



Farklı özelliklerdeki topraklarda redoks potansiyelindeki değişimlerin Fe ve Mn yararışlılığına etkisi

Effect of redox potential induced changes on Fe and Mn availability in soils with differing characteristics

Süleyman ÖREN¹, Veli UYGUR², Enise SUKUŞU³

¹Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü, Isparta

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Isparta

³Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Siirt

Sorumlu yazar (Corresponding author): V. Uygur, e-posta (e-mail): veliuygur@isparta.edu.tr

Yazar(lar) e-posta (Author e-mail): suleymanO32@hotmail.com, enisesukusu@sdu.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi 23 Mart 2018
Düzeltilme tarihi 14 Ekim 2018
Kabul tarihi 01 Kasım 2018

Anahtar Kelimeler:

Toprak özellikleri
İndirgen şartlar
Yararışlı Fe
Yararışlı Mn
Redoks potansiyeli

ÖZ

Kış ayları boyunca toprakların hemen hemen doygun şartlarda kalması redoks potansiyelini düşürmekte bu da örnekleme zamanına bağlı olarak topraklarda farklı yararışlı element konsantrasyonlarına neden olmaktadır. Topraklara giren oksijen miktarına bağlı olarak redoks reaksiyonlarında meydana gelen değişimler demir (Fe) ve mangan (Mn) yararışlılığını önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu nedenle bu çalışmada indirgen koşulların süresine bağlı olarak topraklardaki yararışlı Fe ve Mn miktarlarının nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu amaçla özellikleri farklı 15 yüzey toprağı (0-30 cm) 1:1 toprak su karışımıyla sağlanan indirgen şartlarda sabit sıcaklıkta (22±2 °C) 91 gün inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyonun 3, 7, 14, 21, 31, 45, 60, 91. günlerinde pH, ORP, DTPA-Fe ve DTPA-Mn analizleri yapılmıştır. Sonuçlar redoks potansiyelinin DTPA ile ekstrakte edilebilen yararışlı Fe ve Mn konsantrasyonunu önemli ölçüde etkileyerek değiştirdiği gözlemlenmiştir. Bu değişim, inkübasyon süresine ve toprak özelliklerine bağlı olarak farklılıklar göstermiştir. Sonuç olarak topraklarda yararışlı Fe ve Mn konsantrasyonu belirlenirken toprakların rutin analizleri içerisinde ORP parametresinin de ilave edilmesinin aynı arazinin farklı dönemlerindeki analiz sonuçlarının karşılaştırılmasında faydalı olacağı düşünülmektedir.

ARTICLE INFO

Received 23 March 2018
Received in revised form 14 October 2018
Accepted 01 November 2018

Keywords:

Soil properties
Reducing conditions
Available Fe
Available Mn
Redox potential

ABSTRACT

The water content near saturation during the winter times reduces the redox potential of soils this in fact cause changes in nutrient element concentration induced by sampling time. The availability of iron (Fe) and manganese (Mn) prone to very large variations depending on redox induced reactions upon depletion of oxygen diffusion into soils. Thus we aimed to investigate how available Fe and Mn concentrations are affected by saturation-time and soil properties. For this purpose total of 15 surface soil samples (0-30 cm) with differing physico-chemical properties were incubated at near saturation condition by mixing 1:1 soil: water and constant temperature (22±2°C) for 91 days. pH, oxidation reduction potential (ORP), DTPA-Fe and -Mn were measured on 3, 7, 14, 21, 31, 45, 60 and 91st days. Results indicated that redox potential had significant effects on DTPA extractable Fe and Mn concentrations. These changes were function of soil properties and incubation period. It can therefore be concluded that it is beneficial to include the ORP measurement into routine soil analyses parameters to better evaluate the available Fe and Mn concentration of the same field's soil sampled at differing time or season.

1. Giriş

Topraklarda indirgen koşulların oluşması sonucunda toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde önemli değişimler meydana gelmektedir. Sistemdeki oksijen azalmasıyla toprakta meydana gelen tüm kimyasal reaksiyonlar,

termodinamik açıdan oluşan yeni durumdaki değişimin etkisini azaltacak yönde hareket ederler (Lindsay 2001). Sistemdeki oksijen miktarının azalmasına göre toprakların davranışları toprak özellikleri ve indirgen şartların süresine ve derecesine

göre değişiklik arz etmektedir (Fageria ve ark. 2011). Sistemin oksijen içeriğini azaltan süreçler, topraklardaki bitki besin elementlerinden özellikle Fe ve Mn miktarı üzerinde, redoks reaksiyonlarında oksijen ve nitrattan sonra en etkin elektron alıcılardan olması nedeniyle, önemli değişimlere neden olmaktadır (Condon ve Richards 1992).

