

# Farklı ana materyal üzerinde oluşmuş toprakların adli bilim için VNIRS tekniği ile spektral karakterizasyonu ve özelliklerinin tahmin edilmesi

## *Spectral characterization and estimation of soil properties formed on different parent materials with VNIRS technique for forensic science*

Yüstra İNCİ<sup>1\*</sup>, Ali Volkan BİLGİLİ<sup>2</sup>, Recep GÜNDOĞAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Harran University, Sanliurfa 63300, Turkey

<sup>2,3</sup>Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Harran University, Sanliurfa 63300, Turkey

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-9740-0013>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-4727-8283>; <sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-8877-1130>

### To cite this article:

İnci, Y., Bilgili, A.V. & Gündoğan, R. (2021). Farklı ana materyal üzerinde oluşmuş toprakların adli tıp için VNIRS tekniği ile spektral karakterizasyonu ve özelliklerinin tahmin edilmesi. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 25(4): 497-513.

DOI: 10.29050/harranziraat.931045

### \*Address for Correspondence:

Yüstra İNCİ

e-mail:

yustrainci0@gmail.com

### Received Date:

01.05.2021

### Accepted Date:

24.09.2021

### ÖZ

Topraklar üzerinde oluştukları ana materyale, iklim koşulları ve topoğrafik yapıya bağlı olarak önemli farklılıklar gösterirler. Adli bilimde de önemli olan bu farklılıkların belirlenmesi daha fazla arazi ve laboratuvar çalışmalarına ihtiyaç duyar bu da daha fazla iş gücü, kimyasal kullanımı ve zaman gerektirir. Öteki taraftan Görülebilir ve Yakın Kızılötesi Spektrometre (VNIRS) Tekniği gibi yaklaşımlar toprakların hızlıca ve birden fazla toprak özelliğinin eş zamanlı olarak karakterizasyonunda son zamanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Toprak örneklerinin tahribatsız analiz edilmesine izin veren bu yöntem; orijinal örneklerin korunmasının büyük önem taşıdığı adli kullanımlar için büyük potansiyele sahiptir. 2019-2020 yılları arasında yürütülen bu çalışmada Çamur akıntıları, Kireçtaşı, Marn ve Bazalt olmak üzere Şanlıurfa'da yaygın dört farklı ana materyal üzerinde oluşmuş toprak profillerden horizon esasına göre alınan 59 toprak örneği; laboratuvar ortamında rutin fiziko kimyasal analizleri yapılmış ve 350-2500 nm dalga boyu aralığında spektral yansımaları elde edilerek Temel Bileşenler Analizi (PCA), Cluster analizi ve Kısmi En Küçük Kareler Regresyon Yöntemi (PLSR) gibi çok değişkenli istatistiksel metotlara tabi tutulmuştur. PLSR modelleri kullanarak toprak parametrelerinin tahmin edilebilirlik başarıları çapraz doğrulama (crossvalidation) yaklaşımı ile test edilmiştir. PC1 ve PC2 toprakların yansımalarındaki değişimin % 99' undan fazlasını açıklamış ve farklı ana materyal üzerinde oluşmuş farklı toprakları spektral özelliklerine göre gruplandırabilmiştir. PCA analizi uygulanmış ham toprak yansımalarını kullanan Kümeleme analizi toprakları %61 başarı (Kappa istatistik = 0.62) ile geldikleri ana materyal türüne göre sınıflandırabilmiştir. Çapraz doğrulama sonuçlarına göre CaCO<sub>3</sub> (R<sup>2</sup>=0.75, RPD=1.99), kil (R<sup>2</sup>= 0.72, RPD=1.87), Fe (R<sup>2</sup>=0.66, RPD=1.72), Al (R<sup>2</sup>=0.64, RPD=1.64), değişebilir Ca (R<sup>2</sup>= 0.73, RPD= 2.03), Na (R<sup>2</sup>=0.65, RPD= 1.71) ve Mg (R<sup>2</sup>=0.59, RPD= 1.55) gibi parametreler spektral yansımalara bağlı olarak orta seviyede başarılı bir şekilde tahmin edilebilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ana materyal, Toprak özelliği, Toprak profili, Görülebilir ve Yakın kızıl ötesi spektral yansıma, Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu

### ABSTRACT

Soils differ significantly depending on the parent material, climatic conditions and topography where they are formed. Identifying these differences which also are important in forensic science requires more field and laboratory work, which requires more labor, chemical use and time. On the other hand, approaches such as Visible and Near Infrared Spectrometry (VNIRS) Technique have recently begun to be widely used in the rapid characterization of soils and simultaneous characterization of multiple soil properties. This method allows non-destructive analysis of soil samples; It has great potential for forensic uses where preservation of original specimens is of great importance. In this study which was

© Copyright 2018 by Harran University Faculty of Agriculture. Available on-line at [www.dergipark.gov.tr/harranziraat](http://www.dergipark.gov.tr/harranziraat)



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

performed between years of 2019 and 2020, 59 soil samples were taken on a horizon basis from soil profiles formed on four different main materials in Sanliurfa, including Mud streams, Limestone, Marl and Basalt; Routine physicochemical analyzes were performed in the laboratory and spectral reflections in the 350-2500 nm wavelength range were obtained and subjected to multivariate statistical methods such as Principal Component Analysis (PCA), Cluster analysis and PLSR. The predictability success of soil parameters using PLSR models was tested with the cross-validation approach. PC1 and PC2 explained more than 99% of the change in reflections of soils and were able to group different soils formed on different material according to their spectral properties. Clustering analysis using the PCA analysis applied raw soil reflections was able to classify the soils according to the origin type with 61% success (Kappa statistic = 0.62). According to the cross validation results, parameters such as CaCO<sub>3</sub> (R<sup>2</sup> = 0.75, RPD = 1.99), clay (R<sup>2</sup> = 0.72, RPD = 1.87), Fe (R<sup>2</sup> = 0.66, RPD = 1.72), Al (R<sup>2</sup> = 0.64, RPD = 1.64), exchangeable Ca (R<sup>2</sup> = 0.73, RPD = 2.03), Na (R<sup>2</sup> = 0.65, RPD = 1.71) and Mg (R<sup>2</sup> = 0.59, RPD = 1.55) could be predicted moderately successfully with spectral reflections.

**Key Words:** Main materials, Soil properties, Soil profile, Visible and Near Infrared reflectance spectra, Partial Least Square Regression

## Giriş

Kimyasal kullanımı gerektirmemesi, çok az bir işgücü ile hızlı sonuç alınması nedeniyle Görülebilir ve Yakın Kızıl Ötesi Spektrometrik (VNIRS) metodlar son zamanlarda toprak ve bitki özelliklerinin karakterize edilmesinde ve tahmin edilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Dunn ve ark., 2002; Bellinaso ve ark., 2010; Wetterlind, 2013; Oliveira ve ark., 2013; Brown ve ark., 2006; Zhang ve ark., 2018; Lazaar ve ark., 2020). Hassas tarımda (Keskin ve Keskin, 2012; Özgüven, 2018), toprak özelliklerinin tahmininde ve haritalanmasında (Milos ve Bensa, 2018; Lazaar ve ark., 2020), minerolojik karakterizasyonunda (Oliveira ve ark., 2013; Fang ve ark., 2018), toprakların sınıflandırılmasında (Bellinaso ve ark., 2010; Oliveira ve ark., 2013; Poppiel ve ark., 2018), değişken oranlı gübreleme (Tekin ve Tümsavaş, 2012), toprak toksisite (Kooistra ve ark., 2001) ve tuzluluk (Bilgili ve ark., 2014; Güzel, 2017) çalışmalarında kullanılmıştır. VNIRS metodu toprak karakterizasyonu, toprak etüdü ve sınıflandırması, minerolojik ölçümler, dijital toprak haritalama, hassas tarım, toprak değişkenlerinin ve farklı kirletici maddelerin nicelendirilmesinde kullanılmıştır (Bellinaso ve ark., 2010).

Spektrometreler, güneş veya yapay ışık kaynağı altında, hedef nesneden (toprak, bitki, su vb.) yansıyan ışınımı algılayıp kaydeden çok spektrumlu elektro optik uzaktan algılama sistemlerdir. Spektrometrik metodlar toprağın yapısına ve içeriğine (örneğin organik

madde, kil, kum, Fe-Al oksitler vb) bağlı olarak iletilen ışıkla etkileşiminden sonra belirli dalga boylarında geri yansıyan ışığın miktarı ve şeklindeki değişimleri dikkate alarak toprakları karakterize eder ve onların özelliklerini tahmin eder. VNIR bölgesindeki toprak yansıma yoğunluğu ve karakteristikleri toprak kil, organik madde kapsamı, opak minerallerin varlığı, partikül yüzeyi, Fe-Al oksitler, toprak nemi, organik madde muhtevası, CaCO<sub>3</sub>, toprak tuz içerikleri ve farklı toprak kil mineralleri gibi bileşenlere bağlı olarak değişir (Brown ve ark., 2006).

VNIRS metodu kullanarak toprak spektrallerinin arazide yerinde (in situ) ve laboratuvar koşullarında elde edilmesi ve toprak özelliklerinin tahmin edilmesi; i) topraklara gelen yansımaların spektrometre ile algılanması, ii) spektral kütüphanelerin oluşturulması, iii) toprak içerisindeki tanecik boyutlarında ki farklılık nedeniyle oluşabilecek spektral gürültünün ortadan kaldırılması için spektral ön işlemler, iv) toprak özellikleri ile yansımalar arasında kalibrasyon modellerinin oluşturulması, v) oluşturulan kalibrasyon modellerinin validasyon örnekleri ile doğruluğunun test edilmesi ve vi) yeni toprak örneklerinin özelliklerinin tahmin edilmesi aşamalarından meydana gelir (Dematte ve ark., 2004; Wetterlind, 2013). Farklı sayıda topraklar taranarak meydana getirilen spektral kütüphaneler daha sonra yeni örneklerin karakterizasyonunda kullanılabilir. Spektral kütüphaneler, çalışma alanındaki topraklardaki değişkenliğin iyi temsilcileridir (Bellinaso ve ark., 2010). VNIRS ölçümlerinden başarılı sonuçlar elde edebilmek için, toprak spektral kütüphanesinin

çeşitli organik ve inorganik maddeler içeren farklı toprak türlerini kapsmalıdır (Dunn ve ark., 2002). Spektrometrik metotlar ile toprak özelliklerinin tahmin başarıları ayrıca toprak örneklerinin sayısı, toprak ana materyali, kalibrasyonda kullanılan gerçek verilerin elde edilmesinde kullanılan laboratuvar analiz metotları, değişkenlerin dağılım aralığı ve kalibrasyon modeli için kullanılan istatistiksel metot gibi faktörlerden etkilenmektedir.

