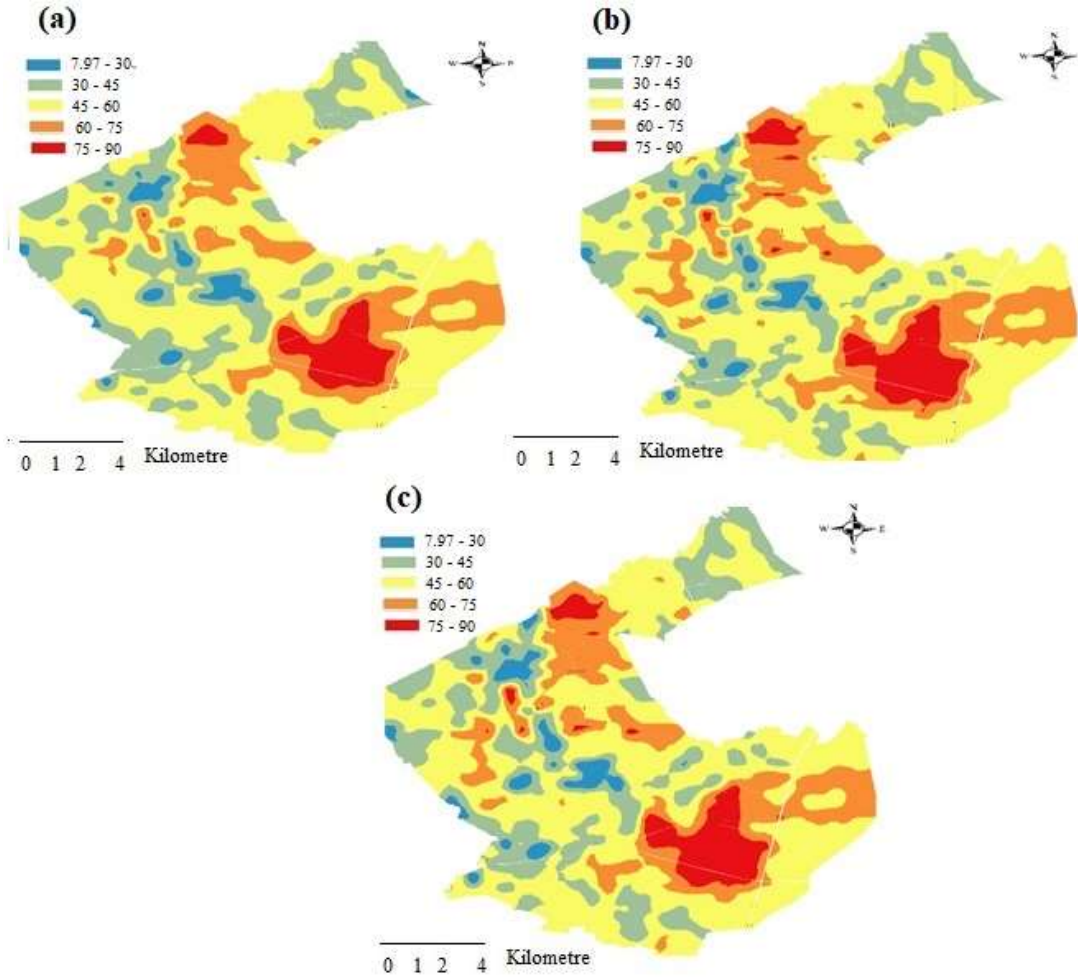
Şekil 3. IDW yöntemine göre Storje indeksi dağılım haritaları (a) IDW-1, (b) IDW-2, (c) IDW-3



Şekil 4. RBF yöntemine göre Storie indeks dağılım haritaları (a) RBF-Tps, (b) RBF-Crs, (c) RBF-Swt



Şekil 5. OK yöntemine göre Storie indeks dağılım haritaları (a) OK-Gau, (b) OK-Exp, (c) OK-Sph

