

Boyut Azaltılmış Temel Bileşenler ve Lasso Regresyonları Kullanılarak Spektral Veri Tabanlı Bazı Kimyasal Özelliklerin Belirlenmesi

Ufuk KARADAVUT¹, Ömer SÖZEN^{2*}, Volkan KARADAVUT³

¹Karabük Üniversitesi, Temel Bilimler Bölümü, Karabük

²Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Sivas

³Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mucur Meslek Yüksekokulu, Kırşehir

*Sorumlu Yazar: omers@sivas.edu.tr

Geliş Tarihi: 22.02.2024 Düzeltme Geliş Tarihi: 05.07.2024 Kabul Tarihi: 05.07.2024

ÖZ

Büyüme, gelişme ve farklılaşma canlıların hayatları boyunca sürekli olarak yaşadıkları fizyolojik değişimlerdir. Özellikle bitkilerde bu kendisini farklı şekil ve boyutlarda gösterebilmektedir. Ekolojik faktörler yaşanan fizyolojik değişimleri yönlendirebilmektedir. Bunun içinde ekolojik faktörlerin özellikle belirlenmesi ve etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Faktörlerin ve etkilerinin belirlenebilmesi için çok farklı yöntemler kullanılabilmektedir. Özellikle çok değişkenli istatistiksel yöntemler ile regresyon analizleri bu konuda bizlere yol gösterici olmakta ve çok değerli bilgiler verebilmektedirler. Bu çalışmada baklagil tarımı yapılan topraklardan alınan örneklerin spektral analiz yöntemi ile elde edilen verileri Boyut Azaltılmış Temel Bileşenler ve Lasso Regresyonları Kullanılarak özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kırşehir ilinde yürütülen bu çalışmada kil miktarı, organik madde miktarı, pH, fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyumun (Mg) miktarlarına bakılmıştır. Spektral verileri ise Vis-NIR ve XRF cihazları kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerden yararlanılarak verilerin modellenmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerin tümü R project programında yapılmıştır. Elbow kuralı, temel hata kareler ortalamasını (RMSE) en aza indirmek için kullanılmıştır. Sonuç olarak spektral analiz sonuçlarının kullanılmasının kişiye bağlılığı azaltılabileceği gibi ciddi tasarruf sağlayabilecek nitelikte bulunmuştur. Ancak bu konuda çok daha fazla çalışmanın yapılması ileriye yönelik olarak yapılacak çalışmalarda hata payının azaltılmasına katkı sağlayabilecektir.

Anahtar kelimeler: Spektral analiz, temel bileşenler analizi, lasso regresyon toprak özellikleri, besin maddeleri.

As Spectral Database-Based Determination Of Some Chemical Properties Using Dimensionally Reduced Principal Components And Lasso Regressions

ABSTRACT

Growth, development and differentiation are physiological changes that living things constantly experience throughout their lives. Especially in plants, this can manifest itself in different shapes and sizes. Ecological factors can direct the physiological changes experienced. For this purpose, ecological factors must be specifically identified and their effects examined. Many different methods can be used to determine factors and their effects. In particular, multivariate statistical methods and regression analyzes guide us in this regard and can provide very valuable information. In this study, it was aimed to determine the properties of samples taken from legume cultivated lands using the data obtained by the spectral analysis method using Dimensionally Reduced Principal Components and Lasso Regressions. In this study conducted in Kırşehir province, the amount of clay, amount of organic matter, pH, phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) were examined. Spectral data were obtained using Vis-NIR and XRF devices. Modeling of the data was carried out by using the data obtained. All analyzes were made in the R project program. Elbow rule was used to minimize the basic mean square error (RMSE). As a result, it has been found that the use of spectral analysis results can reduce

personal dependence and provide serious savings. However, conducting more studies on this subject may contribute to reducing the margin of error in future studies.

Key words: Spectral analysis, principal component analysis, lasso regression soil properties, plants nutrients.

GİRİŞ

Bitkinin büyümesi ve gelişmesi için uygun koşulların oluşması önemlidir. Bu koşulların etkisi sadece büyüme açısından değil aynı zamanda farklılaşmanın yerine getirilebilmesi içinde gerekli görülmektedir. Ekolojik faktörler büyüme ve gelişme için önemli olduğu gibi aynı zamanda verim ve kalitenin de belirleyicisi durumda olabilmektedirler (Weih ve ark., 2017). Yemelik dane baklagil bitkilerinin büyümeleri aynı zamanda kök bölgesinin gelişiminin de bir göstergesidir (Aldemir ve Ceyhan, 2015; Uzun Kayış ve Ceyhan, 2015; Sözen ve Uçar, 2022). Kök gelişimi, bitkiler için en hayati kısımlardan birisidir. Kök gelişimi iyi olan bitkilerin toprak üstü kısımlarının da iyi gelişmesi beklenmektedir. Çünkü bitkiler kökleri ile toprağa bağlanarak canlılıklarını sürdürebilmek ve gelecek nesillerini devam ettirebilmek için su, mineral meddeler ve fizyolojik faaliyetleri için gerekli olan hormon sentezlerini yapabilmektedirler (Ferguson ve ark., 2010; Balaban ve Adak, 2024). Baklagil bitkileri kazık köklü olmaları nedeniyle toprağın derinlerine kadar inebilmekte ve bu özellikleri nedeniyle toprakla iletişimini daha da artırmaktadır (Caetano-Anoll'es ve Gresshoff, 1991).