Son zamanlarda veri madenciliği (data mining) teknikleriyle birleştirilen spektrometrik metotlar farklı kimyasal (Bögrekçi ve Li, 2007; Milos and Bensa, 2017), fiziksel (Şenol ve Akgül, 2013) ve biyolojik (Lazaar ve ark., 2020) toprak özelliklerinin aynı anda tahmin edilmesinde sık bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Toprak yansımaları ile laboratuvar ölçümleri arasındaki kalibrasyon modellerini oluşturmak için sıkça kullanılan istatistiksel metotlar arasında stepwise regresyon (Ting ve ark. 2009), Temel bileşenler analizi (PCA) (Oliveira ve ark., 2013), PLSR modeli (Lazaar ve ark., 2020), Yapay sinir ağları (ANN) (Güzel, 2017), Destek Vektör makinesi ve Karar Ağaçları (Zhang ve ark., 2018) gibi metotlar yer almıştır.

Et, ilaç, kumaş, bitki, su ve toprak dahil olmak üzere çeşitli materyallerin karakterizasyonunda farklı kemometrik teknikleriyle birleştirilen spektral çalışmalar ümit verici bulunmuştur. Özellikle orijinal örneklerin bozulmaması, kontaminasyon olmaması ve izlerin ortada korunması adli kullanımlar için önemli bir avantaj sağlamaktadır. VNIRS spektral analizler üç boyutlu veri seti ile mekânsal ve spektral bilgilerin yanı sıra zamansal analiz imkânlarıyla spektrumların davranışı ve kimyasal değişimler hakkında fikir vererek olayların süresi de tahmin edilebilir (Edelman ve ark.,2012).

Bununla birlikte, hem yerinde hem de laboratuvar ortamında hızlı, tahribatsız ve uygun maliyetli bir yaklaşım olarak geleneksel laboratuvar yöntemlerinin yerini almadan önce

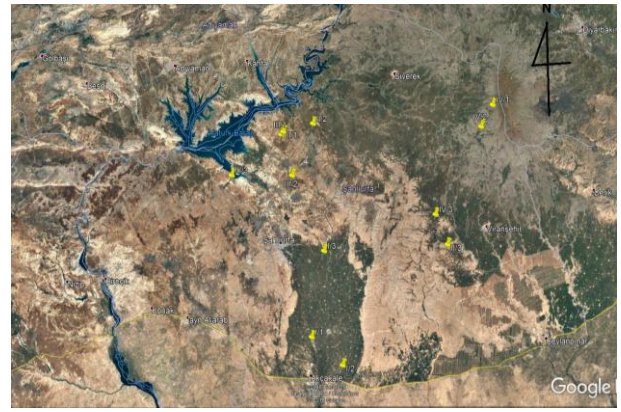
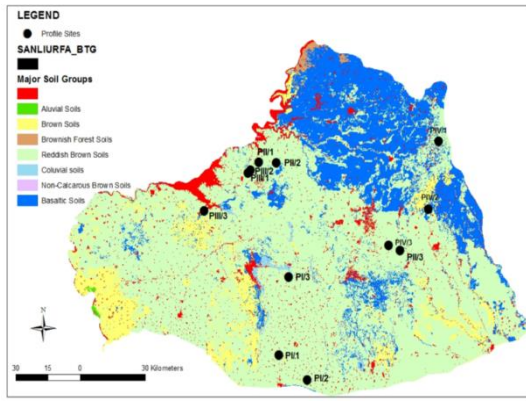
teknikğin daha fazla doğrulanmasına hala ihtiyaç vardır. Ayrıca sınırlı sayıda çalışmada VNIRS tekniğinin profil çalışmalarında horizon esasına göre alınan toprak örneklerinin karakterizasyonundaki kullanım başarısı test edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, i) dört farklı ana materyal üzerinde oluşmuş ve horizon esasına göre alınmış toprak örneklerinin VNIRS yöntemi ile karakterize edilebilirliğini test etmek ii) bu yaklaşımın zaman alıcı ve külfetli toprak etüdü çalışmalarında olası kullanım potansiyelini araştırmaktır.

## **Materyal ve Metot**

### *Çalışma alanı ve örnekleme*

Çalışma alanı Şanlıurfa ilini kapsamaktadır. Şanlıurfa ili yaklaşık 200 bin km<sup>2</sup> olup 36° 38' 00"- 37° 59' 37" kuzey enlemleri, 37° 49' 03 " - 40° 14' 37 " doğu boylamları arasında yer almaktadır. Şanlıurfa ili jeolojik olarak tersiyer yaşlı karasal sedimanter karbonat kayalar ve volkanik kayalardan oluşmaktadır. Yer yer kuarterner aluviyal ve koluviyal materyaller de görülmektedir (MTA, 1996). Yarı kurak iklim koşullarına sahip Şanlıurfa ilinde kırmızı kahverengi, kahverengi, kahverengi orman, kireçsiz kahverengi, bazaltik, koluviyal ve aluviyal büyük toprak gruplarına ait topraklar bulunmaktadır. Çalışmada materyal olarak kullanılan toprak örnekleri 4 farklı ana materyal üzerinde açılan profillerden horizon esasına göre alınmıştır. Bu ana materyaller 1-Çamur Akıntıları 2-Miyosen–Eosen Kireç Taşları 3-Marnlar (Neojen Marnlar) 4-Bazaltik Topraklar olarak gruplandırılabilirler. Çalışma alanına ilişkin jeolojik harita Şekil 1'de yer almaktadır. Bu farklı ana materyallerden horizon esasına göre toplamda 59 örnek alınmıştır. Detaylı sınıflandırılması da arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucu yapılan topraklar yeni taksonomik sınıflandırma sistemine göre İnceptisol ve Vertisol büyük toprak grupları içerisinde sınıflandırılmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı ve farklı ana materyaller üzerinde açılan toprak profilleri noktaları  
Figure 1. Soil profile points opened on the study area and different parent materials

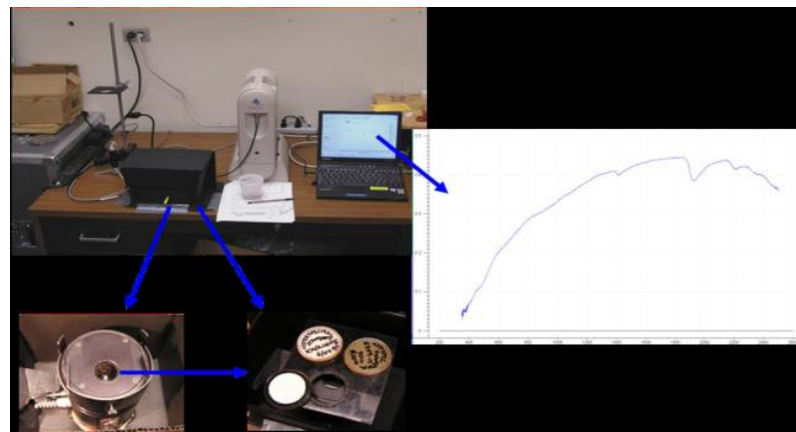
### Toprak analizleri

Laboratuvar ortamına taşınmış olan toprak örnekleri hava kurusu duruma geldikten sonra 2 mm'lik elekten elenerek analizler için depolanmıştır. Profillerden horizon esasına göre alınan toprak örneklerinde fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Toprakların % kil, silt ve kum içeriklerini belirlemek için "Bouyoucos Hidrometresi" metodu kullanıldı (Gee ve Bauder, 1986). Toprak pH'sı için satürasyon çamuru hazırlanarak pH okumaları yapıldı (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954). Elektriksel iletkenlik (EC) pH ölçümü yapıldıktan sonra aynı süspansiyonda dijital EC metre ile ölçümü yapıldı (Jansen, 1993). Organik madde modifiye edilip Walkey-Black metoduna göre yapıldı (Nelson ve Sommers, 1982). Kireç içeriği Scheibler kalsimetresinde karbondioksit çıkış hacmine göre belirlendi (Allison ve Moodie, 1965). Değişebilir Katyonlar (kalsiyum, magnezyum, potasyum ve sodyum) 1 N Amonyum Asetat yöntemine göre yapıldı (Thomas, 1982). Katyon Değişim Kapasitesi (KDK) 1.0 N amonyum

asetat (pH = 7.0) yöntemine göre belirlendi (Jackson, 1958). Değişebilir katyonlardan çözülebilir katyonlar çıkarılarak ESP değerleri hesaplanmıştır (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954).

### Spektroradyometre okumaları

4 farklı anamateryal (Çamur akıntıları, Kireç Taşı, Marn, Bazalt) üzerinde oluşmuş 3 farklı noktadan alınan profillerden horizon bazında alınan toplamda 59 toprak örneği 2 mm den elenmiş petri kaplara yaklaşık 20 şer gram olacak şekilde yerleştirilmiş ve spektral okumaya hazır hale getirilmiştir. Laboratuvarda yapılan spektroradyometrik okumaları için hazır hale getirilen 2 mm'lik elekten elenmiş toprak örneklerinin 350-2500 nm dalga boyundaki yansımaları Spektroradyometre (ASD FieldSpecPro III) ile Harran Üniversitesi Spektroradyometre – EM 38 laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Yansıma okumaları 350-2500 nm dalga boyu aralığında, 1 nm çözünürlükte toplanmıştır.



