



Araştırma/Research

Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci, 32 (2017)

ISSN: 1308-8750 (Print) 1308-8769 (Online)

doi: 10.7161/omuanajas.321115



Isparta-Atabey ovası topraklarında mikro element yayırlılığı ile toprak özellikleri arasındaki ilişkilerin temel bileşen analizi ile belirlenmesi

Burhan Durgun , Veli Uygur*, Burak Durgun, Enise Sukuşu

Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü ve Bitki Besleme Bölümü, İSPARTA

*Sorumlu yazar/corresponding author: veliuygur@sdu.edu.tr

Geliş/Received 28/10/2016

Kabul/Accepted 01/03/2017

ÖZET

Toprak oluşum süreçlerine ve arazi kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan toprak özellikleri topraklarda mikro element yayırlılığı üzerine etki etmektedir. Bu çalışmada Isparta-Atabey ovasındaki 21 toprak serisinden alınan 70 toprak örneği incelenen 24 parametre ile toprakların yayırlı mikro element konsantrasyonları arasındaki ilişkiler tanımlayıcı istatistikler, Pearson korelasyonu ve temel bileşen analiz yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Tanımlayıcı istatistik analizlerden çarpıklık katsayısının yüksek ve pozitif olması, organik madde, fosfor (P), bakır (Cu), demir (Fe) ve çinko (Zn)' nun büyük oranda topraklarda tarımsal uygulamaların ve/veya kısmen de toprak oluşum süreçlerinin etkisiyle arttığını göstermiştir. Temel bileşen analizi, toprakların davranışlarının tanımlanmasında yedi bileşenin toplam varyansın yaklaşık %80'nini açıklayabildiğini ve bu bileşenlerden iki tanesinin ise topraklardaki mikro elementlerin konsantrasyonundaki değişimi açıklayabildiğini belirlemiştir. Topraklardaki Cu ve Zn konsantrasyonundaki değişimle ilişkili temel bileşenin yayırlı P, Cu, Zn, amonyum asetat ile ekstrakte edilebilir Mg ile pozitif, kil miktarı ile negatif ilişkili olduğu belirlenmiştir. Temel bileşen 5 ise topraklardaki Fe ve Mn konsantrasyonundaki değişimi pH'nın negatif etkisiyle ilişkilendirmiştir. Sonuç olarak bazı toprakların Zn ve Cu mikroelementleri açısından gübreleme ve zirai mücadele pratiklerinin etkisiyle DTPA ile ekstrakte edilebilen konsantrasyonlarının çevresel açıdan risk oluşturabilecek seviyelere ulaştığı belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler:
Atabey ovası
Mikro element
Tanımlayıcı istatistikler
Temel bileşen analizi
Toprak özellikleri

Assessment of relations between micro element availability and soil properties in Isparta-Atabey plain using principal component analysis

ABSTRACT

Soil properties influenced by soil formation processes and land use affect micro nutrition availability in soils. This study aims to reveal relationships between 24 measured soil parameters and micro element availability through descriptive statistics, Pearson correlation and principal analysis techniques, in 70 surface samples (0-20 cm) taken from the 21 soil series of Isparta-Atabey plain. Positive and high skewness coefficients indicated that organic matter and available concentrations of phosphorus (P), copper (Cu), iron (Fe), and zinc (Zn) increased due to mainly agricultural practices and/or to relatively lesser extent soil forming processes. Principal component (PC) analysis indicated that seven components explained about 80% of total variance and two of these components were responsible for the variation in microelement concentrations. The principal component related to Cu and Zn in soils showed positive loading with available P, Cu, Zn, ammonium acetate extractable Mg; and negative loading with only clay content of soils. The PC 5 explained the variation in Fe and Mn concentrations in relation to negative loading of soil pH. Consequently, it was determined that the DTPA extractable concentrations of Cu and Zn in some sampling sites have reached environmentally risky levels.

Keywords:
Atabey Plain
Descriptive statistics
Micro elements
Principal component analysis
Soil properties

© OMU ANAJAS 2017

1. Giriş

Topraklarda besin elementlerinin herhangi bir zamandaki konsantrasyonu; toprak oluşum süreçlerinin, uzun dönem arazi kullanım şeklinin, kısa dönem yapılan tarımsal pratiklerin ve anlık çevresel faktörlerin etkisi

sonucu ortaya çıkmaktadır. Toprakların fiziko kimyasal özellikleri mikro besin elementi alımını ve yayırlılığını etkilemektedir. Topraklarda mikrobeyin elementlerinin noksanlığı, genelde yüksek pH, kireç (Çakmak ve ark., 1996), metal oksitler, düşük organik madde, kil tipi ve kil miktarıyla ilişkilidir (Marschner,

1995). Diğer taraftan gelişen tarımsal teknoloji ve girdi yönetimi birim alandan daha fazla ürün elde edilmesine imkan sağlarken; topraklarda depo besin elementi fraksiyonları üzerine önemli etkilerde bulunmaktadır. Bu bağlamda artan gübre kullanımı topraklara mikrobeselementlerinin de önemli miktarda ilavesine neden olmakta bu da toprakta kapasite ve intensite faktörleri üzerinde önemli etkilere neden olmakta ve yeni dinamik dengeleri ortaya çıkarmaktadır (Lindsay, 1979).

Genç topraklarda genelde mikro elementler primer minerallerin yapısında olduğundan ilgili mineralin çözünürlüğü çerçevesinde bir yarayışlılık söz konusudur (Lindsay, 1979, 2001). Toprak oluşumunun ilerleyen aşamalarında ise mikro elementlerle ikincil reaksiyonlar veren kil, organik madde, seskioksitler, kireç gibi toprak bileşenleri devreye girer (Usta, 1995). Bu bileşenlerden organik maddenin artması şelatlaşma reaksiyonlarını teşvik edeceğinden katyonik mikro elementlerin yarayışlılığını da önemli ölçüde arttırmaktadır (Spark ve ark., 1997; Marschner, 2012; Kacar, 2013). Kil mineralleri ise gerek geniş yüzey alanları ile gerekse spesifik reaksiyonlarla mikro elementlerin yarayışlılığını ve hareketliliğini azaltmaktadır (Gunawardana ve ark., 2014; Lair ve ark., 2007; Querol ve ark., 2006). Benzer şekilde topraklarda yüksek miktarlarda bulunan karbonat mineralleri adsorpsiyon kapasiteleri çok yüksek olmasa da çökeltme reaksiyonlarının gerçekleşmesi için uygun ortamlar oluşturarak metalik mikroelementlerin karbonatlar, hidroksitler veya hidroksi karbonatlar şeklinde çökeltmesine neden olmaktadır (Papadopoulos ve Rowel, 1989; Uygur, 1998; Uygur ve Rimmer 2000; Mengel ve Kirkby, 2001). Bu da elementlerin yarayışlılığını gerçekte toplam miktar itibarıyla yeterli de olsa sınırlandırmakta ve kireçli topraklarda mikro element noksanlıkları yaygın olarak görülmektedir (Güzel ve ark., 1991).

Tarımsal üretimde kalite ve kantitenin artırılabilmesi için son yıllarda birincil elementlerin yanında ikincil ve mikroelement gübrelemesi de yaygın bir uygulamadır. Bu uygulamalar özellikle meyve y ve sebze yetiştiriciliğinde çok daha yoğun olarak gerçekleştirilmektedir. Diğer taraftan meyve yetiştiriciliğinde bordo bulamacı kullanımı oldukça yaygın bir uygulamadır. Bordo bulamacı Cu'nun yanında önemli miktarlarda Zn' de içermektedir. Nitekim 90 yıldır bordo bulamacı kullanılan bağ arazilerinde yapılan bir çalışmada Cu ve Zn elementlerinin kontrol parseline göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu belirlenmiştir (Couto ve ark., 2015).