Baklagil bitkileri köklerinin özel yapısı nedeniyle toprakla çok daha farklı ilişki içindedirler. Köklerindeki nodüller sayesinde nitrojen üretmekte ve doğal gübreleme yapabilmektedir (Sözen ve Yağmur, 2021; Doğan ve ark., 2023). Nitrojen üretiminin sürekliliğinin sağlanması ve bitkilerin verim ve kalite bakımından yeterliliklerini sürdürebilmeleri için toprak koşullarının yakından izlenmesi gerekmektedir. Toprak yapısı bitkinin su ve besin maddesi alınmasına izin vermeyecek özelliklerde bir yapıya sahipse bitki fizyolojik olarak strese girebilir ve öncelikle hormonal denge bozulması nedeniyle fotosentez azalmakta, topraktan nitrojen alımının azalması ile protein sentezin yapılamamakta ve bitki büyümesi gerilemektedir (Brewin, 2004; Urbano ve ark., 2007). Buna bağlı olarak da öncelikle kuru madde birikiminde ciddi azalmalar görülmekte çiçeklenme oranı ve buna bağlı olarak da verim belirgin şekilde azalmaktadır (Robertson ve ark., 1984).

Toprak özelliklerinin iyi bilinmesi ve değişimlerinin sürekli olarak izlenmesi, bitkilerin verim ve kalitelerinin korunması için önemli süreçler arasında yer almaktadır (Yano ve ark., 2008). Toprak özelliklerinin buldukları yerde mekânsal yoğunluklarının izlenmesi ürün yönetimi açısından bizleri olumlu şekilde yönlendirebilmektedir (Biancolillo ve Marini, 2018). Özellikle ürün yönetimi bakımından yol göstericilik kapasitesi çok yüksek olan toprak haritalarının oluşturulması ve buna bağlı olarak topraktaki değişimlerin çok daha yakından ve hassa bir şekilde izlenmeleri çok değerli ve önemli bilgiler sağlayabilmektedir (Wollenhaupt ve ark., 1994). Bunun yapılmaması durumunda toprak izlenmesi ihmal edilmiş olur ve buna bağlı olarak ta toprağın bölgesel yoğunluklarındaki değişimler gözlenemez (Rossel ve ark., 20011). Bitkilerin kök bölgelerinde değişimlerin izlenmesi verim ve kalitenin sürdürülebilir şekilde korunması açısından önemli görülmektedir. Toprakta ne kadar çok bilgi elde edebilirsek büyüme ve gelişmeyi de büyük ölçüde kontrol edebiliriz. Toprakta alınan her bilgi toprak yapısındaki bölgesel ya da kesitsel değişimleri bizlere açıklayacaktır (Gage, 2004). Toprak analizleri her dönem yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Ancak yapılan toprak analizleri alına örneklerin sağlıklı ve güvenilir şekilde alınmadıklarından gerçekçi bilgiler vermekten çoğu zaman uzak olmaktadır (Öztürk, 2021). Bir diğer sorunda toprak analizi yaptırmak çoğu zaman zahmetli ve maliyetli işler sınıfından sayıldığından yaptırılmak istenmemekte ya da zorunlu hallerde farklı yerlerden örneklerin getirilmesi şeklinde yapılabilmektedir (Wang ve ark., 2015).

Dünya ekolojik olarak ciddi sorunlar yaşamaya başlamıştır. Bunların başında da iklim krizi gelmektedir. Kriz zamanlarında daha hızlı ve doğru kararların alınması gerekmektedir. Bunun için de toprağın daha yakından izlenmesi ve yetiştiricilik için doğru kararların alınmasının sağlanması gerekmektedir. Tarımsal üretimde yaşanan gelişmeler baklagil bitkileri içinde yaşanmaktadır. Sürdürülebilirlik açısından laboratuvar analizlerinin daha hızlı ve kolay şekilde yapılması ve bunların etkin şekilde kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Son yıllarda toprak hakkında daha fazla bilgi sahibi olmak için çalışmalarını farklı boyutlara taşıyarak teknolojiyi kullanarak farklı veri toplama yöntemleri kullanılmaya çalışılmaktadır. Bunların başında hissedici (sensör) kullanımı yer almaktadır (Molin ve Taveres, 2019). Ancak bunun içinde istatistiksel modeller yer almakta ve bu modellerin aktif şekilde kullanılması gerekliliği vardır. Modellerin ana amacı bitkisel üretime etki yapacak faktörlerin belirlenebilmesidir. Bu konuda yaygın kullanılan görünür ve yakın kızılötesi dağınık yansıma spektroskopisi (Vis-NIR) ve X-ışını floresans spektroskopisi (XRF) yer almaktadır (Wei ve ark., 2022). Bu teknikler klasik toprak analizlerinin şimdilik yerine geçmeyecektir. Ancak elde edilen verileri daha başarılı şekilde değerlendirmesi konusunda bizlere değerli bilgiler verebileceklerdir (Kuang ve ark., 2012). Son yıllarda hızla yaygınlaşan makine öğrenimi ilerlemeye başlamış ve tarımsal alanda da kullanılmaktadır. Makine öğrenimi ile gerekli kalibrasyonlar yapıldıktan sonra çalışma yapılacak baklagil topraklarından spektral veriler elde edilebilecektir. Böylece daha hızlı, güvenilir ve

sürdürülebilir tahminleme yapılabilecektir. Son yıllarda yürütülen çalışmalarda toprağın Vis-NIR spektrumları yardımıyla topraktaki kil, organik madde (OM), organik karbon (OC) ve nem içeriği hakkında değerli bilgiler elde edilmeye başlanmıştır (Pasquini, 2018). Nawar ve ark. (2019) ise sahadan alınan spektral veriler ile çok sağlıklı tahminlemeler yapılabildiğini ve demir (Fe), alüminyum (Al), silisyum (Si), kalsiyum (Ca), potasyum (K) ve pH'ın başarılı şekilde belirlenebileceğini belirtmektedirler. Bu çalışmada spektral veriler yardımıyla XRF ve Vis-NIR verileri kullanılarak toprak özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve METOT