Şekil 2. Toprak örneklerinin yansımalarının alınmasında kullanılan Field Spec III Spektroradyometre düzeneği ile toprak örneklerinin yansımalarının alınması  
Figure 2. Taking the reflections of soil samples with Field Spec III Spectroradiometer set

Topraklardan elde edilen yansımalar beyaz standart (whitespektral on standart material) ile alınan yansıma ile orantılandıktan sonra nihai yansımaları hesaplanmıştır (Şekil 2);

$$R = \frac{\text{Toprak Yansıması}}{\text{White Spektral on Yansıması (Referans)}}$$

### İstatistiksel analizler ve modelleme

İstatistiksel analizlerden önce elde edilen toprak yansımaları ViewSpecPro programı yardımıyla ASCII metin dosyalarına dönüştürülmüş, daha sonra Excel ortamına taşınarak her bir noktada ölçülen yansıma okumaları istatistiksel işlemler için laboratuvarında ölçülmüş toprak özellikleri ile birleştirilerek kalibrasyon ve tahmin için hazır hale getirilmişlerdir.

### Temel bileşenler analizi (PCA)

PCA çok değişkenli bir istatistiksel yöntem olarak değişken sayısının azaltılmasında ve örüntü tanımada kullanılır. PCA hem orijinal veri setinde bulunan varyasyonu korur hem de verilerin boyutunu azaltır. PCA nin amacı bir veri kümesindeki yüksek düzeyde ilişkili değişkenleri temel bileşenler olarak adlandırılan, ilişkisiz değişkenlerden meydana gelen daha küçük bir veri kümesine dönüştürmektir. PCA veri setindeki orijinal değişkenlerin ağırlıklı doğrusal kombinasyonlarıdır (Brejda ve ark., 2000). Temel Bileşen Analizi (PCA), Unscumbler programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### Kısmi en küçük kareler regresyonu (Partial least square regression; PLSR)

Toprak yansımaları ile farklı toprak parametreleri arasındaki ilişkiler PLSR metodu kullanılarak modellenmiştir. Toprak yansımaları ve toprak elektriksel iletkenliği arasındaki kalibrasyon kısmi en küçük kareler regresyon analizi ile yapılmıştır. PLSR metodu X (Spektral yansımalar) ve Y (Toprak özellikleri – Lab ölçümleri) matrisleri arasındaki ilişkiyi doğrusal çok değişkenli bir modelle açıklar. Çok değişkenli regresyon modelinden (MLR) farklı olarak PLRS tekniği spektral veri gibi aralarında önemli oranda

korelasyon bulunan çok fazla sayıdaki X değişkenlerinin (Bu çalışmada ki X veri sayısı 2150 adet) olduğu veri setlerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir (Esbensen, 2010). PLSR kalibrasyon modellerinin validasyonu hem birebir çapraz doğrulama (Cross Validation) hem de bağımsız veri setleri kullanarak gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada ki örnek sayısı gözönünde bulundurularak PLSR kalibrasyon modellerinin validasyonu tek çıkışlı çapraz doğrulama (leave one out cross validation) yaklaşımıyla yapıldı. Bu yaklaşımda her bir iterasyonda bir örnek veri setinden çıkarılıp model kalan verilerle kurulmakta, bu işlem tüm örnekler aynı işleme tabi tutuluncaya kadar sürdürülür. Çapraz doğrulama metod kalibrasyon ve validasyonda kullanılan PLSR tekniğinde ayrıca optimum sayıdaki faktörün seçiminde de kullanılmaktadır (Milos ve Bensa, 2018). PLSR modelleri Unscumbler programında yürütülmüştür.

### Tahminlerin doğruluğu

PLSR kullanarak VNIRS tekniğiyle elde edilen yansımalar ve toprak analiz sonuçları arasında oluşturulan modellerin tahmin doğruluğu belirleme katsayısı, tahmin hataları ortalamalarının karakökü (RMSEP), performansın sapmaya oranı (RPD) gibi parametreler ile değerlendirilmiştir. RMSEP değeri validasyon seti içindeki örneklerin 1: 1 regresyon çizgisi etrafındaki dağılımı ve ortalama hatayı ölçer. RMSEP gerçek değerler ile tahminler arasındaki farkların ortalamalarının karakökleri olarak hesaplanır (Eşitlik 1);

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{tahmin}} - Y_{\text{lab.gözlemi}})^2}{n-1}} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Formüldeki n validasyon setindeki örnek sayısını,  $Y_{\text{tahmin}}$  ve  $Y_{\text{lab.gözlemi}}$  tahmin değerlerini ve gerçek analiz değerlerini göstermektedir.  $R^2$  (Tespit katsayısı), dataların regresyon çizgisine yakınlığı belirler; RPD parametresi validasyon setindeki verilerin standard sapmasının RMSEP değerine bölünmesi ile elde edilir (Eşitlik 2);

$$RPD = \frac{SD}{RMSEP} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

## Araştırma Bulguları ve Tartışma

### Toprak özellikleri

VNIRS modellerinin toprak özelliklerinin tahminindeki başarısı açısından önemli parametrelerin aralıklarının seviyesi ve değişim oranları Tablo 1 de verilmektedir. Dört farklı ana materyal üzerinde meydana gelmiş toprak profillerinden horizon esasına göre alınan topraklara ait parametreler oldukça geniş bir dağılım göstermiştir. Ortalama % 33.06 olan toprak  $\text{CaCO}_3$  içerikleri geniş bir aralığa sahip olarak % 13.36 ile % 67.36 arasında bir değişim göstermiştir. Benzer bir şekilde toprak kum, kil ve silt içerikleri de geniş dağılım gösteren parametreler arasında yer almıştır. Toprakların organik madde kapsamı % 0.46 ile % 4.21 aralığında bir dağılım göstermiştir. Data seti içerisinde yer alan farklı toprak grupları içerisinde sınıflandırılmış toprakların pH seviyeleri de geniş bir aralığa sahip olarak 6.43 ile 7.95 arasında değişim göstermiştir. Değişebilir katyonlar arasında en yüksek konsantrasyona sahip olan Ca çok geniş bir aralığa sahip olarak  $31.93 \text{ me } 100 \text{ g}^{-1}$  ile  $152.35 \text{ me } 100 \text{ g}^{-1}$  arasında değişim göstermiştir. Değişebilir Ca içeriklerini sırasıyla yoğunluk olarak Mg, K ve Na izlemiştir. Toprakların elverişli P içerikleri  $0.70 \text{ kg da}^{-1}$  ile  $16.07 \text{ kg da}^{-1}$  arasında değişim göstermiştir. ICP ile analiz edilen toplam Fe ve Al içerikleri ise sırasıyla  $17.61 - 1302 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $6.89 - 977 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişim göstermişlerdir. Geniş dağılımların yanısıra bazı parametreler oldukça yüksek değişim göstermiştir. Parametreler arasında en yüksek değişime en yüksek Varyasyon katsayısına P (% 103) sahip olmuştur ve bunu sırasıyla değişebilir Mg,  $\text{CaCO}_3$ , değişebilir K, Al, organik madde, Fe ve EC izlemiştir. Parametreler arasında en düşük Varyasyon Katsayısına sahip pH

(% 3.23 ) olmuştur diğer parametreler ise orta seviyede değişim göstermiştir (Çizelge 1). Araştırmacılara göre toprak özelliklerinin değişkenliklerinin belirlenmesinde en bilinen parametre varyasyon katsayısıdır (VK). İncelenen parametreleri sahip oldukları varyasyon katsayılarına göre gruplara ayrılmıştır buna göre; VK değerleri % 15' un altında olan parametrelerin yersel değişkenlikleri düşük bulunurken % 36' un üzerindeki VK katsayısına sahip değişkenler ise yüksek oranda değişken olarak nitelendirilmiştir Cambardella ve ark. (1994). Turgut ve Öztaş (2012) benzeri sonuçlar elde etmişlerdir araştırmacıların  $100 \text{ ha}'$  lık bir alandan topladıkları toprak data setindeki en yüksek ve en düşük varyasyon katsayısı gösteren parametreler sırasıyla P ve pH olmuştur. Araştırmacılar P daki yüksek değişimin çalışma alanındaki farklı bitki desenine ve ona göre yapılan fosforlu gübre uygulamalarından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Oldukça geniş bir alanı ve toprak yapılarını kapsayan çalışma toprakları da benzer biçimde oldukça farklı bitki desenleri altında farklı gübreleme amenajmanlarına maruz kalmıştır. Başbozkurt ve ark. (2013) de adet toprak veri setinde pH yı en düşük Varyasyon Katsayısına sahip olan parametre  $\text{CaCO}_3$  muhtevasını da en yüksek parametre olarak belirtmişlerdir.

Toprak parametreleri arasındaki korelasyon tablosu incelendiğinde bazı önemli pozitif ve negatif ilişkiler bulunmuştur. Kireç ile kil, Fe arasında önemli negatif korelasyon, pH ile Fe arasında önemli negatif, kum ile K arasında önemli negatif korelasyon, kil ile Na arasında önemli negatif korelasyon, ayrıca organik madde içerikleri ile K ve P arasında önemli pozitif ilişkiler ve P ile K arasında da önemli pozitif ilişki tespit edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 1. Toprak özelliklerine ait tanıttıcı istatistikler

Table 1. Descriptive statistics of soil properties

	pH	EC dS m <sup>-1</sup>	Kireç %	Kum %	Kil %	Silt %	Organik Madde Organic Matter %	Ca me 100 g <sup>-1</sup>	K me 100 g <sup>-1</sup>	Mg me 100 g <sup>-1</sup>	Na me 100 g <sup>-1</sup>	KDK me 100 g <sup>-1</sup>	Fosfor Phosphorus kg da <sup>-1</sup>	Fe mg kg <sup>-1</sup>	Al mg kg <sup>-1</sup>
Ortalama	7.50	1.22	33.06	34.78	44.91	20.31	0.94	54.17	0.83	5.93	0.59	35.07	3.04	519.98	393.50
Standart S	0.24	0.72	22.78	15.07	13.60	7.14	0.57	22.27	0.56	4.99	0.25	10.86	3.14	309.20	251.13
VK <sup>†</sup>	3.23	59.43	68.90	43.33	30.29	35.17	60.92	41.10	67.17	84.18	42.06	30.97	103.07	59.46	63.82
Basıklık	5.46	-0.73	-0.30	-0.25	-0.53	0.71	18.26	8.92	3.32	2.79	4.59	0.12	9.21	-0.45	-0.14
Çarpıklık	-1.48	0.54	0.54	1.01	-0.57	-0.10	3.64	2.51	1.64	1.79	2.06	-0.19	2.92	0.41	0.43
Aralık	1.52	2.59	83.31	54.00	52.00	36.00	3.75	120.42	2.77	19.77	1.20	52.10	15.37	1284.39	970.59
En Büyük	6.43	0.21	1.09	13.36	12.64	0.00	0.46	31.93	0.17	0.70	0.34	7.71	0.70	17.61	6.89
En Küçük	7.95	2.80	84.40	67.36	64.64	36.00	4.21	152.35	2.94	20.47	1.54	59.80	16.07	1302.00	977.48