Mevcut literatürler ışığında bu çalışmada Isparta'nın en önemli tarım alanı olan Atabey ovası topraklarında katyonik mikroelementlerin yarayışlılığı üzerine toprak özellikleri ve uygulanan tarımsal pratiklerin etkisi, tanımlayıcı istatistikler, Pearson korelasyon ve temel bileşen analizleri kullanılarak ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Toprak örneklerinin alınması

Atabey ovasında belirlenmiş olan 21 toprak serisinden (Akgül ve ark., 2001) her birinden en az üç adet olmak üzere her bir örnekleme sahasından burgu ile farklı noktalardan alınan örneklerden komposit toprak örneği oluşturulmuştur. Toplamda 70 ayrı noktadan örnekleme yapılmıştır. Örnekleme yapılan arazilerin örnekleme zamanındaki mevcut bitki örtüsü kaydedilmiştir. Örnekler gölgede hava kuru hale gelinceye kadar kurutulduktan sonra 2 mm' den elenerek analizlere hazırlanmıştır.

2.2. Toprak örneklerinde yapılan analizler

Toprak örneklerinde pH, EC, tekstür, kireç içeriği, organik madde, yarayışlı fosfor, amonyum asetatla ekstrakte edilebilen Na, K, Ca ve Mg, DTPA ile ekstrakte edilen yarayışlı mikro elementler Kacar (2012)'de belirtilen yaygın yöntemlerle belirlenmiştir. Ayrıca topraklarda mikro elementlerin yarayışlılığı ile yakından ilgili olan Fe ve Mn'nin amorf, kristalin ve toplam miktarları belirlenmiştir. Amorf yapıdaki oksitler kireci giderilen 1 g toprak örneğine 0.2 molarlık 10 mL oksalat tamponu eklendikten sonra karanlıkta 4 saat çalkalanarak; kristalin Fe ve Al oksitler, amorf oksitleri ekstrakte edilmiş örnek 10 mL pH' sı 2.25 ayarlanmış ve 0.2 M'lık oksalat tamponu içerisinde hazırlanmış 0.1 M askorbik asit çözeltisi (Shuman, 1988) ve toplam Fe ve Mn ise toprak örneklerinin kral suyu ile yaş yakılarak elde edilen süzüklerde belirlenmiştir (Spark, 1996). Toprak örneklerinde belirlenmiş olan parametrelere ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 1' de verilmiştir.

2.3. İstatistiksel Analizler

Veri setine uygulanan tüm istatistiksel analizler SPSS 17 paket programında gerçekleştirilmiştir. Veri setindeki parametrelerin tanımlayıcı istatistiksel analizleriyle birlikte veri setinin normal dağılıma uygunluğu çarpıklık ve basıklık katsayıları ve bu katsayılarla ait standart sapma ile değerlendirilmiştir. Basıklık ve/ veya çarpıklık katsayısı $\leq 2 \times$ standart sapma olduğu durumda parametrenin normal dağılım gösterdiği varsayılmıştır (Berkman ve Reise, 2012). Toprak özellikleri ile mikro elementlerin yarayışlı miktarları arasında veri setinde normal dağılım göstermeyen parametreler transforme edilerek normal dağılıma yaklaştırıldıktan sonra Pearson korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir.

Topraklarda belirlenen yarayışlı mikro element konsantrasyonları ile tanımlayıcı toprak özelliklerine veri indirgeme yöntemi olan temel bileşen analizi (PCA) uygulanmıştır (Landau ve Everitt, 2004). Temel bileşen analizi orijinal p değişkeninin varyans yapısını daha az sayıda ve bu değişkenlerin doğrusal bileşenleri

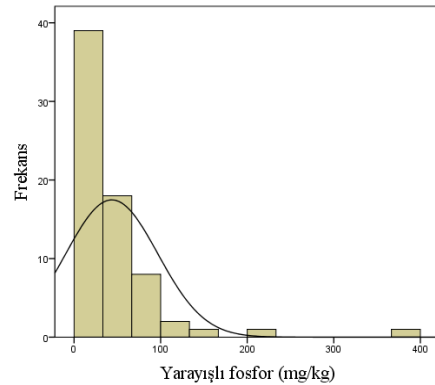
olan yeni değişkenlerle açıklanmasıdır. PCA, bu bağlamda, aralarında korelasyon bulunan p sayıda değişkenin açıkladığı yapıyı, aralarında korelasyon olmayan ve sayıca orijinal değişken sayısından daha az sayıda, orijinal değişkenlerin doğrusal bileşenleri olan değişkenlerle ifade edilmesidir. Bu aşamada çarpıklık katsayısını düşürmek için veri setindeki pH ve kum miktarına herhangi bir transformasyon uygulanmamış; EC' ye karekök; P, Cu, Fe ve Zn' ye Ln; Mn'ye Ln(10+Mn); ve diğer parametrelere Log transformasyonu uygulanmıştır. Daha sonra dimension reduction>factor analysis>principal component sekmelerinden "correlation matrix" ve "varimax" rotasyonu kullanılarak temel bileşenler ekstrakte edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

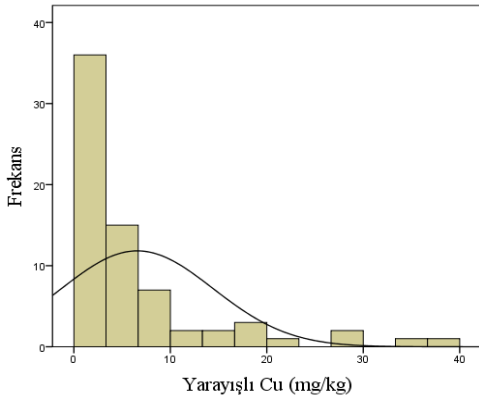
3.1. Toprakların genel özellikleri

İncelenen toprak özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 1'de verilmiştir. Verilerin normal dağılım gösterip göstermediği çarpıklık ve basıklık katsayıları üzerinden değerlendirilmiştir. Bu açıdan toprak özelliklerinden organik madde (2.257), kireç (1.158), EC (1.078), K (0.843), Mg (1.162), Na (2.32), P (3.971), Cu (2.300), Fe (1.928) ve Zn (2.424) parametreleri sağdan çarpık bir frekans dağılımı göstermektedir. Çarpıklık değeri ne kadar yüksek olursa bu normal dağılımdan daha fazla bir sapmanın göstergesi ve aynı zamanda gerek toprak oluşum süreciyle gerekse toprakların kullanım pratiklerinden kaynaklanan bir artışın olduğunu göstermektedir. Çarpıklık değerleri örnekleme sahasında organik madde kapsamının özellikle çok yıllık meyve bahçelerinin etkisiyle arttığına işaret etmektedir. Kireç, EC, amonyum asetatla ekstrakte edilebilen K, Mg, Na parametrelerindeki pozitif kuyruklanmanın ana materyal, topoğrafya, iklim gibi toprak yapan faktörlerin lokal etkilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Örneğin çalışma sahasında kireçli ana materyallerin bulunması pozitif kuyruklanmaya neden olurken; EC, Na gibi özelliklerde sağdan çarpık dağılımın topoğrafyanın ve iklimin kısmen de sulamanın etkisiyle ortaya çıktığı değerlendirilmiştir. Zira çalışma sahası toprakları; yüksek tepelikler ve sırtlar, kolüvyal etekler, alüvyal yelpazeler, yaşlı dere yatakları, bajadalar, taban araziler ve genç dere yatakları gibi fizyografik üniteler üzerinde meydana gelmişlerdir (Akgül ve ark., 2001). Bu da suyun etkisiyle taşınma/birikme olayları neticesinde incelenen parametrelerde artış ve azalışlara neden olmaktadır. Herhangi bir örnekleme noktasındaki yıkanma nedeniyle meydana gelen azalma yıkanan elementin konsantrasyonunun birikme noktalarında artışına neden olmasıyla; yıkanma eğilimi düşük olan element için de yıkanma noktalarında göreceli artışına