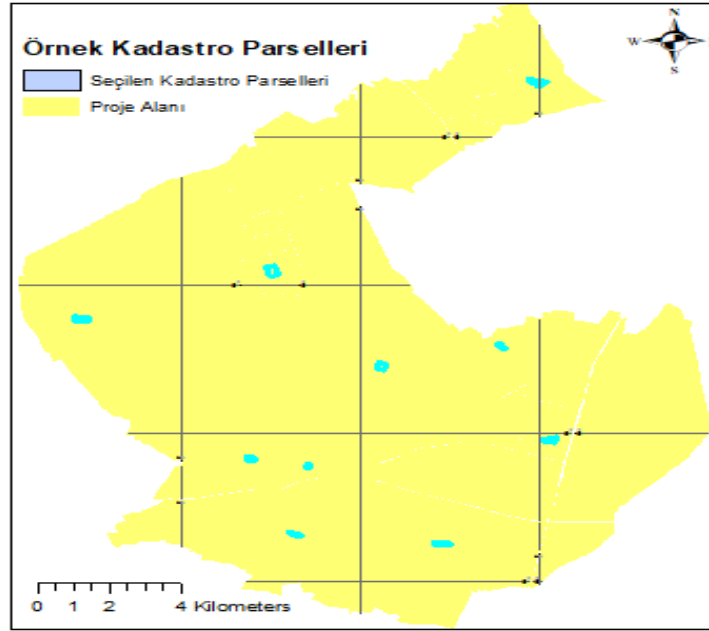


Şekil 6. UK yöntemine göre Storje indeks dağılım haritaları (a) UK-Gau, (b) UK-Exp, (c) UK-Sph

Çizelge 3. En iyi ve en kötü enterpolasyon yöntemleri için alansal ve yüzdesel değişimler

| Sınıf              | IDW-3 (ha)    | RBF-TPS (ha)  | Fark (ha) | Değişim Oranı (%) |
|--------------------|---------------|---------------|-----------|-------------------|
| 30 altı            | 721           | 1.029         | 308       | 42.71%            |
| 30-45              | 4.843         | 5.082         | 239       | 4.90%             |
| 45-60              | 13.387        | 12.487        | -900      | -6.70%            |
| 60-75              | 4.284         | 4.54          | 256       | 6.00%             |
| 75-90              | 1.676         | 1.773         | 97        | 5.80%             |
| <b>Toplam Alan</b> | <b>24.911</b> | <b>24.911</b> |           |                   |

Çalışma kapsamında ayrıca DSİ tarafından arazi toplulaştırmada kullanılmış olan parsellere ait toprak indeksi değerleri ile en iyi yöntem olan IDW-3 yöntemine göre hazırlanmış olan harita arasında farklılık olup olmadığını belirlemek için alandan rastgele 10 adet örnek parsel seçilmiştir (Şekil 6, Çizelge 4). Çizelge 4’de verilen DSİ’nin oluşturmuş olduğu indeks değeri ile IDW-3 kullanılarak elde edilen indeks değerleri karşılaştırılmış, farklı alan büyüklüklerine sahip bölgelerde bu iki yöntem arasındaki uyum ve sapmalar ortaya koyulmuştur. Çizelge 4’ incelendiğinde, DSİ ve IDW-3 değerleri arasında rakamsal olarak belirgin farklılıklar olduğu görülmüştür. Örnek olarak 1 ve 3 numaralı parsellerde iki yöntem arasındaki toprak indeksi farkları sırasıyla -0.21 ve 0.31 olarak hesaplanmış, aralarında çok büyük farklılık oluşmamıştır. Bununla birlikte 8 numaralı parselde toprak indeksi değeri DSİ’ye göre 63.40 iken, IDW-3 yöntemine göre 52.10 olarak ölçülmüş ve +11.30 gibi yüksek bir pozitif fark kaydedilmiştir.