Çizelge 2 Toprak parametreleri arasındaki korelasyonlar

Table 2 Correlations between soil parameters

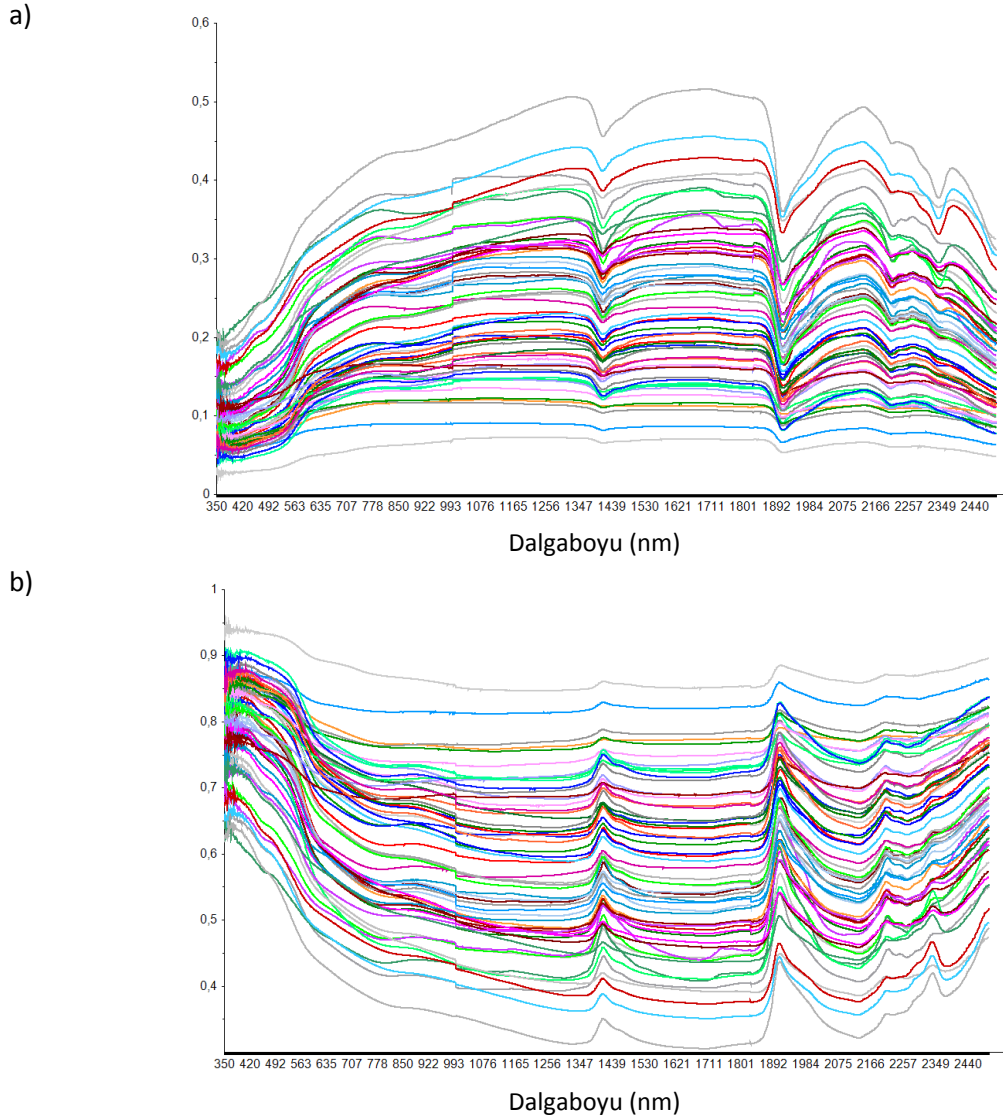
	Kireç Lime (%)	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	Kum Sand (%)	Kil Clay (%)	Silt Silt (%)	Organik Madde Organic Matter (%)	Ca (me 100 g <sup>-1</sup> )	K (me 100 g <sup>-1</sup> )	Mg (me 100 g <sup>-1</sup> )	Na (me 100 g <sup>-1</sup> )	KDK (me 100 g <sup>-1</sup> )	Fosfor Phosphorus (kg da <sup>-1</sup> )	Fe (kg da <sup>-1</sup> )
Kireç (%)	1.00													
pH	0.38**	1.00												
EC (dS m <sup>-1</sup> )	-0.02	-0.33**	1.00											
Kum (%)	0.43**	0.22	-0.18	1.00										
Kil (%)	-0.50**	-0.21	0.03	-0.88**	1.00									
Silt (%)	0.04	-0.05	0.32*	-0.43**	-0.05	1.00								
Organik M (%)	-0.27*	0.01	-0.11	-0.15	0.11	0.12	1.00							
Ca (me 100 g <sup>-1</sup> )	-0.39**	-0.09	0.34**	-0.08	0.04	0.08	-0.09	1.00						
K (me 100 g <sup>-1</sup> )	-0.27*	-0.15	-0.08	-0.38**	0.40	0.05	0.49**	0.03	1.00					
Mg (me 100 g <sup>-1</sup> )	-0.68**	-0.39**	-0.28*	-0.18	0.23	-0.06	0.18	-0.04	0.08	1.00				
Na (me 100 g <sup>-1</sup> )	-0.06	0.08	0.06	0.31*	-0.48**	0.26*	-0.26*	0.27*	-0.48**	0.12	1.00			
KDK (me 100 g <sup>-1</sup> )	-0.36**	-0.29*	0.21	-0.45**	0.33**	0.31**	0.23	0.12	0.29*	0.26*	0.06	1.00		
Fosfor (kg da <sup>-1</sup> )	0.10	0.01	-0.11	0.13	-0.17	0.05	0.62**	-0.27*	0.63**	-0.05	-0.29*	0.15	1.00	
Fe (kg da <sup>-1</sup> )	-0.75**	-0.39**	0.01	-0.28*	0.38**	-0.13	0.34**	0.18	0.27*	0.61**	-0.13	0.32**	-0.03	1.00

\*p&lt;0.05: p &lt;0.01 seviyesinde önemli

**Toprak yansımalarının karakterizasyonu**

Dört farklı ana materyaller üzerinde meydana gelmiş topraklar Amerikan Toprak sınıflandırma sistemine göre İnceptisol ve Vertisol büyük toprak grupları içerisinde yer almıştır. Kurak ve yarı kurak iklim altındaki farklı ana materyaller (Çamur

akıntıları, Kireçtaşı, Marn ve Bazaltik) üzerinde meydana gelmiş toprak profillerden horizon esasına göre alınmış farklı derinliklerdeki toprak örneklerinin görülebilir ve yakın kızılötesi dalga boylarında alınan ham yansımaları ve absorbans değerlerine ait grafikler Şekil 3 de verilmektedir.

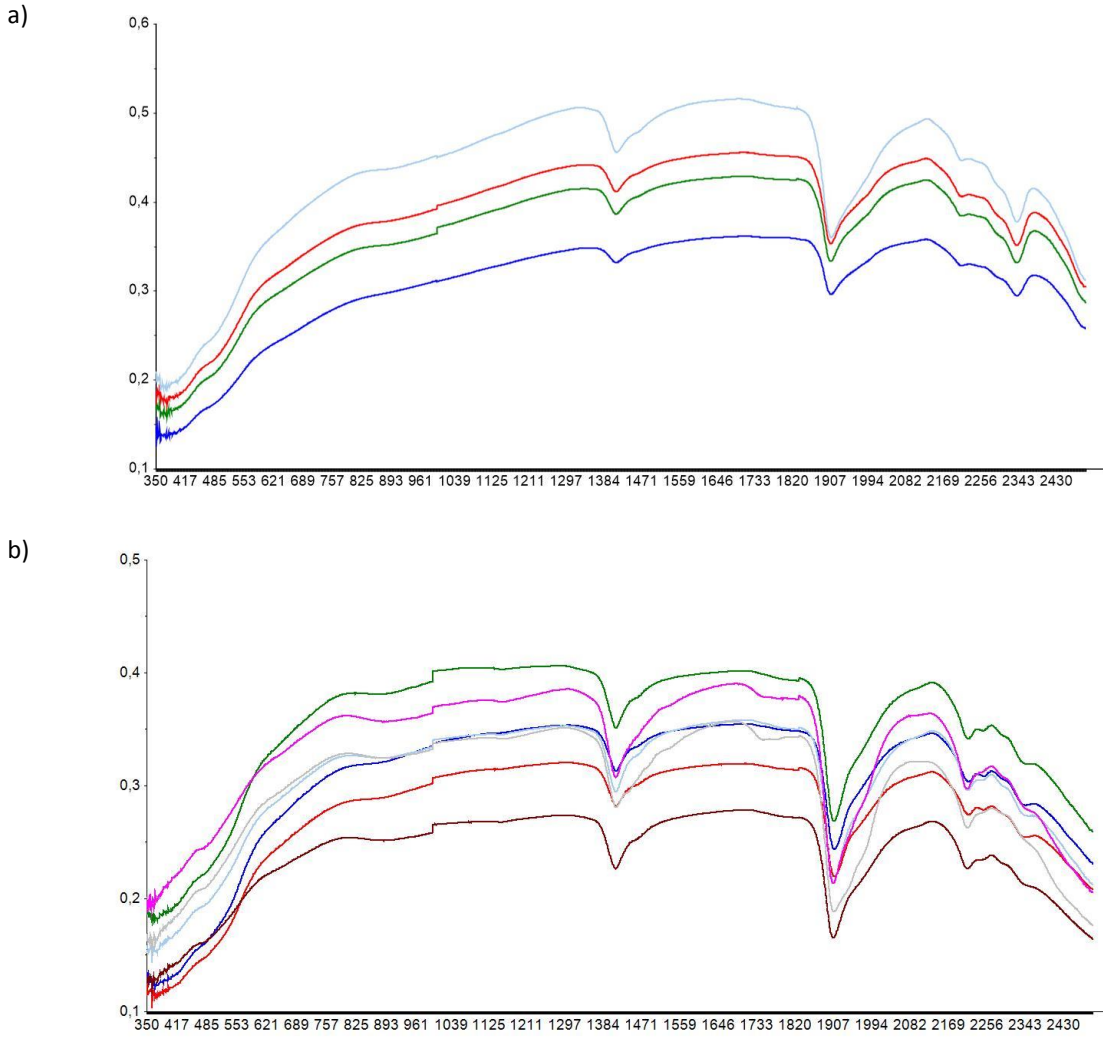


Şekil 3. Topraklara ait ham spektral yansımalar (R) (a) spektral absorbans değerleri (1/R) (b)  
Figure 3. Raw spectral reflections of soils (R) (a) spectral absorbance values (1 / R) (b)