Çalışmada kullanılan toprak örnekleri, baklagil tarımı yapılan Kırşehir Ahi Evran Üniversitesinin Araştırma ve Uygulama sahasından alınmıştır. 27 adet toprak örneği, aktif olarak tarım yapılan alandan 0-20 cm derinlikten alınmıştır. Örneklerin alındığı yerlerin dokusal farklılıklara sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen örnekler önce normal hava şartlarında kurutulmuş ve 2 mm elekten geçirildikten sonra saklanmışlardır. Çalışmada kil miktarı, organik madde miktarı, pH, fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyumun (Mg) miktarlarına bakılmıştır. Spektral verileri ise Vis-NIR ve XRF cihazları kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerden yararlanılarak verilerin modellenmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Veri modellemesinde Temel Bileşenler Regresyonu ve Lasso Regresyonu (En Küçük Mutlak Shrinkage Seçim Operatör Yöntemi) olmak üzere iki farklı regresyon yöntemi kullanılmıştır. Temel Bileşenler Regresyonunda ana bileşenler analizi yapıldıktan sonra seçilen değişkenler ile yeni bir regresyon modeli kurulması amaçlanmaktadır (Shedecor ve Cochran, 1989). Böylece özellikle model içinde yer alan değişkenler arasında gözlenmesi muhtemel negatif ve pozitif yönlü ilişkilerin önüne geçilmesi sağlanmaktadır. Çoklu Doğrusal Regresyonu çok sayıda bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini belirlemeye yardımcı olmaktadır (Draper ve Smith, 1998). Lasso Regresyon ise değişken seçimin yanında değişkenlerin düzenlenmesinde (regularizasyon) kullanılmaktadır. Sahip olduğu etkinlik ve hızlilik nedeniyle özellikle büyük verilerde başarılı olmaktadır (Melkumova ve Shatskikh, 2017).

Temel Bileşenler Regresyon temel olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi temel bileşenleri elde edebilmek için veri matrisi üzerinde temel bileşenler analizini gerçekleştirmek, ikincisi tahmin edilen regresyon katsayıları için doğrusal regresyonu kullanmak ve üçüncüsü ise temel bileşenler regresyonuna ait tahmin ediciyi (β) kullanabilmek için temel bileşenler analizinde elde edilen özvektörleri kullanmaktır.

Temel Bileşenler Regresyon analizinin eşitliği şu şekildedir;

$$\beta_R = V_k \delta_R$$

Burada β_R temel bileşenler regresyonunun tahmin edicisini, k : 1,2,...,p'kadar giden sayıları, p eş değişken sayısını, V özvektör (eigen değerleri) değerler kümesini ve δ ise tahmin edilen regresyon katsayılarının vektörünü ifade etmektedir.

Lasso regresyon eşitliği ise şu şekilde verilebilir;

$$\beta_{Lasso} = \sum_{i=1}^N (y_i - \sum_j x_{ij} \beta_j)^2 + \lambda \sum_j p_j = 1 |\beta_j|$$

Burada x_{ij} standardize edilmiş özellikleri, y_i hedef verinin merkez değerlerini ve $i=1,2,...,N$ ve $j=1,2,...,p$ değerlerini oluşturmaktadır.

Analizlerin tümü R project programında yapılmıştır. Elbow kuralı temel hata kareler ortalamasının (RMSE) en aza inmesi için kullanılmıştır. Bunun içinde varyansın maksimize edilmesi gerekliliği bulunmaktadır (Bholowalia ve Kumar, 2014). Elbow kuralı bu işlem için en uygun model olarak tanımlanmaktadır. Böylece açıklanan varyansın %70'in üzerine çıkması sağlanabilir. Doğrulama olarak RMSE ve R^2 kullanılmıştır. Değişken seçiminde en düşük RMSE ve en yüksek R^2 değeri istenmektedir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Yürütülen çalışmada veri modellemesinde Temel Bileşenler Regresyonu, Çoklu Doğrusal Regresyonu ve Lasso Regresyonu (En Küçük Mutlak Shrinkage Seçim Operatör Yöntemi) olmak üzere üç farklı regresyon yöntemi kullanılmıştır. Temel Bileşen Regresyonu yöntemi ile elde edilen kimyasal değerlere ilişkin sonuçlar Çizelge 1'de gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde NIR yöntemi için kil değişkeninin açıklanan varyans bakımından %82,11 ile en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Açıklanmayan kısım ise %17,89 olarak belirlenmiştir. Bu değişkeni %74,28 açıklanan varyans ve %25,72 açıklanamayan varyans ile organik madde değişkeni izlemiştir. En düşük açıklanan varyans %20,08 ve en yüksek açıklanamayan varyans ise %79,92 ile Fosfor değişkeninde olmuştur. Belirleme katsayısı, bağımsız değişkenin bağımlı değişkendeki değişimi açıklama oranını vermektedir. Bu çalışmada NIR için en yüksek belirleme katsayısı 0,80 ile Potasyum (K) değişkeninde olurken, bu değişkeni kil 0,79 ile izlemiştir. En düşük belirleme katsayısı ise 0,46 ile Bor (B) değişkeninde tespit edilmiştir. XRF çalışmasında ise en yüksek açıklanan varyans %79,54 değeri ile yine kil değişkeninde olurken bunu %74,17 ile organik madde izlemiştir. Açıklanamayan varyans bakımından ise %20,46 ile kil ve %25,83 ile organik madde en düşük değerlere