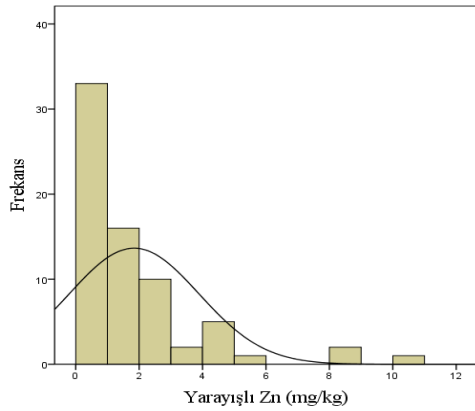
neden olmasıyla pozitif çarpıklık ortaya çıkmaktadır. Fosfor, Cu, Zn ve Fe'nin frekans dağılımındaki sağdan kuyruklanmanın büyük ölçüde çalışma sahasındaki topraklara yapılan gübreleme programlarından kaynaklandığını düşünülmektedir. Zira toprakların fosfor içeriğine ait frekans dağılım grafiği incelendiğinde (Şekil 1) toprakların önemli bir kısmının (%60' tan daha fazla) Olsen yöntemine göre yeterlilik üst sınırının (25 mg kg^{-1}) üzerinde olduğu görülmektedir. Hatta örneklerin ortalama değeri 43.55 mg kg^{-1} olması da fosforlu gübrelemenin etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Benzer şekilde yüksek çarpıklık değerleri ovada önemli miktarda Zn, Cu ve Fe gübrelemesi yapıldığını göstermektedir. Yarıyıllı Cu konsantrasyonunun 37.4 mg kg^{-1} e kadar ulaşması ovada Cu gübrelemesi veya bordo bulamacı ve diğer Cu içeren preparatların kullanımının olumsuz etkilerinin toksik seviyelere ulaşma sınırında olduğunu göstermektedir. Frekans dağılım grafiği ise 18 toprakta yarıyıllı Cu konsantrasyonunun 6.66 mg kg^{-1} değerinin üzerinde olduğunu göstermektedir (Şekil 2). Benzer yüksek konsantrasyonlar (3 mg kg^{-1} 'in üzerinde 11 toprak) Zn içinde söz konusu olup potansiyel toksiklik tehlikesi bulunmaktadır (Şekil 3). Manganez konsantrasyonuna ait veri seti normal dağılım göstermekle beraber ilave edilen Mn'nin oksitler şeklinde çökeldiği Mn oksitlere ait yüksek pozitif çarpıklık katsayısından anlaşılmaktadır. Benzer şekilde nispeten düşük çarpıklığa sahip Fe'nin de oksitler şeklinde çökeldiği amorf Fe oksit (AmFeOx) veri setinin yüksek pozitif çarpıklığından gözlenebilmektedir (Çizelge 1). Bu öngörümüze paralel olarak Lindsay (1979) pH 7-8 aralığında Fe ve Mn'nin stabil, çözünürlüğü son derece düşük oksitler/hidroksitler şeklinde çökme reaksiyonu verdiğini bildirmiştir.



Şekil 1. Toprakların yarıyıllı fosfor konsantrasyonlarına ait frekans dağılımı histogramı



Şekil 2. Toprakların yarayışlı bakır konsantrasyonlarına ait frekans dağılım histogramı.



Şekil 3. Toprakların yarayışlı çinko konsantrasyonlarına ait frekans dağılım histogramı.

Negatif çarpıklık ise ilgili parametrelerde düşük değerlerin bulunduğu, toprak oluşum süreci sırasında ortaya çıkan kayıpları ya da tarımsal uygulamalar neticesinde meydana gelen kayıpları ifade etmektedir. Negatif çarpıklık gösteren parametreler kum, pH ve Ca'dır. Genel itibarıyla bu parametrelerden kum ve Ca normal değerler içerisinde değerlendirilebilir. Ancak pH parametresine ait çarpıklık katsayısı normal dağılımı temsil etmeyecek kadar yüksektir (Çizelge 1). Bu da toprak oluşumu sırasında bazı alanlarda toprak pH'ının düştüğünü göstermektedir. Toprakların temel ana materyalinin su ve/veya yerçekiminin etkisi ile taşınmış Mesozoik-Tersiyer kireçtaşları olduğu ve topraklardaki ana farklılaşma nedenlerinden en önemlilerinden birisinin farklı fizyografik üniteler olduğu (Akgül ve ark., 2001) göz önüne alındığında, bu durum daha iyi anlaşılabilir. Nitekim toprak oluşumun ilerlemesi ya da horizonlaşmadaki artış ile toprak pH'ında bir azalma olmaktadır (Usta, 1995) diğer taraftan özellikle meyve bahçelerinde damla sulama sistemlerinin tıkanmasını önlemek amacıyla kullanılan asitlerin kireç içeriği düşük topraklarda böyle bir etki oluşturabileceği değerlendirilmiştir.

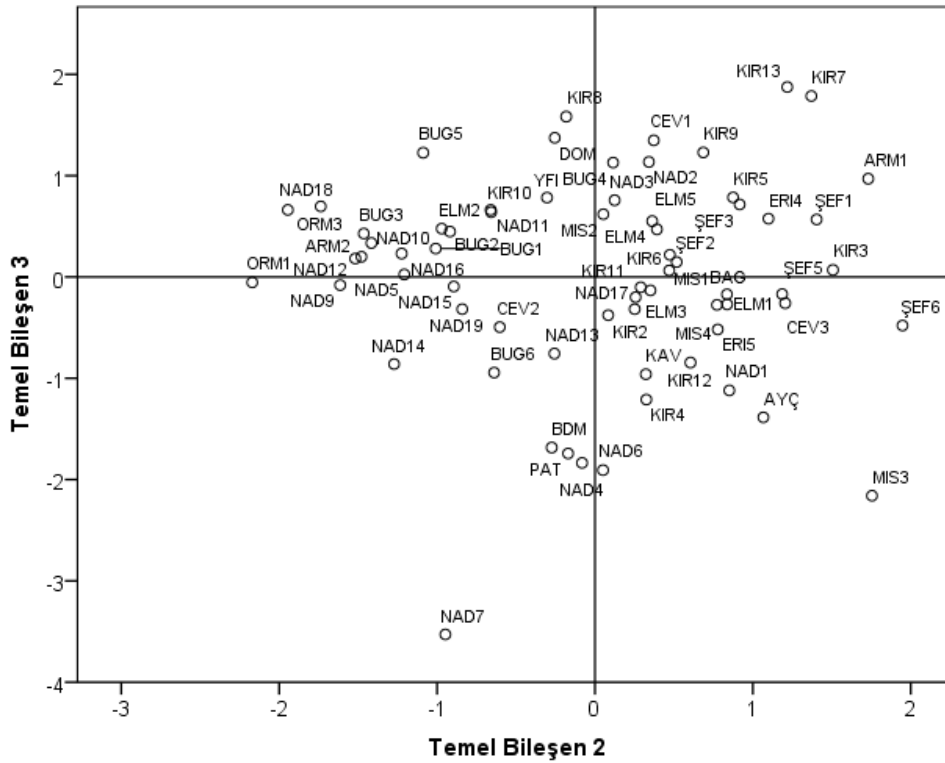
Basıklık katsayısı < 2 X çarpıklığın standart hatası olduğunda normal dağılım olarak kabul edilmekte pozitif değerler sivri bir dağılımı negatif değerler ise basık bir dağılımı ifade etmektedir (Berkman ve Reise, 2012). Pozitif basıklık değeri, mod değeri etrafında toplanma eğilimini gösterirken; negatif olan basıklık değeri ise ilgili özellik açısından toprakların değişkenliğine işaret etmektedir. Toprakların kireç (0.52), KDK (0.34), kum (-0.349), silt (-0.441), kil (0.197), Ca (-0.16), K (-0.09), Mg (1.11) ve Mn (-0.89) parametreleri normal dağılım göstermektedir. En yüksek basıklık değeri yarayışlı fosfor içeriğinde (20.95) belirlenmiş bunu Na (16.10), organik madde (8.552), Zn (6.94), Cu (5.23), Fe (3.92), EC (2.06) ve pH (1.69) takip etmiştir. Fosfor açısından mod değeri (13.67 mg kg⁻¹) ve medyan değerinin 27.75 mg kg⁻¹ olması toprak örneklerinin yarısından daha fazlasında yarayışlı fosforun yeterlilik sınırının çok üzerinde olduğunu göstermektedir. Bu durumun çevre kirliliği açısından tehlike oluşturduğu değerlendirilmektedir. Sodyumun ve organik maddenin yüksek değeri yörenin kurak-yarı kurak ikliminin etkisinden kaynaklanan 0.27 cmol kg⁻¹ ve %2.04 mod değerleri etrafında çok fazla sayıda toprak örneğinin bulunmasıyla ilişkilidir. Ancak Na konsantrasyonundaki bu durum genel itibarıyla tarımsal açıdan herhangi bir tehdit oluşturmazken; organik maddenin düşük miktarı tarımsal açıdan olumsuz bir etkiye sahiptir.