Araştırma alanından açılan profillerin horizonlarından toplanan topraklara ait yüzde ham yansımalar % 2 ile % 51 arasında değişim göstermiştir (Şekil 3a). Buna göre yansıma oranları geniş bir aralığa sahip olmuştur. Ham yansımalarda toprakda ki OH iyonları ve su molekülleri nedeniyle

meydana gelen 1400, 1900 ve 2200 nm civarındaki absorpsiyon piklerinin yanısıra, yakın kızıl ötesi bölgede de toprakların mineral içeriklerine bağlı olarak farklı dalga boylarında (2200, 2350 nm) absorpsiyon pikleri meydana gelmiştir (Şekil 3).





Şekil 4.  $\text{CaCO}_3$  (a) ve Jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (b) içeriğinde zengin topraklara ait yansımalar ve adsorpsiyon pikleri  
 Figure 4. Reflections and adsorption peaks of soils rich in  $\text{CaCO}_3$  (a) and Gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (b)

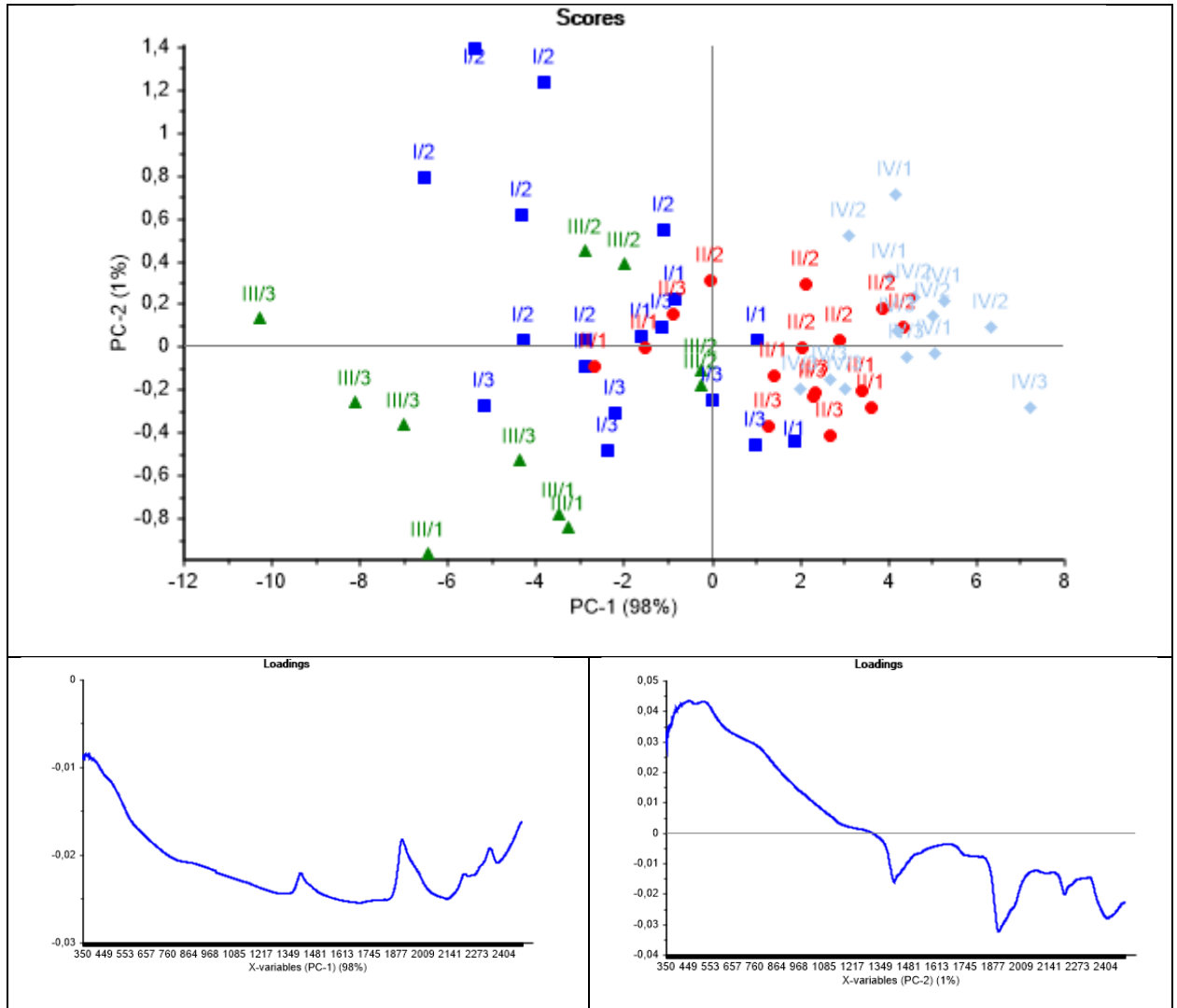
Toprak yansımalarının seviyesi topraklardaki  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve kil içeriğince ve organik madde ile açıklanmaya çalışılmıştır. Genel olarak  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve kilce ve organik maddece zengin topraklardaki yansıma oranları, bu materyallerce fakir olan topraklara nazaran daha düşük bulunmuştur (Bellinosa ve ark., 2010). 1400 ve 1900 nm deki OH iyonu ve su molekülleri kaynaklı absorpsiyon piklerinin yanısıra, kızılötesi bölgede 2200 ve 2300 nm dalga boylarında toprak içi kil mineralleri kaynaklı bandlar oluşmuştur (Dalal ve Henry, 1986; Clark, 1999). Araştırmadaki toprak yansımalarının detaylı incelemesi yapıldığında bazı dalga boylarında spesifik adsorpsiyon pikleri oluşmuştur; 2200 nm dalga boyunda özellikle 2: 1 tipi kil mineralleri ve Kaolinit mineralleri ile özellikle  $\text{CaCO}_3$  ca zengin olan topraklarda ise 2350 nm aralığında belirgin bir adsorpsiyon bölgesi meydana gelmiştir (Şekil 4a). 2200 nm ve 2350 nm

deki adsorpsiyon pikleri karbonatlar ve 2:1 tipi kil minerallerince zengin topraklarda tespit edilmiştir (Milos ve Bensa, 2018; Bellinaso ve ark., 2010). Data seti içerisinde ayrıca jips mineralince zengin topraklarda bulunan bandlara sahip topraklar da yer almıştır (Şekil 4b). Bu gruptaki örnekler detaylı incelendiğinde bu örneklerin özellikle diğer toprak örneklerine ait yansılardan farklı olarak 1440, 1750, 1940 ve 2200 nm civarında adsorpsiyon pikleri göstermektedir. Bu pikler topraklardaki jips minerallerinin varlığını göstermektedir ve jips minerali içeriği yüksek toprakların varlığı hakkında bilgi vermektedir (Howari ve ark., 2002; Farifteh ve ark., 2006). Şekil 3b jips minerali muhtevası yüksek topraklara ait yansımaları göstermektedir. Jips muhtevasının varlığı ve karakterizasyonu önemlidir. Jips muhtevasının varlığı toprak tuzluluğu ve alkaliliğini önlemede önemlidir.

**Temel bileşenler analizi (PCA)**

Ham yansımalara PCA analizi uygulanmıştır. İlk iki PCA toprak ham yansımaları içerisindeki toplam değişimin % 99'luk (PC1 % 98, PC2 % 1) bir kısmını açıklamıştır. PC1 ağırlık grafikleri topraklara ait

genel absorbanş şeklini yansıtırken; PC2 ağırlıkları ise özellikle 450-460 nm aralığında yüksek pozitif değerler alırken 1900-1910 nm aralığında, 1414 nm ile 2216 ve 2400 nm civarlarında yüksek negatif yüklere sahip olmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. Temel Bileşenler Analizi (PCA); a) Skorlar (Scores) b) Ağırlıklar (Loadings)  
Figure 5. Principal Component Analysis (PCA); a) Scores b) Loadings (Weights)

İki PC Oliveira ve ark. (2013) tarafından yürütülen çalışmada da yaklaşık % 97.4' lük bir değişimi açıklayabilmiştir. Araştırmacılara göre bu çalışmaya benzer şekilde negatif ağırlık faktörlerine sahip birinci PCA genel olarak yansıma yüzdeleri ile ilişkilendirilmiş, ikinci PC ise belli dalga boylarında pikler elde edilmiştir.