sahip olmuşlardır. Buna göre kil ve organik madde varyansı açıklama bakımından en önemli değişkenler olarak görülmektedir. Belirleme katsayısı olarak 0,81 ile potasyum (K) önde yer alırken, bunu 0,80 ile kil izlemiştir. RMSE değerleri de her iki ölçüm yöntemi için belirleme katsayılarına göre değişiklikler göstermiştir. Demirkaya ve Öztürk (2022), kil bakımından zengin topraklarda yetiştirilen bitkilerin verim ve kalite bakımından çok daha iyi durumda olduklarını belirtmişlerdir. Rossel ve ark. (2016) ise kil minerallerinin spektral olarak incelenmesinden bitki yetiştiriciliği açısından önemli olduklarını belirtmişlerdir. Bitki köklerinin sağlıklı şekilde gelişebilmesi için belli oranlarda kile gereksinim bulunmaktadır. Belli seviyelerin altında ya da üzerinde olmaları bitki kök gelişimini ve buna bağlı olarak bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Saygın ve Aydın, 2023). Diğer minerallerinde varyansı açıklamadaki seviyeleri bitkiye olan yarıyıllık miktarlarına göre değişim göstermektedir (Heinze ve ark., 2013). pH'nın belirleme katsayısının genel olarak %50 civarında olduğu görülmektedir. Bu pH'nın diğer elementlere göre daha kararlı bir yapıya sahip olmasıyla açıklanabilmektedir (Parat ve ark., 2002). Baumann ve ark. (2002), karışık ekim durumlarında biraz farklılığın olabileceğini ancak bitki besin maddelerinin suyla yıkanmadığı sürece büyük değişimlerin olmadığını belirtmektedirler. Yürütülen bu çalışmada spektral olarak incelenen karakterler bakımından O'Rourke ve ark. (2016) ve Sharma ve ark. (2014)'nin bulgularıyla benzer olması önemli olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. Temel bileşenler regresyonuna ait bazı kimyasallarının model uyum sonuçları

Ölçüm Şekli	Değişkenler	Açıklanan Varyans (%)	Açıklanamayan Varyans (%)	R ²	RMSE
NIR	Kil (g kg ⁻¹)	82,11	17,89	0,79	34,18
	Organik Madde (g kg ⁻¹)	74,28	25,72	0,76	5,28
	pH	69,64	30,36	0,51	16,67
	P (mmol kg ⁻¹)	20,08	79,92	0,62	1,39
	K (mmol kg ⁻¹)	55,60	44,40	0,80	2,25
	Ca (mmol kg ⁻¹)	59,03	40,97	0,74	10,76
	Mg (mmol kg ⁻¹)	70,27	29,73	0,56	10,23
	Fe (mmol kg ⁻¹)	38,82	61,18	0,49	9,56
	B (mmol kg ⁻¹)	43,11	56,89	0,46	7,11
XRF	Kil (g kg ⁻¹)	79,54	20,46	0,80	29,04
	Organik Madde (g kg ⁻¹)	74,17	25,83	0,77	6,12
	pH	70,02	29,98	0,53	14,72
	P (mmol kg ⁻¹)	22,38	77,62	0,59	1,44
	K (mmol kg ⁻¹)	57,41	42,59	0,81	2,77
	Ca (mmol kg ⁻¹)	60,11	39,89	0,76	9,86
	Mg (mmol kg ⁻¹)	68,49	31,51	0,55	8,70
	Fe (mmol kg ⁻¹)	32,92	67,08	0,51	11,38
	B (mmol kg ⁻¹)	44,22	55,78	0,45	10,42

Değişkenlerdeki varyansın kaynağını bilmek önemlidir. Bunlar bilindiği taktirde varyansa etki eden ya da kaynağını oluşturan değişkenler üzerinde daha başarılı çalışmalar ve tahminlemeler yapılabilecektir (Düzgüneş ve Akman, 1985). Toprak çok kısa alanlar içinde büyük değişimler gösterebilme özelliğine sahip olması nedeniyle varyasyon çok daha önemli hale gelmektedir (Kaçar, 2012). Varyansın kaynağı bilinmeden yürütülecek çalışmaların başarılı olması mümkün olmamaktadır. Yürütülen çalışmada hem Vis-NIR hem de XRF toprak özellikleri tahmin sonuçlarının benzer çıkması anlamlı ve önemli bulunmuştur. Aynı zamanda belirleme katsayısı yüksek olan kil, organik madde ve pH'nın spektral tepkiyi daha iyi gösterdiklerini ifade etmektedir. Spektral tepkinin yüksekliği tanımlama başarısının da yüksek olacağını ifade etmektedir (Silva ve ark., 2017). Diğer özelliklerin spektral tepkilerinin az olduğu ya da temel bileşenler regresyonun tahminleme başarısının düşük olduğu yönünde bir açıklama yapılamamıştır. Ancak topraktaki varyasyonun yüksek olması spektral yansımanın miktarını etkileyebildiğinden yansıma miktarı olmadığı için daha düşük tanımlama başarısı gösterilmiş olabilir (Diks ve Vrugt, 2010). Burada yapılmak istenen daha az veriyle daha yüksek tanımlama başarısını gösterebilmektir. Spektral bölgelerin iyi oluşturulabilmesi, spektral bölgelerin tanımlanma başarısını artırabilmektedir (Rossel ve Webster, 2011).