Toprak özellikleri arasındaki kemometrik ilişkiler incelendiğinde 1, 2 ve 3 nolu temel bileşenlerin varyasyonları önemli ölçüde açıkladığı gözlenmektedir. Şekil 4' te 2 ve 3 nolu temel bileşenlerin dağılım diyagramı verilmiştir. Diyagramda toprakların dağılımında arazinin mevcut bitki örtüsünün ne kadar önemli olduğu gözlenebilmektedir. Çok yıllık bitki örtüsünün bulunduğu örneklem sahalarının büyük kısmının iki nolu temel bileşenle pozitif yükleme değerine sahip olan toprak özelliklerine bağlı olarak dağılım göstermiştir. Bu bölgede tarımsal pratiklerle yakından ilişkili olan toprakların yarayışlı Zn, Cu ve P içerikleri en yüksek yükleme değerine sahiptir. Negatif bölgede dağılım gösteren toprakların ise genelde düşük girdi yönetiminin uygulandığı topraklar olup yüksek kil içeriğinin dağılımda önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Bu da çarpıklık katsayılarından yapılan açıklamalar ile uyumludur. Temel bileşen 3 ise Fe/Mn oksit fraksiyonları ile büyük oranda pozitif yükleme değerleri verirken; kireç içeriği ile negatif yükleme değerine sahiptir. Yani temel bileşen 3' ün negatif değer gösterdiği topraklar tipik olarak yüksek kireç içeriğine sahip iken pozitif bölgedeki topraklar yüksek oksit miktarlarıyla tipiktir.

Çizelge 1. Araştırma topraklarının özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikleri

Parametre	Min.	Maks.	Ort.	Std. hata	Std. sapma	Varyans	Çarpıklık	Basıklık
OM (%)	0.51	6.94	2.057	0.117	0.978	0.956	2.257	8.717
Kireç (%)	0.66	41.5	11.18	1.291	10.8	116.69	1.158	0.494
KDK (cmol kg ⁻¹)	11.20	61.3	33.27	1.192	9.98	99.52	0.433	0.114
pH	6.78	8.03	7.686	0.035	0.291	0.085	-1.545	1.612
EC (µS m ⁻¹)	105.2	762	292.7	14.3	120	14382	1.078	2.237
Ca (cmol kg ⁻¹)	6.90	42.0	25.08	0.939	7.85	61.69	-0.460	-0.170
K (cmol kg ⁻¹)	0.41	3.60	1.595	0.096	0.801	0.642	0.843	-0.138
Mg (cmol kg ⁻¹)	1.20	15.8	5.376	0.357	2.99	8.916	1.162	1.396
Na (cmol kg ⁻¹)	0.05	2.15	0.607	0.032	0.267	0.071	2.320	16.032
P (cmol kg ⁻¹)	2.50	368	43.55	6.37	53.3	2839	3.971	20.675
Cu (cmol kg ⁻¹)	0.92	37.4	6.567	0.940	7.87	61.91	2.300	5.099
Fe (cmol kg ⁻¹)	1.68	20.97	6.514	0.438	3.66	13.42	1.928	4.811
Mn (cmol kg ⁻¹)	2.12	21.54	11.43	0.602	5.03	25.33	0.123	-0.840
Zn (cmol kg ⁻¹)	0.20	10.84	1.839	0.245	2.05	4.190	2.424	6.809
Kum (g kg ⁻¹)	5.70	695	388.3	19.36	1612	26243	-0.205	-0.348
Silt (g kg ⁻¹)	118	470	241.4	9.81	82.1	6733	0.578	-0.438
Kil (g kg ⁻¹)	1467	704	370.3	14.86	124	15455	0.589	0.194
MnOx (mg kg ⁻¹)	53.0	239	154.0	5.22	43.7	1910	-0.015	-0.428
AMnOx (mg kg ⁻¹)	8.00	3317	134.9	46.4	388	150416	8.235	68.510
CMnOx (mg kg ⁻¹)	9.00	1112	35.21	15.6	131	17104	8.324	69.511
TotMNOx (mg kg ⁻¹)	191	3652	499.3	55.2	462	213558	5.585	34.345
AmFeOx (mg kg ⁻¹)	666	8441	2259	179	1499	2248494	2.265	5.733
KFeOx (mg kg ⁻¹)	2051	10843	5262	233	1947	3792421	0.544	-0.389
TotFeOX (mg kg ⁻¹)	8572	28490	17555	454	3799	1443719	0.047	0.158

Çarpıklık standart sapması 0.287, basıklığın standart sapması 0.566



Şekil 4. Temel bileşen 2 ve 3'ün dağılım diyagramı. KIR kiraz, ŞEF şeftali, ELM elma, ARM armut, ERI erik, ORM orman örtüsü, NAD kültür bitkisi bulunmayan, CEV ceviz, BAĞ bağ, KAV kavak, BDM badem, MIS mısır, BUG buğday, YFI yer fıstığı, AYÇ ayçiçeği, DOM domates, PAT patlıcan.

3.2. Toprak özellikleri ile katyonik mikro elementler arasındaki ilişkiler

Toprak özellikleri ile P ve mikro elementler arasında yapılan korelasyon analizlerine ait sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. Bakır, ölçülen parametrelerden K, Mg, P, Mn ve Zn ile çok önemli pozitif korelasyonlar verirken; kil ve Mn oksit miktarları ile önemli negatif korelasyonlar vermiştir. Pozitif korelasyon veren parametrelerin hepsi gübrelemede yaygın olarak kullanılan elementlerdir. Bu da Cu’nun, gerek birincil besin elementli gübrelerin içerisinde kirletici unsur olarak gerekse mikro element karışımları şeklinde, gübre veya tarımsal mücadele ilaçları ile toprağa ilave edilmiş olabileceğini işaret etmektedir. Negatif ilişkili

toprak özelliklerine bakıldığında genelde tampon vazifesi gören kil mineralleri ve ağır metallerle karşı spesifik adsorpsiyon kabiliyeti yüksek olan Mn oksitler olduğu görülmektedir. Nitekim yapılan adsorpsiyon çalışmaları Cu, Cd ve Zn gibi ağır metallerin kil fraksiyonu tarafından daha yüksek miktarlarda tutulduğunu (Gunawardana ve ark., 2014; Lair ve ark., 2007) hatta ağır metallerle kirlenmiş topraklarda metallerin hareketliliğinin azaltılması için kil mineralinin ya da oksitlerin kullanılabileceği bildirilmiştir (Kumpiene ve ark., 2008; Querol ve ark., 2006). Mangan oksitlerin topraklarda Zn ve Cu gibi iz elementlerin adsorpsiyonunu spesifik olarak gerçekleştirdikleri rapor edilmiştir (Jung ve ark., 2010; Alloway, 1996).