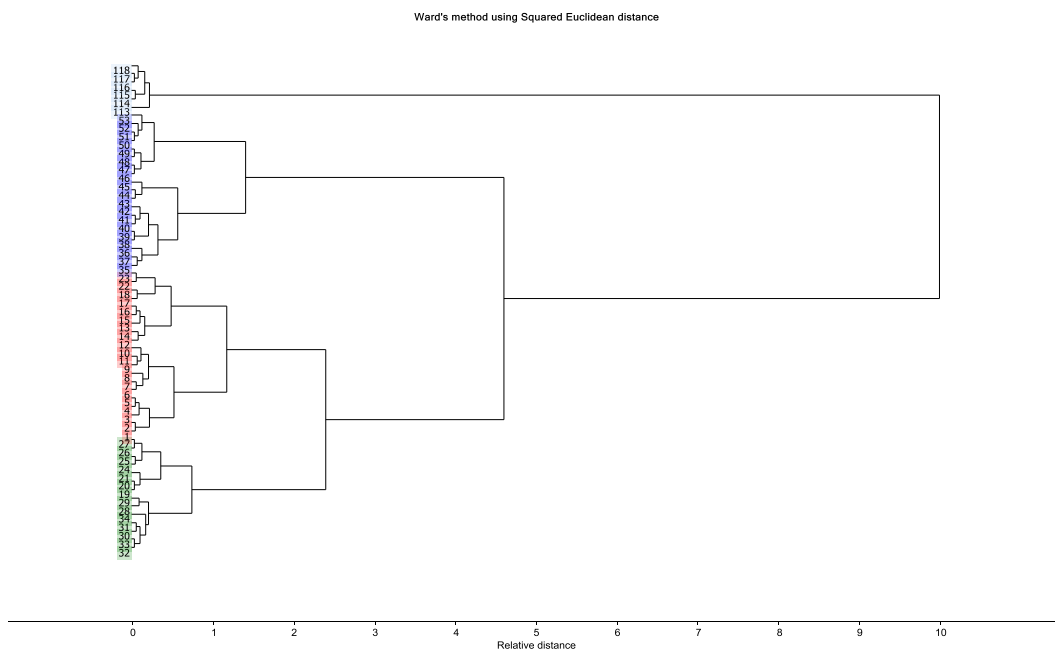
PCA metodu spektroskopik verilerin analizinde daha öncede kullanılmıştır ve PCA analizinin spektral verinin fiziksel yorumun da yardımcı olabileceği belirtilmiştir (Bellinaso ve ark., 2010; Oliveira ve ark., 2013). Araştırma konusu toprakların ham yansıma değerlerine Temel Bileşenler analizi (PCA) uygulandıktan sonra bazı

örneklerin gruplandığı görülmüştür (Şekil 5). Bazaltik ana materyal üzerinde oluşmuş topraklara ait profiller (IV nolu) PC2 tarafından diğer toprak gruplarından ayrıldığı görülmektedir. Bu gruptaki topraklar genel olarak diğer toprak gruplarına göre farklı olarak daha az oranda kireç içeriğine sahiptir. Ayrıca IV-1 ve IV – 2 nolu gruptaki topraklardan ayrılan IV-3 nolu profile ait toprakların kireç içerikleri IV-1 ve IV – 2 nolu gruptaki toprakların kireç içeriklerine göre daha düşüktür. Kireç içerikleri farklı toprak grupları arasındaki ayırma yardımcı olan önemli bir özellik olarak ön plana çıkmaktadır.

### Kümeleme analizi ile spektral sınıflandırma

Farklı ana materyal üzerinde oluşmuş toprakların ham spektral yansımalarına PCA analizine tabi tutulduktan sonra kümeleme analizi uygulanarak toprakların yansımalarına göre gruplandırılmaları sağlanmış, Yansımaya karakteristiklerine göre kümeleme analizi ile dört farklı gruba ayrılan topraklar Şekil 6` da gösterilmektedir. Dört farklı gruba atanan topraklar ile farklı ana materyallere göre araziden toplanmış örneklerin gerçek sınıfları

karşılaştırılarak hata matrisi oluşturulmuştur (Çizelge 3). Hata matrisine göre spektral yansımaya sonuçlarına göre kümeleme analizi ile ayrılan sınıflar ile örneklerin arazide belirlenen sınıfları arasında % 61 oranında doğruluk elde edilmiştir. Sınıflandırma sonucu elde edilen gruplar ile arazideki gerçek gruplar arasındaki doğruluk seviyesi ayrıca kappa istatistiği kullanarak kıyaslanmıştır. İki sınıflandırma arasındaki uyumu gösteren kappa istatistik değeri 0.62 olarak bulunmuştur.



Şekil 6. Kümeleme analiz sonuçları  
Figure 6. Cluster analysis results

Çizelge 3. Spektral karakteristiklere ve arazi çalışmalarına göre toprakların farklı ana materyal gruplarına göre sınıflandırılmasını gösteren hata matrisi

Table 3. Error matrix showing the classification of soils according to different parent material groups according to spectral characteristics and field studies

		B (Spektral Sınıflandırma)			
		I	II	III	IV
A (Arazi Sınıflandırması)	I	12	6	0	0
	II	6	10	0	0
	III	0	7	0	4
	IV	0	0	0	14

I – Çamur akıntıları II – Kireçtaşları III-Marn IV- Bazaltik ana materyal

Kappa değerleri daima 1 e eşit ya da daha azdır. Kappa değeri 1 sınıflandırma için karşılaştırılan her iki metot arasında mükemmel bir uyumu, 1 den az olan değerler ise farklı şekilde gruplandırılmıştır. Karşılaştırılan iki metot arasındaki uyum Kappa

değerlerine göre 0.01 – 0.20 arasında ise düşük, 0.21-0.40 yeterli, 0.41- 0.60 arası orta ve 0.61-0.80 arası önemli ve 0.81-1.00 arası ise mükemmel olarak belirtilmiştir (Landis ve Koch, 1977). Buna göre araştırma dan elde edilen kappa değeri (0.62)

spektral yansımalar ve arazi ölçümlerine göre yapılan gruplar arasındaki uyumun orta ve önemli seviyede başarılı olduğunu göstermektedir.

#### PLSR model ve toprak parametrelerinin tahmini

Kısmi En Küçük Kareler Regresyon tekniği ile toprak parametreleri ve yansımaları arasında kurulan kalibrasyon modelleri yardımıyla toprak parametrelerinin tahminleri gerçekleştirilmiştir.

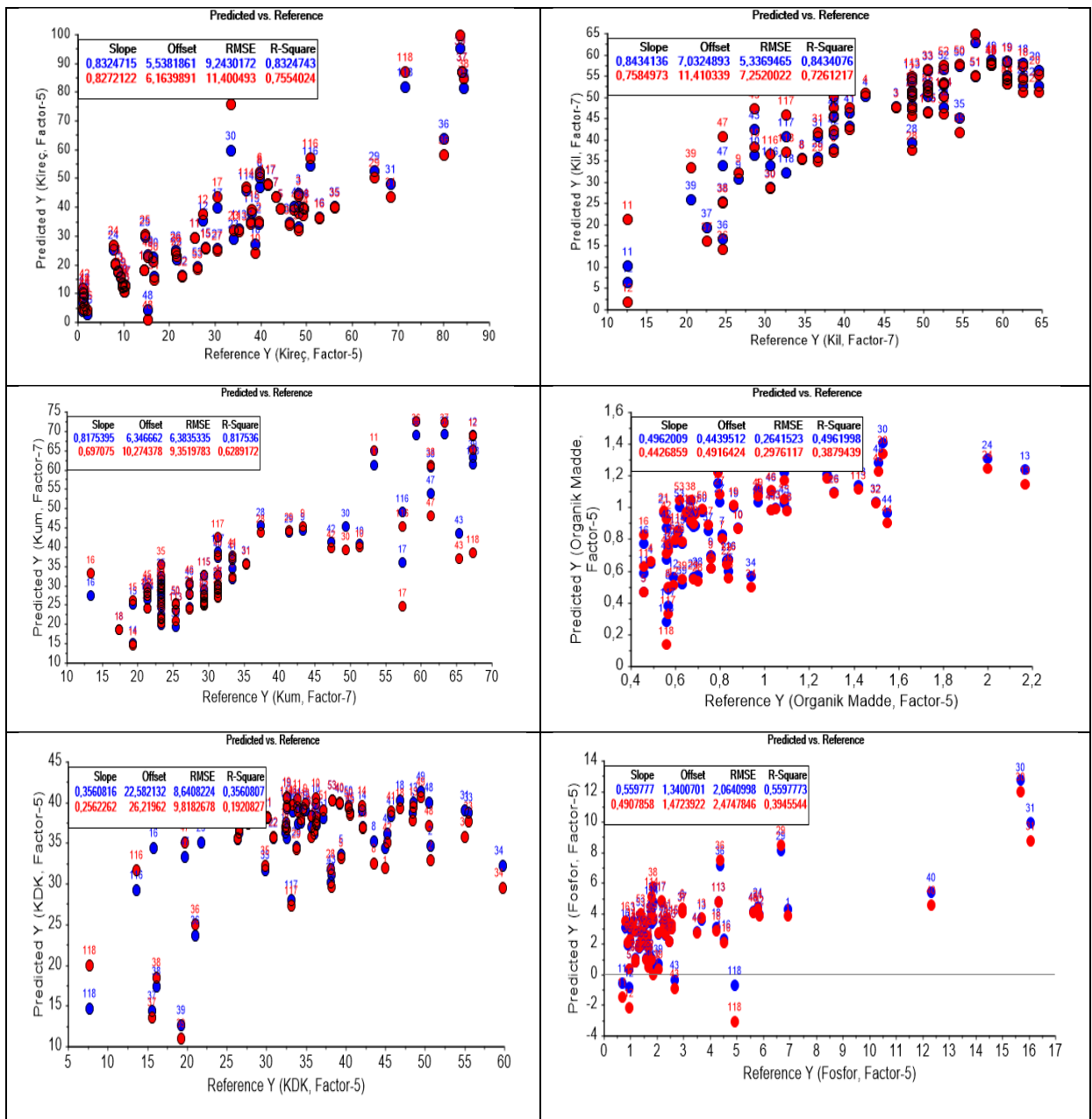
Tahminlerin doğrulukları çapraz doğrulama (cross validation) yaklaşımı ile test edilmiştir. Farklı toprak parametrelerine ait çapraz doğrulama test sonuçlarını gösteren tahminler ve gerçek değerler arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 7- 8 arasında, ayrıca test sonuçlarına ait R<sup>2</sup> değerleri, RMSEP ve RPD değerleri Çizelge 4` de verilmektedir.