Çalışmada değerlendirilen bazı kimyasalların Lasso Regresyonu ile elde edilen model uyum sonuçları Çizelge 2'de verilmektedir. Tablo incelendiğinde α değerlerinin hem NIR ve hem de XRF ölçümlerinde incelenen özelliklere göre ciddi oranda farklılık göstermiştir. En düşük α değeri, 0,10 ile demir (Fe)'de olurken, bunu 0,15 ile

Kil, potasyum (K), magnezyum (Mg) ve bor (B) izlemiştir. En yüksek değer ise 0,90 ile fosfor (P)'da gözlenmiştir. λ değerinin ise en yüksek Kil'de (4,790) olduğu bunu 3,812 ile potasyum (K)'un izlediği tespit edilmiştir. Diğer değişkenlerin organik madde haricinde bir değerinin altında ve sifıra yakın oldukları görülmektedir. Bu sapmaların azaldığını göstermesi bakımından önemli bulunmaktadır. Ancak λ miktarının azalması modele yeni değişkenlerin alınması gerektiğini de bizlere belirtmektedir. λ bir hiper parametre olarak görev yapmaktadır. Sifıra yakın olarak elde edilen katsayıları sifıra çekerek düzenleme işlemi yaptığı için önemlidir. λ 'nın büyük olması sifıra yakın olan katsayıların sifıra çekilme oranını artıracaktır. Kil, fosfor ve organik madde, modeli tanımlama bakımından oldukça başarılı olmuşlardır. Bu özellik hem NIR ve hem de XRF için benzer olmuştur.

Çizelge 2. Lasso regresyonuna ait bazı kimyasallarının model uyum sonuçları

Ölçüm Şekli	Değişkenler	α	λ	R^2	RMSE
NIR	Kil (g kg ⁻¹)	0,15	4,790	0,83	31,08
	Organik Madde (g kg ⁻¹)	0,20	1,349	0,79	2,844
	pH	0,35	0,451	0,76	0,805
	P (mmol kg ⁻¹)	0,90	0,056	0,56	1,053
	K (mmol kg ⁻¹)	0,15	3,812	0,73	2,095
	Ca (mmol kg ⁻¹)	0,50	0,784	0,68	1,386
	Mg (mmol kg ⁻¹)	0,15	0,053	0,49	0,388
	Fe (mmol kg ⁻¹)	0,10	0,669	0,57	0,793
	B (mmol kg ⁻¹)	0,15	0,491	0,62	0,659
XRF	Kil (g kg ⁻¹)	0,15	5,030	0,81	34,30
	Organik Madde (g kg ⁻¹)	0,15	1,361	0,80	2,791
	pH	0,30	0,816	0,75	0,792
	P (mmol kg ⁻¹)	0,95	0,882	0,60	1,237
	K (mmol kg ⁻¹)	0,10	4,015	0,69	2,118
	Ca (mmol kg ⁻¹)	0,55	1,003	0,66	0,993
	Mg (mmol kg ⁻¹)	0,15	0,477	0,51	0,416
	Fe (mmol kg ⁻¹)	0,10	0,811	0,49	0,879
	B (mmol kg ⁻¹)	0,10	0,506	0,61	0,557

R^2 değerlerine bakıldığında NIR için 0,49 (Mg) ile 0,83 (Kil) arasında değiştiği görülürken, XRF'de ise 0,49 (Fe) ile 0,81 (Kil) arasında değişmiştir. Belirleme katsayılarındaki yükseklik aynı zamanda açıklanan varyansın da yüksek olduğunu belirttiği için çalışmanın başarılı olduğu açıklayabilmektedir (Bellon-Maurel ve ark., 2010). RMSE değerleri de belirlenme katsayılarına göre değişiklikler göstermiştir (Kotthoff ve ark., 2019). Elde edilen bu sonuçlara göre çok sayıda toprak örneği alınarak boyut azaltma yöntemi uygulama yerine bu yöntemlerin uygulanmasının daha başarılı sonuçlar verebileceğini göstermektedir (Rossel ve ark., 2009). Mg değerlerinin hem NIR ve hem de XRF'de düşük değerlere sahip olması bu elementin tanımlama bakımından başka etkilerinde modele alınabilmesinin mümkün olabileceğini göstermesi bakımından önemlidir. Wijewarne ve ark. (2016a), topraktaki nem duyarlılığı üzerine yürüttükleri çalışmada belli aralıklar ile spektral veriler almışlardır. Sonuçta istatistiksel olarak önemli farklılıklar çıkmasa da diğerlerine göre bir miktar yüksek değere sahip olması nedeniyle bunların boyut azaltma da başarılı olabileceğini açıklamışlardır. Wijewarden ve ark. (2016b) topraktaki organik madde ile inorganik madde miktarının farklı nem miktarlarındaki değişimini inceledikleri çalışmada da benzer sonuçlar elde etmişlerdir. He ve ark. (2000) ile Elvidge ve ark. (1985)'nin çalışmaları da bu yöndedir. Ancak istatistiksel modellerin spektral ön hazırlık gerektirmeden boyut azaltabilmesi bir avantaj olarak değerlendirilebilir. Çünkü spektral ön işleme oldukça zaman alıcı işlemlerden birisi olarak kabul edilmektedir (Palacios-Orueta ve Ustin, 1996). Ancak Benedet ve ark. (2020) ön işleme yapmadan yürüttükleri çalışmada arada ciddi farklılık bulamamışlardır. Buna göre de iki yöntemden birisinin kullanılmasının araştırmacının tercihine bırakılması gerektiğini ifade ederken spektral çalışmanın tercih edilmesini önermişlerdir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Burada belirlenmek istenen ön arıtma işlemlerinin kullanılıp kullanılmayacağını belirlenmesidir. Toprak analizlerinin önemli kısmı standart prosedürler ile araştırmacının deneyimine ve iş konusundaki özenine bağlı olarak değişebilmektedir. Ancak spektral çalışmalar buna gereksinim duyulmasını ve kişiye bağlılığı azaltabildiğinden daha güvenilir olabilmektedir. Yapılan her işin maliyeti vardır ve bunun azaltılması önemlidir.