Çizelge 2. Topraklarda P ve katyonik mikroelementler ile belirlenen parametreler arasındaki Pearson korelasyon katsayıları (N=70)

Parametre	P	Cu	Fe	Mn	Zn
OM (%)	0.354**	0.182	0.245*	0.290*	0.393**
Kireç (%)	0.163	-0.038	-0.368**	-0.032	0.241*
KDK (cmol kg ⁻¹)	-0.082	0.033	-0.193	-0.197	-0.245*
pH	0.009	0.234	-0.385**	-0.002	0.201
EC	0.268*	0.193	-0.182	0.009	0.138
Ca (cmol kg ⁻¹)	-0.090	-0.075	-0.476**	-0.239*	-0.143
K (cmol kg ⁻¹)	0.361**	0.307**	-0.348**	0.033	0.203
Mg (cmol kg ⁻¹)	0.257*	0.554**	0.073	0.144	0.433**
P (mg kg ⁻¹)		0.519**	0.069	0.267*	0.711**
Cu (mg kg ⁻¹)	0.519**		0.179	0.318**	0.674**
Fe (mg kg ⁻¹)	0.069	0.179		0.515**	0.192
Mn (mg kg ⁻¹)	0.267*	0.318**	0.515**		0.432**
Zn (mg kg ⁻¹)	0.711**	0.674**	0.192	0.432**	
Kum (g kg ⁻¹)	0.203	0.228	0.322**	0.249*	0.322**
Silt (g kg ⁻¹)	0.148	-0.092	-0.406**	-0.099	0.059
Kil (g kg ⁻¹)	-0.406**	-0.267*	-0.176	-0.253*	-0.530**
MnOx (mg kg ⁻¹)	-0.399**	-0.238*	-0.089	-0.202	-0.407**
AmFeOx (mg kg ⁻¹)	0.113	0.175	0.330**	0.230	0.020
TotFeOx (mg kg ⁻¹)	-0.211	-0.133	0.228	0.023	-0.301*

* p<0.05 ve ** p<0.01 seviyesinde önemli

Yarayışlı Fe konsantrasyonu; OM, Mn, kum ve amorf Fe oksitler (AmFeOx) ile pozitif; kireç, pH, Ca ve K gibi toprak pH’ sının yüksek olmasıyla ilişkili toprak özellikleri ile negatif ilişkiler vermiştir (Çizelge 2). Benzer şekilde Polonya’da yapılan bir çalışmada organik madde ile pozitif, pH ile negatif ilişkiler bulunmuştur (Diatta ve ark., 2014). Amorf oksitler genelde toprağa ilave edilen Fe’nin ilk tamponlandığı katı fazdır. Bu durumda bu oksit bileşeni ile olan pozitif ilişki ve yüksek çarpıklık değeri (Çizelge 1) topraklarda önemli miktarlarda Fe’li gübrelerin kullanıldığına işaret etmektedir. Toprakların alkali karakteri nedeniyle ilave olunan Fe içerikli gübreler termodinamik açıdan daha az

stabil olan amorf Fe oksitlere dönüşmektedir (Lindsay, 1979, 2001). Yine toprakların redoks potansiyellerindeki değişimler yarayışlı Fe ve amorf oksit miktarını birlikte etkilemektedir (Wei ve ark., 2010; Lindsay, 1979).

Toprakların Mn yarayışlılığı ile OM, P, Cu, Fe, Zn ve kum içeriğiyle pozitif korelasyonlar; kil içeriği ile negatif korelasyon belirlenmiştir (Çizelge 2). Kum ve kil haricindeki bileşenler büyük ölçüde toprak yönetimiyle ilgili faktörlerdir. Organik madde ile olan ilişkinin bir nedeni de özellikle meyve yetiştiriciliği yapılan alanlarda organik madde miktarının yüksek olmasıdır. Diğer taraftan da bu alanlarda yüksek

miktarlarda gübre kullanımı Mn yarıyışlılığını ya da toprağa Mn girdisini arttırdığı söylenebilir.

Yarıyışlı Zn ile OM, kireç, Mg, P, Cu, Mn ve kum parametreleri arasında pozitif önemli ilişkiler söz konusu iken; KDK, kil, MnOx ve toplam Fe oksit (TotFeOx) önemli negatif korelasyonlar belirlenmiştir. Fosfor, Cu ve Mn ile olan ilişkiler yörede uygulanan gübreleme pratiklerinin bir sonucudur. Organik madde ile Zn şelat oluşturduğundan ve organik maddenin genelde meyve bahçelerinde daha yüksek olması ve gübre girdisinin bu alanlarda daha yüksek olması pozitif ilişkinin ortaya çıkmasına neden olduğu değerlendirilebilir. Normal şartlarda kireç içeriği veya kireçle ilgili Ca ve Mg gibi iyonlarla negatif bir ilişki yaygın olarak belirlenmektedir (Mengel ve Kirkby, 2001; Uygur, 1998). Ancak bu çalışmada kullanılan toprak örneklerinin önemli bir kısmında yüksek miktarlarda Zn bulunması (Şekil 3) ilave olunan Zn'nin karbonat fraksiyonunda kireç içeriğindeki artışla ilişkili arttığı ve bunun da kısmen yarıyışlı olduğu belirlenmiştir (Durgun, 2016). Negatif korelasyon veren toprak özelliklerine bakıldığında Zn kovalent bağlarla adsorpsiyonunda etkin olan toprak bileşenleri ve bu bileşenlerin bir çeşit ortak ölçüm parametresi olan KDK olduğu gözlenmektedir.

3.3. Mikroelementlerin kemometrik ilişkileri

Topraklarda ölçülen toplam 24 parametrenin normal dağılımı sağlandıktan sonra yapılan temel bileşen

Çizelge 3. Temel bileşenlerle açıklanabilen varyanslar

Temel Bileşen	Başlangıç özdeğerleri			Yükleme karelerinin döndürülmüş toplamları		
	Toplam	Varyans %	Ekleme varyans %	Toplam	Varyans %	Ekleme varyans %
1	5.738	23.908	23.908	3.773	15.722	15.722
2	4.130	17.207	41.115	3.630	15.123	30.846
3	3.669	15.287	56.402	3.398	14.158	45.004
4	1.992	8.301	64.704	2.788	11.617	56.621
5	1.554	6.475	71.179	2.036	8.484	65.104
6	1.215	5.064	76.243	1.867	7.777	72.882
7	1.018	4.243	80.486	1.825	7.604	80.486
8	0.871	3.628	84.114			

Toprakların yarıyışlı Cu konsantrasyonlarının (Ln Cu, mg kg⁻¹) temel bileşen 2 ile dağılım diyagramı Şekil 5'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere toprakların büyük çoğunluğu (% 78.57) yeterlilik sınırının 10 katı olan 2 mg/kg, 12 toprak ise 10 mg/kg değerinden daha yüksek Cu içermektedir. Yarıyışlı Cu konsantrasyonu yüksek olan toprakların hemen hemen tamamının çok yıllık kiraz, şeftali ve elma bahçelerinde olması uygulanan gübreleme programı ya da hastalık ve zararlılarla mücadelede kullanılan Cu içerikli preparatların önemini ortaya koymaktadır. Bu genel davranış, Cu miktarı yüksek grupta yer alan tarla bitkileri alanlarının bozulmuş eski bahçeler olabileceğini düşündürmektedir. Diğer taraftan temel bileşen 2'nin kil miktarı ile olan negatif yüklemeye

analizi sonucunda özdeğeri 1'den daha büyük 7 adet temel bileşen belirlenmiştir. Bu temel bileşenlerin özdeğerleri ve açıkladıkları varyanslar Çizelge 3'te verilmiştir. Açıklanan varyansın %3.628'den daha düşük olduğu temel bileşenlere ait özdeğer ve açıklanan varyans değerleri verilmemiştir. Toplamda 7 temel bileşenle topraklarda meydana gelen varyansın %80.486 açıklanabilmektedir.