Çizelge 4. PLSR modeli çapraz doğrulama sonuçları

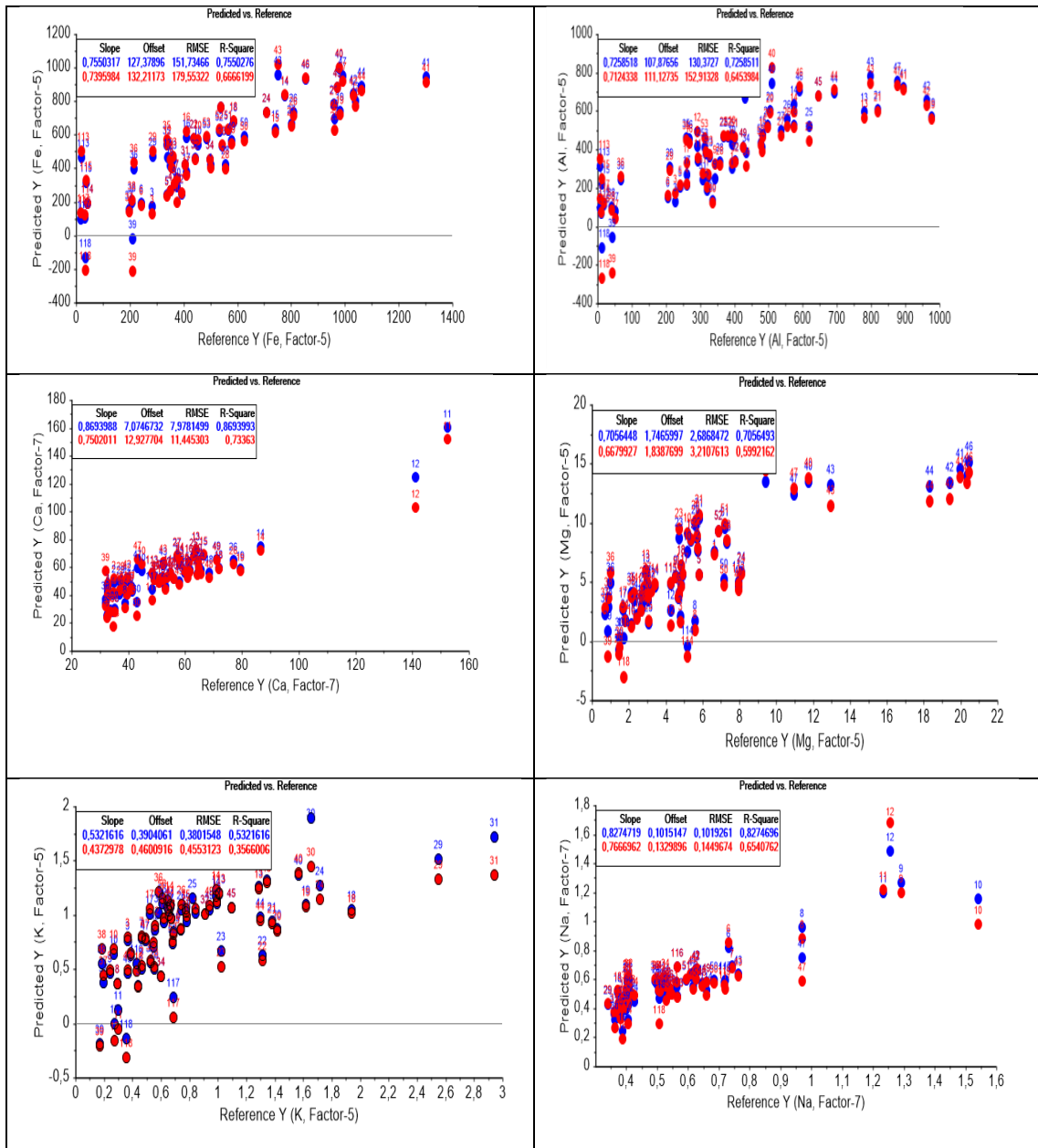
Table 4. PLSR model cross validation results

		Kalibrasyon		Validasyon		
		RMSEC <sup>†</sup>	R <sup>2</sup>	RMSEP <sup>‡</sup>	R <sup>2</sup>	RPD
CaCO <sub>3</sub>	%	9.24	0.83	11.4	0.76	1.99
Kil	%	5.33	0.84	7.25	0.73	1.87
Kum	%	6.38	0.82	9.35	0.63	1.61
Organik Madde	%	0.473	0.30	0.51	0.21	1.26
KDK	me 100 g <sup>-1</sup>	8.64	0.36	9.81	0.19	1.12
Ca	me 100 g <sup>-1</sup>	7.97	0.87	11.44	0.73	2.03
Mg	me 100 g <sup>-1</sup>	2.68	0.70	3.21	0.59	1.55
K	me 100 g <sup>-1</sup>	0.38	0.53	0.46	0.36	1.23
Na	me 100 g <sup>-1</sup>	0.10	0.83	0.14	0.65	1.71
P	kg da <sup>-1</sup>	2.06	0.56	2.47	0.39	1.27
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	151.7	0.76	179.5	0.67	1.72
Al	mg kg <sup>-1</sup>	130.3	0.73	152.9	0.65	1.64

<sup>†</sup>Root Mean Square Error of Calibration (Kalibrasyon Hata Kareler Ortalaması) ; <sup>‡</sup> Root Mean Square Error of Prediction (Tahmin Hata Kareler Ortalaması)



Şekil 7. PLSR çapraz doğrulama kalibrasyon ve çapraz doğrulama ile tahminler  
 Figure 7. Predictions with PLSR cross validation calibration and cross validation



Şekil 8. PLSR çapraz doğrulama kalibrasyon ve çapraz doğrulama ile tahminler  
Figure 8. PLSR calibration and estimations with cross-validation

Tahminlerin doğruluğu  $R^2$  ve RPD değerlerine göre yorumlanabilir. 0.50 ile 0.66 arasındaki  $R^2$  değerleri modelin yüksek ve düşük değerler arasında ayırım gücü yapabildiğini, 0.66 ile 0.80 arasındaki  $R^2$  değerleri yaklaşık sayısal bir tahmin yapabildiğini, 0.81 ve 0.90 arasındaki  $R^2$  değerleri ise tahminlerin iyi olduğunu  $R^2$  değerleri 0.90`ın üzerinde ise mükemmel bir tahmin olduğunu gösterir (Saeys ve ark., 2005). Chang ve ark. (2001) tarafından da RPD değerlerine göre modeller; RPD değeri  $\geq 2$  ise "iyi" modeller,  $1.4 \leq RPD < 2$  olanlar "yeterli" tahmin ederken,  $RPD < 1.4$  ise "kötü" tahmin modelleri olarak sınıflandırılmıştır. Buna sınıflandırmalara göre toprak parametreleri arasında değişebilir Ca ve  $\text{CaCO}_3$  için VNIRS tekniği ile yapılan tahminler başarılı, Kil, Kum, değişebilir

Mg ve Na, Fe ve Al için yapılan tahminler orta seviyede başarılı bulunurken elverişli fosfor, değişebilir K, KDK, organik madde için yapılan tahminler ise zayıf olarak belirlenmiştir. Orta kategorideki tahminler farklı kalibrasyon ve yansıma analiz stratejileri kullanılarak iyileştirebilir, fakat zayıf kategorideki yer alan tahminler ise güvenilir olmayabilir (Chang ve ark., 2001).

Önemli bir toprak kalite parametresi olan toprak organik maddesinin muhtevası ve içeriği toprak yansıması üzerine önemli bir etkiye sahiptir. Toprağın rengi toprağın organik madde içeriğiyle yakından ilişkilidir, daha yüksek oranlarda organik maddeli topraklar daha koyu renklere sahip olarak, toprak organik maddesi ile görülebilir bölgedeki

ışık yansımaları arasındaki ilişkiye de işaret etmektedir (Ting ve ark. 2009). VNIRS metodu toprak organik maddesinin tahmininde başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Wetterlind ve ark., 2008; Ting ve ark., 2009; Bilgili ve ark., 2010). Mevcut çalışmada ise organik maddenin VNIRS metodu kullanılarak tahmin edilmesi amacıyla kurulan PLSR modelinin başarı oranı düşük bulunmuştur (Çizelge 4, Şekil 6). Bunda diğer toprak özelliklerinin maskeleyici etkilerinin olması söz konusu olabilir. Stenberg ve ark. (2002) kum içeriğince zengin topraklarda ışığın dağılımının söz konusu olduğu ve kumun organik madde adsorpsiyonunu maskeleyici bir özelliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir ve toprak organik maddenin başarılı tahminleri için data setindeki kumlu toprakların kaldırılması gerektiğini açıklamışlardır. Benzer şekilde de araştırma konusu topraklarının kireç içeriğince zengin olması ve kireç benzer bir etkiyle organik maddenin adsorpsiyon etkisini maskelediği bu nedenle de organik madde ile toprak yansımaları arasında elde edilen modellerin zayıf olduğu düşünülmektedir. Çok yakın bir zamanda yürütülmüş olan bir çalışmada spektrometre tekniği ve PLSR metodu kullanılarak yapılan organik madde tahmininde R<sup>2</sup> değerleri 0.80-0.93 aralığında elde edilmiştir (Lazar ve ark. 2020). Bu araştırma dan farklı olarak toprakların pH seviyeleri ve kireç içerikleri farklılık göstermektedir. Organik madde ile pozitif korelasyonlu olan P ve K gibi elementlerin tahminleri de başarısız olmuştur. Yansımaya doğrudan etkili olmayan toprak parametrelerin tahmin başarısında bunların yansımaya doğrudan etkili olabilecek birincil parametreler ile arasındaki ilişkilerin seviyesi de etkilidir (Bilgili ve ark., 2010).