Her zaman için çok özel işlemler dışında maliyeti daha az olan işlemler tercih edilmektedirler. Spektral çalışmalarda maliyetin klasik yöntemlere göre biraz daha uygun olduğu söylenebilir. Ancak özellikle kemo-metrik çalışmalar için ön işlemenin gerekli olması şimdilik bir açmaz olarak karşımızda dursa da ilerleyen teknoloji ile çok uzun olmayan gelecekte bunun aşılacağı düşünülmektedir. Spektral veriler üzerinden derin öğrenme yöntemleri kullanılarak biraz daha ileri gidilerek işlemler ayrıntılandırılabilir ve istenen özelliklerin oranı artırılabilir. Yürütülen çalışmada doğrusal regresyon modellerinden birisi olan Lasso Regresyon ile Temel Bileşen Regresyon modellerinin bizlere bu konuda yardımcı olabileceğini göstermektedir. Ancak bunların kullanılabilmesi için spektral verilere gereksinim bulunmaktadır. Toprak özelliklerinin tahmin edilebilmesi için modellerin kalibrasyonu için bu gerekli görülmektedir. Elde edilen ve test edilmesi istenen verinin kaynağını dışlayarak yürütülecek çalışmaların başarılı olması söz konusu olamayacaktır. Bu çalışmada kullanılan NIR ve XRF kaynakları yüksek boyutlu ve değerli veriler sağlamıştır. Elde edilen bu verilerin yüksek değerli modeller ile test edilmeleri sonucun değerini artıracaktır. Ancak istatistiksel olarak boyut azaltma gerektiren bu durumların boyut azaltılırken istatistiksel modellerin sahip oldukları varsayımların, öngörücüler arasındaki korelasyonların, alınan sinyal gürültülerinin ve model hatalarının dikkate alınması gerektiği de akıldan çıkarılmamalıdır. Spektral ön işleme yapılması özel bir bilgi birikimi ve yetenek gerektirmektedir. Özellikle model kalibrasyonunda teknik bilgi çok daha önemli olmaktadır. Bunun içinde yapılan işlemlerin standartlaştırılması gerekmektedir. Spektral çalışmalarda yürütülen kalibrasyon işlemlerinin standartlaştırılması sonucu olarak insan müdahalesinin azaltılması söz konusu olabilecektir.

Spektral veri elde edebilmek için kullanılan hissedicilerin (sensör) sahada kullanılabilmesi için bunların önceden test edilmiş olmaları gerekmektedir. Bununla birlikte tarım alanında kullanılan makinalardaki proksimal toprak algılamaya yönelik gelişmeler, toprak özelliklerini standart bir şekilde çevrimiçi olarak tahmin etmeye yönelik stratejiler ve ihtiyaç duyulan zaman ve işleme maliyetini mümkün olduğunca azaltmak, toprak algılama tekniklerini daha verimli bir şekilde kullanmanın yararlı bir yolu olabilecektir. Yürütülen çalışma sadece laboratuvar koşulları ile sınırlı olduğundan sahada da ek çalışmaların yapılarak karşılaştırılması gerekmektedir. Gelecekte yapılacak olan çalışmaların farklı istatistiksel yöntemlerinin de değerlendirmeye alınmaları faydalı sonuçlar çıkarabilecektir. Ancak bunları yaparken örnek sayısının mümkün olduğunda yüksek olmasına dikkat edilmelidir. Düşük örnek sayısı yapılan çalışmaların güvenilirlikleri de azalmaktadır. Güvenirliği düşük çalışmaların genelleştirilebilirliklerinin de düşük olacağı unutulmamalıdır. Yürütülen çalışmada modeller arasındaki farklılıkları ve başarı oranlarını belirleyebilmek için kullanılan hata kareler ortalamasının karekökü gibi ortalama değerleri temel alan karşılaştırma ölçütlerinden ziyade tahmin değerleri arasındaki korelasyonlarında incelenmesi faydalı olabilecektir. Çalışmada Temel Bileşen Regresyonu ile Lasso Regresyon yönteminin uygulanması, Çoklu Doğrusal Regresyon yaklaşımından daha iyi performans gösterdiği ve yapılacak çalışmalar için tatmin edici sonuçlar gösterdiği anlaşılmıştır.

Teşekkür: Çalışmanın yapılması esnasındaki katkılarından dolayı Karabük Üniversitesi MARGEM (Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi) birimine teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı: Yazarlar olarak makalenin planlanması, yürütülmesi ve yazılması konusunda herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti: Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

YAZAR ORCID NUMARALARI

Ufuk KARADAVUT  <http://orcid.org/0000-0001-5362-7585>

Ömer SÖZEN  <http://orcid.org/0000-0001-5528-7887>

Volkan KARADAVUT  <http://orcid.org/0000-0001-9141-250X>

KAYNAKLAR

Aldemir, Ö. ve Ceyhan, E. 2015. Salinity response of some chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in germination and seedling growth of periods. *17th International Conference on Agricultural Engineering, Roma, WASET, ICAE 2015*, 17: 668-674.

Balaban, M. ve Adak, M. S. 2024. Farklı tohum yatağı hazırlığı ve taban gübrelerin nohut verim ve verim öğeleri üzerine etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 11 (1): 36-48 s.