Ekstrakte edilen temel bileşenlerin ilişkili olduğu toprak özellikleri Çizelge 4'te verilmiştir. Buna göre yarıyışlı besin elementleriyle yüksek yüklemeye değerlerine sahip olan 2 nolu temel bileşenin ölçülen parametrelerden pH, Mg, P, Cu, Zn ile pozitif; kil miktarı ile negatif yüklemeye değerine sahip olduğu görülmektedir. Pozitif ilişkinin olduğu en yüksek parametrelerin sırasıyla Zn (0.873), Cu (0.783) ve P (0.704) olması çalışma alanında bu üç girdinin arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. 5 nolu temel bileşen ise topraktaki redoks reaksiyonlarının temel bileşenlerinden olan Fe ve Mn ile pozitif; bu reaksiyonların kontrolünde önemli bir etkiye sahip olan pH (Lindsay, 1979, 2001) ile negatif yüklemeye değeri vermiştir. Diğer taraftan indirgen koşullar altında asit ve alkali pH'ya sahip toprakların pH'ları nötre doğru değişmektedir (Ponnamperuma, 1972). Bu süreç nihayetinde redoks elementi olan Mn ve Fe'nin yarıyışlı konsantrasyonlarını arttırmaktadır. Bu durumun tersine oksidasyon koşulları kireçli topraklarda göreceli yüksek pH'dan da sorumludur.

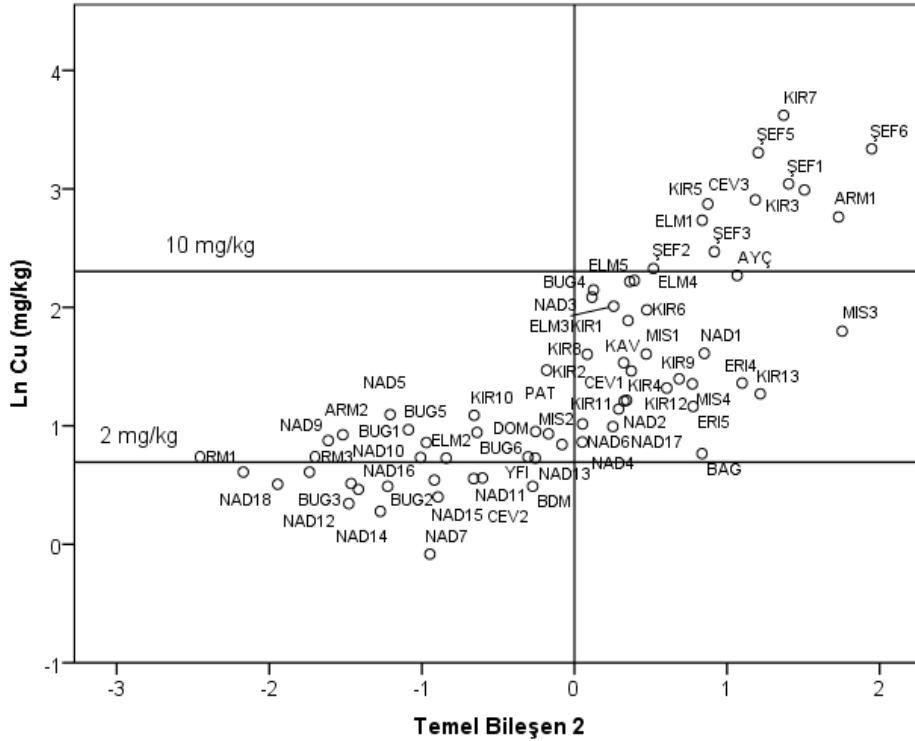
değerleri (-0.455) topraklarda Cu'nun yarıyışlı miktarının yükselmesini engelleyen en önemli tamponlayıcı toprak bileşeninin kil olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle topraklarda tarımsal uygulamalardan (gübreleme, zirai mücadele ilaçları) Cu ilavesinin hafif bünyeli topraklarda çevresel ve tarımsal tehdit unsuru olma potansiyelinin yüksek olduğu değerlendirilebilir.

Toprakların yarıyışlı Zn konsantrasyonlarının (LnZn, mg/kg) temel bileşen 2 ile dağılım diyagramı Şekil 6'te verilmiştir. Toprakların %32.86'sında Zn ≤ 0.7 mg kg⁻¹ olduğundan bir eksiklik, %41.43'ü yeterli (0.7 < Zn < 2.2) ve geri kalan %25.71 inde ise fazla/çok fazladır. Çok fazla (Zn > 8 mg kg⁻¹) sınıfında 3 adet toprak bulunmaktadır.

Çizelge 4. Döndürülmüş temel bileşen toprak özellikleri yükleme matrisi

Parametreler	Temel Bileşenler*						
	1	2	3	4	5	6	7
OM							0.423
Kireç			-0.434	0.719			
KDK	0.799					-0.408	
pH		0.429		0.540	-0.589		
EC	0.792						
Ca	0.676			0.506			
K	0.861						
Mg		0.577					-0.488
Na							0.853
P		0.704					
Cu		0.783					
Fe					0.829		
Mn					0.667		
Zn		0.873					
Kum	-0.533			-0.606			
Silt				0.829			
Kil	0.632	-0.455					
MnOx			0.697				
AMnOx			0.743				
CMnOx							0.813
TotMnOx			0.653				
AmFeOx			0.718				
KFeOx							0.801
TotFeOX			0.812				

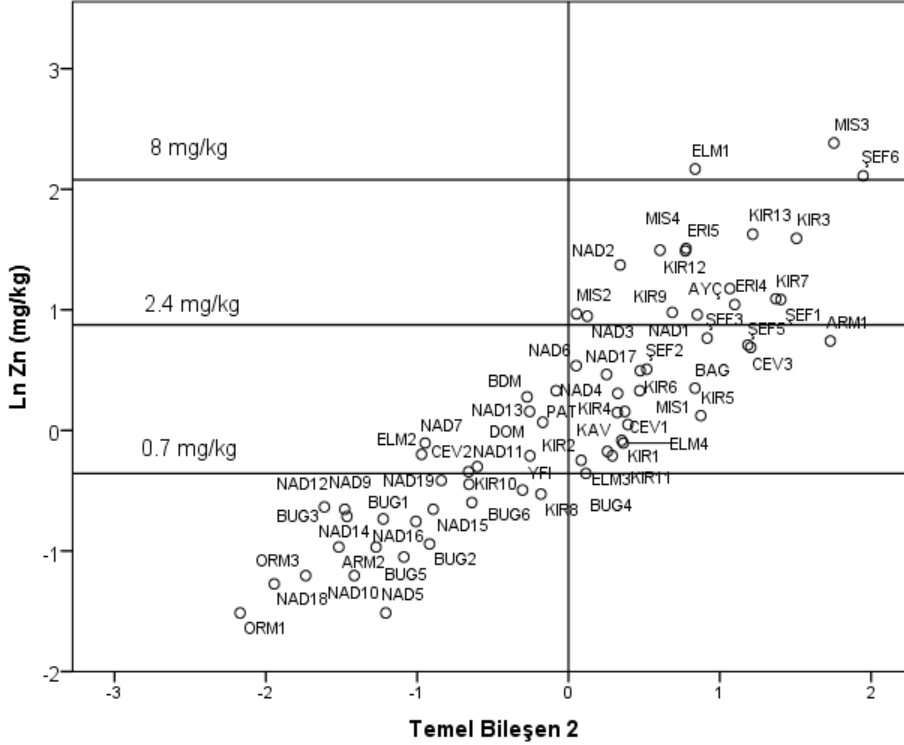
* 0.4 ün altında olan yükleme değerleri verilmemiştir.