Şenol ve Akgül (2013), Isparta, Burdur, Denizli, Antalya ve Afyonkarahisar bölgeleri yaygın toprak gruplarından açılan 16 profilden horizon esasına göre aldıkları toprak örneklerinin bazı özellikleri ile toprakların spektrometre ile elde edilen yansımaları arasında kurulan modeller kullanılarak yapılan tahminlerde araştırmacılar bu araştırmaya kıyasla organik madde, değişebilir K ve KDK için daha başarılı sonuçlar elde ederken, Kil, Kum ve değişebilir katyonlar gibi parametreler için ise bu

çalışmada elde edilen sonuçlara göre daha başarısız sonuçlar elde etmişlerdir. Her iki çalışmada da araştırmacılar CaCO<sub>3</sub> tahminleri için benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

## Sonuçlar

Farklı ana materyal üzerinde açılmış profillerden horizon esasına göre alınmış toprak örnekleri laboratuvar gözlemleri ve spektral karakteristikleri bakımından önemli bir değişim göstermiştir. Farklı toprak grupları arasında ki en büyük ayırt edici farklılıklar toprakların farklı dalga boylarında (2200, 2350 nm) belirgin karakteristik özelliklere sahip CaCO<sub>3</sub> ve mineral kapsamları bakımından olmuştur. Toprakların spektral bilgilerini kullanan PCA toprak profillerini açtıkları ana materyallere göre ayırmada başarılı bulunmuştur. Ayrıca VNIRS tekniği araştırma alanındaki toprak özelliklerinin tahminlerinde orta seviyede başarılı bulunmuştur. PLSR metodu genel olarak yansımaları ile toprak özellikleri arasındaki doğrusal olan ilişkileri modellemekte olduğundan, VNIRS tekniği kullanılarak yapılacak toprak özellikleri tahminlerinin başarılarının doğrusal olmayan ilişkileri modelleyen istatistiksel metotlar kullanılarak da test edilmesi gerekmektedir. Elde edilen sonuçlar metodun adli bilimlerde toprakların ayırımında başarılı bir şekilde kullanılabileceğini de göstermiştir.

## Çıkar Çatışması

Makale yazarları, aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Yazar Katkısı

Recep Gündoğan ve Ali Volkan Bilgili çalışmayı tasarlamış, Yüstra İnci ve Ali Volkan Bilgili analiz etmiş, Yüstra İnci, Recep Gündoğan saha araştırmasını yürütmüş, Ali Volkan Bilgili ve Yüstra İnci makaleyi yazmıştır.

## Kaynaklar

Allison, L. E., & Moodie, C. D. (1965). Carbonate. In A.G. Norman (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, (pp. 1379-

- 1396), Second Edition. Agronomy, No. 9, Part 2, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Başbozkurt, H., Öztaş, T., Karabrahimoğlu, A., Gündoğan, A., & Genç, A. (2013). Toprak Özelliklerinin Mekânsal Değişim Desenlerinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 44 (2): 169-181.
- Bellinaso, H., Demattê, J. A. M., & Romeiro, S. A. (2010). Soil spectral library and its use in soil classification. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(3), 861-870.
- Bendor, E., & Banin, A. (1995). Near-infrared analysis (NIRA) as a method to simultaneously evaluate spectral featureless constituents in soils. *Soil Science*, 159(4), 259-270.
- Brejda, J. J., Karlen, D. L., Smith, J. L., & Allan, D. L. (2000). Identification of regional soil quality factors and indicators II. Northern Mississippi Loess Hills and Palouse Prairie. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 2125-2135.
- Bilgili, A., Çullu, M., & Aydemir, S. (2014). Tuzdan Etkilenmiş Toprakların Yakın Kızılötesi Yansıma Spektrometre Ve Elektromanyetik İndüksiyon Tekniği Yardımıyla Karakterize Edilebilme Potansiyelinin Araştırılması. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 18(1), 33-46.
- Bogrekci, İ., & Lee, W.S. (2007). Comparison of Ultraviolet, Visible, and Near Infrared Sensing for Soil Phosphorus. *Biosystem Engineering*, 96 (2), 293-299.
- Brown, D.J., Shepherd, K.D., Walsh, M.G., Mays, M.D., & Reinsch, T.G. (2006). Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 132, 273-290.
- Cambardella C.A., Moorman T.B., Novak J.M., Parkin T.B., Karlen D.L., Turco R.F. & Konopka, A.E. (1994). Field scale variability soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, 58:1501-1511.
- Chang, C.W., Laird, D., Mausbach, M.J., & Hurburgh Jr, C.R. (2001). Near-infrared reflectance spectroscopy-principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65(2), 480.
- Clark, R.N., & Roush, T.L. (1984). Reflectance spectroscopy: Quantitative analysis techniques for remote sensing applications. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 89(B7), 6329-6340.
- Dalal, R.C., & Henry, R.J. (1986). Simultaneous determination of moisture, organic carbon, and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry. *Soil Science Society of America Journal*, 50(1), 120-123.
- Demattê, J.A., Campos, R.C., Alves, M.C., Fiorio, P.R., & Nanni, M R. (2004). Visible-NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. *Geoderma*, 121(1-2), 95-112.
- Dunn, A.J. (2002). *Survey of Legislation, Agricultural Law*. University of Arkansas at Little Rock. Law Review.
- Fang, Y.M., Zhu, B.K., Zhu, D., Christie, P., Ke, X., & Zhu, Y. G. (2018). Exposure to nanoplastics disturbs the gut microbiome in the soil oligochaete *Enchytraeus crypticus*. *Environmental Pollution*, 239, 408-415.
- Farifteh, J., Farshad, A., & George, R.J. (2006). Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modelling, and geophysics. *Geoderma*, 130(3-4), 191-206.
- Fang, Q., Hong, H., Zhao, L., Kukulich, S., Yin, K., & Wang, C. (2018). Visible and near-infrared reflectance spectroscopy for investigating soil mineralogy: A review. *Journal of Spectroscopy*, 2018,1-14.
- Gee, G.W. & Bauder J.W. (1986). Particle-size Analysis. In A. Klute (Ed.) *Methods of Soil Analysis Part 1*. (pp. 383-411). Soil Science Society of America Book Series 5, Madison, Wisconsin, USA..
- Güzel, Ş.G. (2017). Harran Ovası topraklarının bazı özelliklerinin jeostatistiksel (kriging-method) yöntemle belirlenerek haritalanması/Determination and mapping of some soil properties of Harran Plain by geostatistic method (Kriging) (Doctoral dissertation).
- Howari, F. M., Goodell, P. C., & Miyamoto, S. (2002). Spectral properties of salt crusts formed on saline soils. *Journal of Environmental Quality*, 31(5), 1453-1461.
- Jackson, M. L. (1958). *Soil chemical analysis*. Verlag: Prentice Hall. Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- Janzen, H. H. (1993). Soluble salts. In Carter, M.R. (Ed.), *Soil sampling and methods of analysis*.(pp. 161-166). CRC Press Inc., Florida.
- Keskin, M., & Görücü K. S., (2012). *Hassas Tarım Teknolojileri*. Hatay. Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, (35), 210.
- Kooistra, L., Wehrens, R., Leuven, R.S.E.W., & Buydens, L.M.C., (2001). Possibilities of visible/near-infrared spectroscopy for the assessment of soil contamination in river floodplains. *Anal. Chim. Acta*, 446, 97-105.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*, 363-374.
- Lazaar, A., Mouazen, A. M., Hammouti, K. E., Fullen, M., Pradhan, B., Memon, M. S., & Monir, A. (2020). The application of proximal visible and near-infrared spectroscopy to estimate soil organic matter on the Triffa Plain of Morocco. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(2), 195-204.
- Miloš, B. & Bensa, A. (2017). VIS-NIR spektroskopisi kullanılarak toprak organik karbonunun tahmini: Hırvatistan'dan Kırmızı Akdeniz topraklarına uygulama. *Eurasian Journal of Soil Science*, 6 (4), 365-373.
- Miloš, B. & Bensa, A. (2018). Tarımsal topraklarda organik karbon ve kalsiyum karbonatların Vis-NIR spektroskopisi ile tahmini. *Poljoprivreda* , 24 (1), 45-51.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter, In A.L. Page (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 2 Chemical and Microbiological Properties* (pp. 539-579). Second Edition. Agronomy, No. 9, Part 2, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Oliveira, J.F., Brossard, M., Vendrame, P.R.S., Mayi, S., Corazza, E.J., Marchao, L., & Guimaraes, M.F. (2013). Soil discrimination using diffuse reflectance Vis-NIR spectroscopy in a local toposequence. *Comptes Rendus Geoscience*, 345, 446-453.
- Oliveira, M. N., Santos, T. M., Vale, H. M., Delvaux, J. C., Cordero, A. P., Ferreira, A. B., ... & Borges, A. C. (2013).



- Endophytic microbial diversity in coffee cherries of Coffea arabica from southeastern Brazil. *Canadian journal of microbiology*, 59(4), 221-230.
- Özgül, M. M. (2018). *Hassas tarım*. Akfon Yayınları, Ankara.
- Poppiel, R.R., Lacerda, M.P.C., Oliveira Junior, M.P., Demattê, J.A.M., Romero, D.J., Sato, M.V., Almeida Júnior, L.R., & Cassol, L.F.M. (2018). Surface spectroscopy of Oxisols, Entisols and Inceptisol and relationships with selected soil properties. *Rev Bras Cienc Solo*, 42:e0160519.
- Şenol, H., & Akgül, M. (2013). Farklı Sıcaklık ve Nem Rejimleri ile Farklı Jeolojik Ana Materyal Üzerindeki Toprakların Oluşumu ve Mineralojisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(1), 41-52.
- Tekin, Y., & Tümsavaş, Z. (2012). Toprak Özelliklerinin Belirlenmesinde Spektrofotometrik Yansımalarından Yararlanma Olanakları. *U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26 (2), 37-45.
- Thomas, G. W. (1983). Exchangeable Cations. In A.L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, (pp.159-165). Second Edition. Agronomy, No. 9, Part 2, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Ting, H., Jing, W., Zongjian, L., & Ye, C. (2009). Spectral Features of Soil Organic Matter. *Geo-spatial Information Science*, 12 (1), 33-40.
- Turgut, B., & Öztaş, T. (2012). Assessment of spatial distribution of some soil properties with geostatistics method. *Ziraat Fakültesi Dergisi-Süleyman Demirel Üniversitesi*, 7(2), 10-22.
- Tümsavaş, Z., Tekin, Y., Ulusoy, Y., & Mouazen, A. M. (2017). Prediction of Soil Sand and Clay Contents via Visible and Near-Infrared (Vis-NIR) Spectroscopy. In *Intelligent Environments 2017: Workshop Proceedings of the 13th International Conference on Intelligent Environments* (Vol. 22, p. 29). IOS Press.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agric. Handb. 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Wetterlind, J., Stenberg, B., & Rossel, R. A. V. (2013). Soil analysis using visible and near infrared spectroscopy. *Methods Mol Biol*, 2013;953:95-107 Zhang, X., Sun, X., Sun, Y., Sun, W., & Cen, Y. (2018). Predicting nickel concentration in soil using reflectance spectroscopy associated with organic matter and clay minerals. *Geoderma*, 327, 25-35.