- Baumann, D. T., Bastiaans, L., Goudriaan, J., van Laar, H. H. ve Kropff, M. J. 2002. Analysing crop yield and plant quality in an intercropping system using an eco-physiological model for interplant competition. *Agricultural Systems*, 73 (2): 173-203 p.
- Bellon-Maurel, V., Fernandez-Ahumada, E., Palagos, B., Roger, J. M. ve McBratney, A. 2010. Critical review of chemometric indicators commonly used for assessing the quality of the prediction of soil attributes by NIR spectroscopy. *TrAC Trends Anal. Chem.*, 29: 1073-1081 p.
- Benedet, L., Faria, W. M., Silva, S. H. G., Mancini, M., Demattê, J. A. M., Guilherme, L. R. G. ve Curi, N. 2020. Taşınabilir X-ışını floresans spektrometrisi ve görünür yakın kızılötesi dağınık yansıma spektroskopisi kullanılarak toprak dokusu tahmini. *Geoderma*, 376: 114553.
- Bholowalia, P. ve Kumar, A. 2014. EBK-Means: A clustering technique based on elbow method and K-Means in WSN. *International Journal of Computer Applications*, 105 (9): 17-24 p.
- Biancolillo, A. ve Marini, F. 2018. Chemometrics applied to plant spectral analysis. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 80: 69-104 p.
- Brewin, N. J. 2004. Plant cell wall remodelling in the rhizobium-legume symbiosis. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23 (4): 293-316 p.
- Caetano-Anoll'es, G. ve Gresshoff, P. M. 1991. Plant genetic control of nodulation. *Annu. Rev. Microbiol.*, 45: 345-382 p.
- Demirkaya, S. ve Öztürk, E. 2022. Buğdayda verim ve verimin miktarına toprak etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 10 (2): 159-164 s.
- Doğan, Y., Ertaş, M. ve Doğan, S. 2023. Nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinin Mardin-Kızıltepe ve Şanlıurfa-Bozova koşullarında verim ve verim unsurları bakımından değerlendirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10 (3): 739-749 s.
- Diks, C. G. ve Vrugt, J. A. 2010. Comparison of point forecast accuracy of model averaging methods in hydrologic applications. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, 24: 809-820 p.
- Draper, N. R. ve Smith, H. 1998. Applied Regression Analysis. *Wiley Series in Probability and Statistics*.
- Düzgüneş, O. ve Akman, N. 1985. *Varyasyon Kaynakları*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Elvidge, C. D. ve Lyon, R. J. P. 1985. Influence of rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass, *Remote Sensing of Environment*, 17 (3): 265-279 p.
- Ferguson, B. J., Indrasumunar, A., Hayashi, S., Lin, M. H., Lin, Y. H., Reid D. E. ve Gresshoff, P. M. 2010. Molecular analysis of legume nodule development and autoregulation. *J. Integr. Plant Biol.*, 52 (1): 61-76 p.
- Gage, D. J. 2004. Infection and invasion of roots by symbiotic, nitrogen-fixing rhizobia during nodulation of temperate legumes. *Microbiol Molecular Biol Rev.*, 68 (2): 280-300 p.
- He, T., Wang, J., Lin, Z. ve Cheng, Y. 2000. Spectral features of soil organic matter. *Geo-spat. Inf. Sci.*, 12: 33-40 p.
- Heinze, S., Vohland, M., Joergensen, R. G. ve Ludwig, B. 2013. Usefulness of near infrared spectroscopy for the prediction of chemical and biological soil properties in different longterm experiments. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 176 (4): 520-528 p.
- Kacar, B. 2012. *Temel Bitki Besleme*. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Kotthoff, L., Thornton, C., Hoos, H. H., Hutter, F. ve Leyton-Brown, K. 2019. Auto-WEKA: Automatic model selection and hyperparameter optimization in WEKA. In *Automated Machine Learning*, 81-95 p.
- Kuang, B., Mahmood, H. S., Quraishi, M. Z., Hoogmoed, W. B., Mouazen, A. M. ve Van Henten, E. J. 2012. Sensing soil properties in the laboratory, in situ, and on-line: A review. In *Advances in Agronomy*; Sparks, D.L., Ed.; Academic Press: London, UK, 155-223.
- Melkumova, L. E. ve Shatskikh, S. 2017. Comparing ridge and LASSO estimators for data analysis. *Procedia Engineering*, 201: 746-755 p.
- Molin, J. P. ve Tavares, T. R. 2019. Sensor systems for mapping soil fertility attributes: Challenges, Advances, and Perspectives in Brazilian Tropical Soils. *Eng. Agrícola*, 39: 126-147 p.
- Nawar, S., Delbecque, N., Declercq, Y., De Smedt, P., Finke, P., Verdoodt, A. ve Mouazen, A. M. 2019. Can spectral analyses improve measurement of key soil fertility parameters with X-ray fluorescence spectrometry? *Geoderma*, 350: 29-39 p.
- O'Rourke, S. M., Stockmann, U., Holden, N. M., McBratney, A. B. ve Minasny, B. 2016. An assessment of model averaging to improve predictive power of portable vis-NIR and XRF for the determination of agronomic soil properties. *Geoderma*, 279: 31-44 p.
- Öztürk, E. 2021. Toprak analizleri ve yorumlanması. Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. https://arastirma.tarimorman.gov.tr/Toprak_Analizleri_ve_Yorumlanması.pdf.
- Palacios-Orueta, A. ve Ustin, S. L. 1996. Multivariate classification of soil spectra. *Remote Sens. Environ*, 57: 108-118.