Şekil 6. Seçilen Parsel Haritası

Çizelge 4. Bazı kadastro parselleri için DSİ – IDW-3 storie indeks değerlerinin karşılaştırılması

| Parsel No | Parsel Alan (ha) | DSİ (İndeks Değeri) | IDW-3 (İndeks Değeri) | Fark         | DSİ Sınıflama | IDW-3 Sınıflama |
|-----------|------------------|---------------------|-----------------------|--------------|---------------|-----------------|
| 1         | 10.5             | 51.12               | 51.33                 | -0.21        | 3             | 3               |
| 2         | 8.8              | 31.7                | 34.33                 | -2.63        | 4             | 4               |
| 3         | 5.5              | 57.06               | 56.75                 | 0.31         | 3             | 3               |
| 4         | 3.9              | 46.86               | 52.78                 | -5.92        | 3             | 3               |
| 5         | 2.7              | 40                  | 42.69                 | -2.69        | 3             | 3               |
| 6         | 4.4              | 56.8                | 57.2                  | -0.4         | 3             | 3               |
| 7         | 2.9              | 42.5                | 46.2                  | -3.7         | 3             | 3               |
| <b>8</b>  | <b>7.9</b>       | <b>63.4</b>         | <b>52.1</b>           | <b>11.3</b>  | <b>2</b>      | <b>3</b>        |
| 9         | 1.6              | 28.4                | 35.43                 | -7.03        | 4             | 4               |
| <b>10</b> | <b>5.5</b>       | <b>56.8</b>         | <b>60.43</b>          | <b>-3.63</b> | <b>3</b>      | <b>4</b>        |

Parseller Çizelge 5'te verilen sınıflandırma aralıklarına göre incelendiğinde, sekiz parselde DSİ ve IDW-3 arasında yüzdesel olarak farklı değerler ortaya çıktığı görülse de sınıf değişimi gözlenmemiştir. Ancak 8 ve 10 numaralı parseller, IDW-3 ile yapılan sınıflandırmada bir üst sınıfa dahil oldukları anlaşılmıştır.

Çizelge 5. Storie İndekse göre sınıf tanımlamaları (Dengiz ve Ark., 2014)

| Tanımlama  | SI Sınıfı (%) |
|------------|---------------|
| Çok iyi    | 1 ( 80- 100)  |
| İyi        | 2 (60 - 79)   |
| Orta       | 3 (40-59)     |
| Düşük      | 4 (20 - 39)   |
| Çok düşük  | 5 (10 - 19)   |
| Tarım dışı | 6 (0 - 9)     |

## Sonuç

Bu çalışmada, IDW3 ve RBF-TPS enterpolasyon yöntemleri kullanılarak, GIS tabanlı uygulamalar ile oluşturulan toprak haritalarının alan dağılımları karşılaştırılmış ve yöntemler arasında belirgin farklılıklar tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, Kriging ve IDW gibi jeostatistiksel teknikler, sınırlı sayıda toprak örneği ile geniş alanlara ilişkin güvenilir ve detaylı verilerin elde edilmesine olanak sağlamıştır. Özellikle en düşük RMSE değerini

vererek en doğru alansal dağılımı yapan IDW-3 yöntemi, DSİ ölçümleriyle genel bir uyum sergilemekle birlikte, özellikle küçük ve heterojen alanlarda dikkate değer sapmalar göstermektedir. Bu sapmaların temel nedeni, interpolasyon algoritmasının yerel parametrelere (örnekleme yoğunluğu, topoğrafya) duyarlılığı olarak çeşitlendirilebilir. İleriki çalışmalarda, yöntemlerin optimizasyonu için alan büyüklüğü ve veri dağılımı arasındaki ilişkinin detaylı istatistiksel analizi önerilmekte olup çalışma alanı içerisindeki sonda örnek sayısı seçilirken yüzeysel değişimler (eğim, toprak derinliği) göz ardı edilmemelidir.