Şekil 5. Yarıyıllık bakır konsantrasyonunun temel bileşen 2 ile dağılım diyagramı. KIR kiraz, ŞEF şeftali, ELM elma, ARM armut, ERI erik, ORM orman örtüsü, NAD kültür bitkisi bulunmayan, CEV ceviz, BAĞ bağ, KAV kavak, BDM badem, MIS mısır, BUG buğday, YFI yer fıstığı, AYC ayçiçeği, DOM domates, PAT patlıcan.

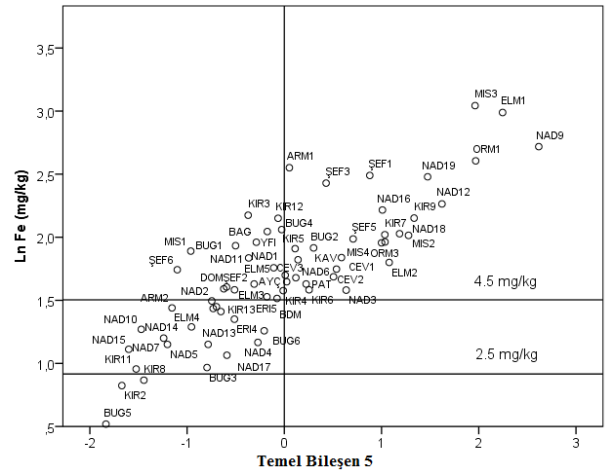
Topraklarda Zn yetersizliğinin en önemli sorumlusu yüksek kil içeriği olarak belirlenmiştir (Çizelge 4; Şekil 6). Temel bileşen 2'nin P ve Cu ile verdiği yüksek yüklenme değerleri, yüksek Zn konsantrasyonlarında

uygulanan Cu içerikli gübre ya da pestisitler ve fosforlu gübrelemelerin en önemli paya sahip olduğuna işaret etmektedir.



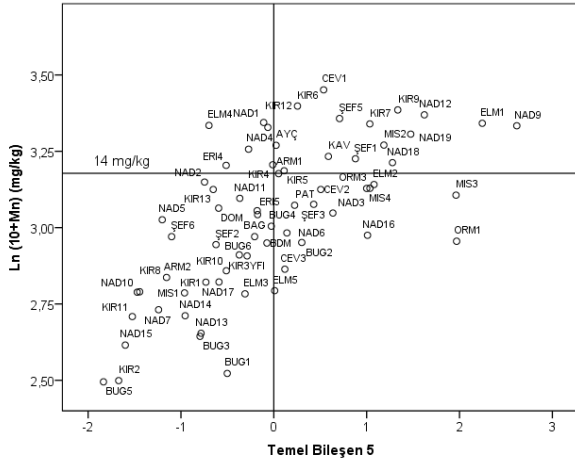
Şekil 6. Yarıyıllık çinko konsantrasyonlarının temel bileşen 2 ile dağılım diyagramı. KIR kiraz, ŞEF şeftali, ELM elma, ARM armut, ERI erik, ORM orman örtüsü, NAD kültür bitkisi bulunmayan, CEV ceviz, BAĞ bağ, KAV kavak, BDM badem, MIS mısır, BUG buğday, YFI yer fıstığı, AYC ayçiçeği, DOM domates, PAT patlıcan.

Toprakların yarıyıllık Fe konsantrasyonlarının ($\ln Fe$, $mg\ kg^{-1}$) temel bileşen 5 ile dağılım diyagramı Şekil 7' te verilmiştir. Araştırma topraklarının 3 tanesinde ileri derecede Fe noksanlığı ($Fe < 2.5\ mg\ kg^{-1}$), 17 tanesinde yetersiz ($2.5 < Fe < 4.5\ mg\ kg^{-1}$) iken geri kalan 50 toprak örneğinde yarıyıllık demirin yeterli olduğu belirlenmiştir. Topraklardaki bu dağılım arazinin mevcut kullanım durumuyla belirgin bir ilişki göstermemiştir. Topraklardaki düşük Fe konsantrasyonlarının en önemli nedeninin alkalın pH olduğu temel bileşen 5' in yüklenme değerlerinden görülmektedir. Yüksek değerlerin ise temel bileşen 5' in genelde topraklarda redoks bileşenleri olduğu düşünüldüğünde sulama veya aşırı sulama (arazi çalışmaları sırasında gözlemlenmiştir) ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Topraklarda Fe oksitlerin yüksek pH' larda çözünürlüğünün düşük olması (Lindsay, 1979, 2001) ve toprakların önemli bir kısmında yüksek kireç içeriğinden kaynaklanan pH tampon etkisiyle (Usta, 1995) Fe konsantrasyonlarının, sürekli gübreleme yapıyor olsa bile, aşırı yükselmesini önemli derecede sınırlandırmaktadır.



Şekil 7. Yarıyıllık demir konsantrasyonlarının temel bileşen 5 ile dağılım diyagramı. KIR kiraz, ŞEF şeftali, ELM elma, ARM armut, ERI erik, ORM orman örtüsü, NAD kültür bitkisi bulunmayan, CEV ceviz, BAĞ bağ, KAV kavak, BDM badem, MIS mısır, BUG buğday, YFI yer fıstığı, AYC ayçiçeği, DOM domates, PAT patlıcan.

Toprakların yarayışlı Mn konsantrasyonlarının ($\ln(10+\text{Mn})$, mg/kg) temel bileşen 5 ile dağılım diyagramı Şekil 8'de verilmiştir. Çalışma topraklarının 4 tanesi çok az ($\text{Mn} < 4 \text{ mg kg}^{-1}$), 44 tanesi az ($4 < \text{Mn} < 14 \text{ mg kg}^{-1}$) ve 22 tanesinin yeterli ($14 < \text{Mn} < 25 \text{ mg kg}^{-1}$) olarak sınıflandırılmıştır. Bu elementle ilgili bitki besleme açısından noksanlık probleminin oldukça yaygın olduğu değerlendirilmiştir. Bu davranışın temel nedeni de alkalın toprak pH'sı olarak belirtilebilir. Bu elementte Fe' de olduğu gibi redoks reaksiyonlarında başat etkiye sahiptir ve çözünürlüğü büyük ölçüde toprağın redoks potansiyeline (Lindsay, 1979, 2001) ya da başka bir deyişle tarımsal girdilerden sulamanın durumuna bağlıdır. Diğer taraftan Mn, Cu ve Zn gibi elementlerin yarayışlılığının azalmasında önemli bir etkidir. Dolayısıyla yüksek miktarlarda uygulanmış olan Zn ve Cu'nun kemisorpsiyon mekanizmaları çerçevesinde (Alloway, 1996; Uygur, 1998) yöre topraklarında Mn elementinin yarayışlılığını kısıtlayabileceği öngörülmektedir.