- Parat, C., Chaussod, R., Leveque, J., Dousset, S. ve Andreux, F. 2002. The relationship between copper accumulated in vineyard calcareous soils and soil organic matter and iron. *European Journal of Soil Science*, 53 (4): 663-669 p.
- Pasquini, C. 2018. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives—A review. *Anal. Chim. Acta.*, 1026: 8-36 p.
- Rossel, R. A., Behrens, T., Ben-Dor, E., Brown, D.J., Demattê, J. A. M., Shepherd, K. D., Shi, Z., Stenberg, B., Stevens, A., Adamchuk, V., Aichi, H., Barthès, B. G., Bartholomeus, H. M., Bayer, A. D., Bernoux, M., Böttcher, K., Brodský, ., Du, C. W., Chappell, A., Fouad, Y., Genot, V., Gomez, C., Grunwald, S., Gubler, A., Guerrero, C., Hedley, C. B., Knadel, M., Morrás, H. J. M., Nocita, M., Ramirez-Lopez, L., Roudier, P., Rufasto Campos, E. M., Sanborn, P., Sellitto, V. M., Sudduth, K. A., Rawlins, B. G., Walter, C., Winowiecki, L. A., Hong, S. Y. ve Ji, W. 2016. A global spectral library to characterize the world's soil. *Earth-Science Reviews*, 155: 198-230 p.
- Robertson, J. G. ve Lyttleton, P. 1984. Division of peri bacteroid membranes in root nodules of white clover. *J. Cell Sci.*, 69: 147-157 p.
- Rossel, R. A. V., Cattle, S. R., Ortega, A. ve Fouad, Y. 2009. In situ measurements of soil color, mineral composition and clay content by vis–NIR spectroscopy. *Geoderma*, 150 (3-4): 253-266 p.
- Rossel, V. R. A. ve Webster, R. 2011. Discrimination of Australian soil horizons and classes from their visible–near infrared spectra. *Eur. Journal Soil Sci.*, 62 (4): 637-647 p.
- Rossel, V. R. A., Adamchuk, V. I., Sudduth, K. A., McKenzie, N. J. ve Lobsey, C. 2011. Proximal soil sensing: An effective approach for soil measurements in space and time. In *Advances in Agronomy*; Sparks, D.L., Ed.; Academic Press: London, UK, 2011; pp. 243-291 p.
- Saygın, S. D. ve Aydın, M. 2023. *Toprak ve Su Koruma*. Nobel Yayınları, Yayın No: 5051, Ankara.
- Sharma, A., Weindorf, D. C., Man, T. ve Aldabaa, A. A. 2014. Chakraborty, S. Characterizing soils via portable X-ray fluorescence spectrometer: 3, Soil reaction (pH). *Geoderma*, 232: 141-147 p.
- Shedecor, G. W. ve Cochran, W. G. 1989. *Statistical Methods*. 8nd ed. Iowa State Univ Press.
- Silva, S. H. G., Teixeira, A. F. D. S., Menezes, M. D. D., Guilherme, L. R. G., Moreira, F. M. D. S. ve Curi, N. 2017. Multiple linear regression and random forest to predict and map soil properties using data from portable X-ray fluorescence spectrometer. *Ciência Agrotecnol*, 41: 648-664 p.
- Sözen, Ö. ve Yağmur, M. 2021. Kırşehir ekolojik koşullarında bazı mercimek (*Lens culinaris* L.) çeşitlerinin tarımsal özelliklerinin ve özellikler arası ilişkilerin belirlenmesi. *21. Yüzyılda Fen ve Teknik Dergisi*, 8 (15): 15-32 s.
- Sözen, Ö. ve Uçar, S. 2022. *Nohut (Cicer arietinum L.) Yetiştiriciliği*. Yemeklik Tane Baklagil Yetiştiriciliği ve Islahı. Editör: Prof. Dr. Tolga Karaköy. İksad Yayınları.
- Urbano, G., Porres, J. M., Frias, J. ve Concepeio, V. V. 2007. Nutritional Value. Lentil. S. Yadav, D. McNeil and P. Stevenson, 47-93, Springer Netherlands.
- Uzun Kayıs, S. ve Ceyhan, E. 2015. Salinity tolerance during germination and seedling growth of some lentil (*Lens culinaris* Medic.) cultivars. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 29 (1): 15-24 p.
- Wang, D., Chakraborty, S., Weindorf, D. C., Li, B., Sharma, A., Paul, S. ve Ali, N. 2015. Synthesized use of VisNIR DRS and PXRF for soil characterization: Total carbon and total nitrogen. *Geoderma*, 243-244, 157-167.
- Wei, M. C. F., Canal Filho, R., Tavares, T. R., Molin, J. P. ve Vieira, A. M. C. 2022. Dimensionality reduction statistical models for soil attribute prediction based on raw spectral data. *AI*, 3: 809-819.
- Weih, M., Westerbergh, A. ve Lundquist, P. O. 2017. Role of nutrient-efficient plants for improving crop yields: bridging plant ecology, physiology, and molecular biology. Chapter 2. In *Plant Macronutrient Use Efficiency*. Editor(s): Mohammad Anwar Hossain, Takehiro Kamiya, David J. Burritt, Lam-Son Phan Tran, Toru Fujiwara, Academic Press, 31-44 p.
- Wijewardane, N. K., Ge, Y. ve Morgan, C. L. S. 2016a. Moisture insensitive prediction of soil properties from VNIR reflectance spectra based on external parameter orthogonalization. *Geoderma*, 267: 92-101 p.
- Wijewardane, N. K., Ge, Y. ve Morgan, C. L. S. 2016b. Prediction of soil organic and inorganic carbon at different moisture contents with dry ground VNIR: a comparative study of different approaches. *European Journal of Soil Science*, 67 (5): 605-615 p.
- Wollenhaupt, N. C., Wolkowski, R. P. ve Clayton, M. K. 1994. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. *J. Prod. Agric.*, 7: 441-448 p.
- Yano, K., Yoshida, S., Muller, J., Singh, S., Banba, M., Vickers, K., Markmann, K., White, C., Schuller, B., Sato, S., Asamizu, E., Tabata, S., Murooka, Y., Perry, J., Wang, T. L., Kawaguchi, M., Imaizumi- Anraku, H., Hayashi, M. ve Parniske, M. 2008. CYCLOPS, a mediator of symbiotic intracellular accommodation. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 105: 20540-20545.