Toprak İndeksi haritalarının hazırlanmasında jeostatistiksel yöntemler ile birlikte uzaktan algılama gibi diğer veri kaynaklarıyla entegrasyonu, daha kapsamlı ve etkili toprak değerlendirme sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Arazi toplulaştırmanın önemli bir aşaması olan toprak indeksi değerlerinin alansal dağılımlarının hassas yapılması, toplulaştırma projesinin başarısı üzerinde çok büyük bir gösterge olmaktadır. Bu nedenle hem toprak örneği alınacak noktaların hem de alansal dağılım haritalarının çok iyi hazırlanması gerekmektedir.

## Kaynaklar

- Abdulmanov R, Miftakhov I, Ishbulatov M, Galeev E, Shafeeva E. 2021. Comparison of the effectiveness of GIS-based interpolation methods for estimating the spatial distribution of agrochemical soil properties. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101970.
- Alaboz P, Demir S, Dengiz O. 2020. Farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılarak toprakların nem sabitelerine ait konumsal dağılımların belirlenmesi, Isparta Atabey Ovası örneği. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(3), 432-444.
- Aydın A, Dengiz O. 2020. Sürdürülebilir arazi yönetimi için arazi değerlendirmesi çalışması; Samsun-Kavak İlçesinde örnek bir çalışma. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(1), 1-17.
- Bayramın İ, Kılıç Ş, Dengiz O, Başkan O, Tunçay T, Yıldırım A, Koç A, Ögütmen Ç. 2013. Radar görüntülerinin toprak etüt ve haritalama çalışmalarında kullanımı. *TUBİTAK TOVAG*, 110.
- Bishop T, McBratney A, Whelan B. 2001. Measuring the quality of digital soil maps using information criteria. *Geoderma*, 103(1-2), 95-111.
- Bookstein FL. 1989. Principal warps: Thin-plate splines and the decomposition of deformations. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 11(6), 567-585.
- Burrough PA, McDonnell RA, Lloyd CD. 2015. *Principles of geographical information systems*. Oxford university press.
- Dengiz O. 2011. Samsun İlinin Potansiyel Tarım Alanlarının Genel Dağılımları ve Toprak Etüt ve Haritalama Çalışmalarının Önemi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3), 241-250.
- Dengiz O, Sisman A, Gülser C, Şişman Y. 2014. Arazi Toplulaştırmasında Kullanılan Arazi Kalite Derecelendirme Yöntemine Alternatif Yaklaşım. *Toprak Su Dergisi*. 3. 59-69. 10.21657/tsd.01307.
- Fu T, Gao H, Liu J. 2021. Comparison of different interpolation methods for prediction of soil salinity in arid irrigation region in northern China. *Agronomy*, 11(8), 1535.
- Heuvelink GB. 2006. Incorporating process knowledge in spatial interpolation of environmental variables. Lisbon, Portugal: 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences,
- Kravchenko A, Bullock DG. 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *Agronomy journal*, 91(3), 393-400.
- Oliver MA, Webster R. 1990. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 4(3), 313-332.
- Özden DM. 2002. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Su Kaynakları Ulusal Bilgi Merkezi.
- Pebesma EJ. 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & geosciences*, 30(7), 683-691.
- Shahinzadeh, N., Babaeinejad, T., Mohsenifar, K., & Ghanavati, N. (2022). Spatial variability of soil properties determined by the interpolation methods in the agricultural lands. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(4), 4897-4907.
- Sarış F, Gedik F. 2021. Konya Kapalı Havzası'nda meteorolojik kuraklık analizi. *Coğrafya Dergisi* (42), 295-308.
- Shepard D. 1968. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference*,
- Stephane M. 1999. A wavelet tour of signal processing. In: Elsevier.
- Uyan M. 2016. Determination of agricultural soil index using geostatistical analysis and GIS on land consolidation projects: A case study in Konya/Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 402-409.
- Wang W, Lu Y. 2018. Analysis of the mean absolute error (MAE) and the root mean square error (RMSE) in assessing rounding model. *IOP conference series: materials science and engineering*,