Şekil 8. Yarayışlı demir konsantrasyonlarının temel bileşen 5 ile dağılım diyagramı. KIR kiraz, ŞEF şeftali, ELM elma, ARM armut, ERI erik, ORM orman örtüsü, NAD kültür bitkisi bulunmayan, CEV ceviz, BAĞ bağ, KAV kavak, BDM badem, MIS mısır, BUG buğday, YFI yer fıstığı, AYC ayçiçeği, DOM domates, PAT patlıcan

4. Sonuç

Belirli bir yörede benzer toprak oluşum ekolojisine sahip çok sayıda toprak örneğinin araştırma konusu olduğu durumlarda veri setine ait temel tanımlayıcı istatistiksel analizlerden çarpıklık ve basıklık katsayısı gerek toprak oluşum gerekse yapılan tarımsal uygulamaların etkisini değerlendirmede başarı ile kullanılabileceği belirlenmiştir. Negatif çarpıklık genelde ilgili parametrenin tarımsal uygulamalar ve/veya toprak yapan faktörlerin etkisiyle sürekli kayba uğradığını; yüksek pozitif çarpıklık ise ilgili parametrenin toprakta yükselme eğiliminde olduğunu

göstermektedir. Bu bağlamda çalışma sahasında özellikle mikro elementlerden Cu ve Zn açısından başat olarak tarımsal uygulamalardan kaynaklanan bir artış olduğu belirlenmiştir. Bu artışta fosforlu gübrelemenin önemli bir paya sahip olduğu korelasyon analizleri ile ortaya konulmuştur.

Temel bileşen analizlerinin veri indirgenmesinde başarı ile kullanılabileceği ve toprakların davranışını yada herhangi bir bileşenin ilişkili olduğu bileşenlerle davranışını anlamada etkin bir yöntem olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Mikro elementlerden Fe ve Mn'nin yarayışlı konsantrasyonlarının pH'nın baskısı altında toprakların redoks potansiyeli tarafından belirlendiği gözlenmiştir.

Çalışma alanında başat olarak fosforlu gübrelemeden, ilaveten meyve bahçelerinde uygulanan bordo bulamacı vb. Cu ve Zn içeren pestisit uygulamalarından kaynaklanan bir kirlilik riskinin söz konusu olduğu; problemin boyutunun hafif bünyeli topraklarda çok daha tehlikeli olduğu; bu nedenle bahsedilen risklerin göz önüne alındığı gübreleme ve zirai mücadele programlarının hazırlanması önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi tarafından 4532-YL2-15 nolu yüksek lisans projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Akgül, M., Başayığit, L., Uçar, Y., Müjdecı, M., 2001. Atabey ovası toprakları. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, 15(1), 71, Isparta.
- Alloway, B.J. 1996. Heavy metal in soils. Halsted Press, John Wiley & Sons Inc., Second edition, 368 p, London.
- Berkman, E.T., Reise, S.P., 2012. A conceptual guide to statistics using SPSS. Sage ISO 690, 295 p, New Delhi.
- Couto, R.D., Benedet, L., Comin, J.J., Belli, P., Martins, S.R., Gatiboni, L.C., Radetski, M., de Valois, C.M., Ambrosini, V.G., Brunetto, G. 2015. Accumulation of copper and zinc fractions in vine yard soil in the mid-western region of Santa Catarina, Brazil. Environmental Earth Sciences, 73, 6379-6386. doi:10.1007/s12665-014-3861-x.
- Çakmak, İ., Yılmaz, A., Kalaycı, M., Ekiz, H., Torun, B., Erenoglu, B., Braun, H.J. 1996. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in Central Anatolia. Plant and Soil, 180, 165-172. doi: 10.1007/BF00015299.
- Diatta, J., Grzebisz, W., Frackowiak-Pawlak, K., Andrzejewska, A., Brzykcy, M. 2014. Site-specific evaluation of Cu, Zn, Fe, and Mn availability in arable soils. Zemdirbyste-Agriculture, 101(3), 235-24. doi: 10.13080/z-a.2014.101.030.
- Durgun, B. 2016. Atabey ovasındaki toprak serilerinde çinko fraksiyonlarının belirlenmesi. SDU Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Isparta.
- Gunawardana, C., Egodawatta, P., Goonetilleke, A. 2014. Role of particle size and composition in metal adsorption by solids deposited on urban road surfaces.

- Environmental Pollution, 184, 44-53.[doi:10.1016/j.envpol.2013.08.010](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.08.010).
- Güzel, N., Ortaş, İ., İbrikci, H., 1991. Harran ovası toprak serilerinde yararlı mikroelement düzeyleri ve Zn uygulamasına karşı bitkinin yanıtı. Çukurova Üniversitesi Dergisi, 6: 15-30.
- Jung, H. S., Yun, S. T., Choi, B. Y., Kim, H. M., Jung, M., Kim, S. O., Kim, K. H. 2010. Geochemical studies on the contamination and dispersion of trace metals in intertidal sediments around a military air weapons shooting range. *Journal of Soils and Sediments*, 10, 1142-1158.[doi:10.1007/s11368-010-0248-9](https://doi.org/10.1007/s11368-010-0248-9).
- Kacar, B. 2012. Toprak analizleri. Nobel Yayınevi, Ankara.
- Kacar, B. 2013. Temel bitki besleme. Nobel Yayınevi, Ankara.
- Kumpiene, J., Lagerkvist, A., Maurice, C. 2008. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments - A review. *Waste Management*, 28, 215-225.[doi:10.1016/j.wasman.2006.12.012](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.012).
- Lair, G. J., Gerzabek, M. H., Haberhauer, G. 2007. Retention of copper, cadmium and zinc in soil and its textural fractions influenced by long-term field management. *European Journal of Soil Science*, 58, 1145-1154.[doi:10.1111/j.1365-2389.2007.00905.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2007.00905.x).
- Landau, S., Everitt, B.S. 2004. A handbook of statistical analyses using SPSS. Chapman & Hall/CRC Publications, 327 p, London, UK.
- Lindsay, W.L., 1979. Chemical equilibria in soils. JohnWiley & Sons, New York, USA.
- Lindsay, W.L., 2001. Chemical equilibria in soils. The Blackburn Press, 450 p, USA.
- Marschner, H., 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition, 889 p, London, UK.
- Marschner, P. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Third edition, Elsevier Ltd., 651 p, Amsterdam.
- Mengel, K., Kirkby, E.A., 2001. Principles of plant nutrition. 5th Edition. Kluwer Academic Publishers. ISBN: 1-4020-0008-1, Dordrecht, 5th edition, 849 p, The Netherlands.
- Papadopoulos, P and Rowell, D.L. 1989. The reaction of copper and zinc with calcium carbonate surfaces. *Journal of Soil Science*, 40, 39-48.[doi:10.1111/j.1365-2389.1989.tb01252.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1989.tb01252.x).
- Ponnamperuma, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advance in Agronomy*, 24, 29-96.
- Querol, X., Alastuey, A., Moreno, N., Alvarez-Ayuso, E., Garcia-Sanchez, A., Cama, J., Ayora, C., Simon, M. 2006. Immobilization of heavy metals in polluted soils by the addition of zeolitic material synthesized from coal fly ash. *Chemosphere*, 62, 171-180.[doi:10.1016/j.chemosphere.2005.05.029](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.05.029).
- Spark, K.M., Wells, J.D. Johnson, B.B. 1997. Interaction of humic acid with heavy metals. *Australian Journal of Soil Science*, 35, 89-101.[doi:10.1071/S96008](https://doi.org/10.1071/S96008).
- Sparks, D. L. 1996. Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Shuman, L. M. (1988). Effect of removal of organic matter and iron- or manganese-oxides on zinc adsorption by soil. *Soil Science*: 146, 248
- Usta, S. 1995. Toprak kimyası. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın no: 1387, 217 s, Ankara.
- Uygur, V. 1998. The sorption/desorption chemistry of zn in calcareous soils from Turkey. PhD Thesis. The University of Newcastle upon Tyne, UK.
- Uygur, V. and D.L. Rimmer, 2000. Reactions of zinc with iron-oxide coated calcite surfaces at alkaline pH. *European Journal of Soil Science*, 51, 511-516.[doi:10.1046/j.1365-2389.2000.00318.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2000.00318.x).
- Wei, X.R., Shao, M.G., Zhuang, J., Horton, R. 2010. Soil iron fractionation and availability at selected lanscape positions in a loessial gully region of northwestern China. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56(4), 317-626.[doi:10.1111/j.1747-0765.2010.00497.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2010.00497.x).