Fe(III) ve Mn(IV)'ün indirgenmesi su ortamlarında ya da indirgen şartlar altında doğal organik maddenin ya da ilave olunan organik kirleticilerin oksitlenmesinde en önemli mekanizmadır. Demir ve Mn'nin indirgenme mekanizmalarındaki farklılıklar bu elementlerin sedimentlerde, indirgenmiş topraklarda ve yer altı sularındaki dağılımını etkilemektedir (Lowley 1991; Szymanski ve Skiba 2013). Bunların dışında Fe ve Mn'nin indirgenme derecesi toksik iz elementlerin, fosforun fraksiyonlarının dağılımında ve bitkilere olan yararıyla önemli rolü vardır (Nasnodkar ve Nayak 2017). Bu davranışın temel nedeni Fe ve Mn oksitlerin diğer toprak bileşenlerine oranla yüksek miktarda bu elementleri adsorbe edebilme kabiliyetidir (Latrille ve ark. 2001; Dellwig ve ark. 2010; Suda ve Makino 2016). Mn oksitler indirgen koşullar oluştuğunda NO₃ indirgenmesinden sonra indirgenmeye başladığı için ve oksidasyon koşullarında en son oksitlenen metal olduğu için (Ponnamperuma 1972; 1978; Patrick ve Henderson 1981) zayıf asit karakterli anyonlar, zayıf hidrolize olan katyonlar ve organik moleküllerin oksidasyonunda özel bir öneme sahiptir (Liu ve ark. 2002; Shaheen ve Rinkbele 2014).

Rao ve Venkateswarlu (1974), deneme öncesi elverişli Fe ve Mn miktarları ortalama 8.7 ve 7.9 mg kg⁻¹ toprak örneklerinin 4 hafta su altında bırakılması sonucu Fe miktarlarının ortalama 117.8, Mn miktarlarının ortalama 79.5 mg kg⁻¹'e yükseldiğini tespit etmişlerdir. Ancak su altında kalma ile meydana gelen bu artış sürekli olmamaktadır. Nitekim Ghosh ve ark. (1976), çeltik toprağında 9.7 ve 1.8 mg kg⁻¹ olan başlangıç elverişli Fe ve Mn miktarlarının 30 gün sonra 18.6 ve 23.1'ya yükseldiğini; 72 gün sonra ise 15.6 ve 7.1 mg kg⁻¹ düştüğünü belirlemişlerdir. Benzer şekilde Aydın ve Sezen (1995), çeltik yetiştirdikleri iki toprağın başlangıç elverişli Fe ve Mn miktarlarının 6.3, 2.1 ve 8.3, 5.9 mg kg⁻¹ 30 gün sonra Fe için 156.8 ve 149, Mn için 100.5 ve 125.6 mg kg⁻¹'e yükseldiğini; 90. günde ise Fe için 79.2 ve 68.2, Mn için 25.8 ve 35.9 mg kg⁻¹'e düştüğünü belirlemişlerdir. Barik ve ark. (2005) tarafından yapılan araştırma neticesinde yarayışlı Fe konsantrasyonunda 15 kat, Mn' de ise 12 katlık bir artış belirlemişlerdir.

Yukarıdaki çalışmalar temel itibarı ile birkaç toprak örneği ile tamamen su altında kalmış göreceli ileri derecede indirgenmenin gerçekleştiği koşullarda yapılmıştır. Doğunluk derecesine yakın koşullarda sisteme oksijen girişi daha fazla olduğundan indirgenme ileri derecede gerçekleşmez. Diğer taraftan ölçümlerin sıklıkla yapılmamasından dolayı aradaki günlerde oluşan değişim net olarak gözlemlenememektedir. Bu nedenle bu çalışmada farklı özelliklere sahip 15 toprak örneğinde yarayışlı demir ve mangan konsantrasyonlarının zamanın fonksiyonu olarak toprak özellikleri ile ilişkilerini ortaya koymak amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Toprak örneklerinin alınması ve tanımlayıcı analizler

Farklı illerden taşınmış veya yerinde oluşmuş farklı fiziko-kimyasal özelliklere sahip 15 yüzey toprağı (0-20 cm) örneği alınmıştır (Ören 2018). Hava-kuru toprak örnekleri 2 mm' den

elenerek tanımlayıcı analizler yapılmıştır. Topraklarda belirlenen tanımlayıcı analizler Sparks ve ark. (1996)'da bildirilen yaygın yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Toprakların pH ve EC' si saturasyon çamurunda; organik maddesi modifiye Walkley-Black metoduyla (Nelson ve Sommers 1996); toplam azot Kjeldahl yöntemiyle (Bremner 1996); kireç manometrik yöntemle Scheibler kalsimetresiyle; tekstür fraksiyonları hidrometreyle (Gee ve Bauder 1986); yarayışlı fosfor Olsen metoduyla (Kuo 1996); K, Ca ve Mg amonyum asetat ekstraksiyonuyla (Sumner ve Miller 1996) ve yarayışlı katyonik mikroelementler ise DTPA ekstraksiyonuyla (Lindsay ve Norwell 1978) ICP-OES'de (Perkin-Elmer, Optima 2100 DV) belirlenmiştir. Toprakların tanımlayıcı analizlerine ait sonuçlar Çizelge 1' de verilmiştir.

2.2. İnkübasyon denemesinin kurulması ve yürütülmesi

Analizlerin kolaylığı açısından mikroelementlerin yarayışlı konsantrasyonlarının Lindsay ve Norwell (1978) bildirdiği yöntemle direk olarak ölçülebileceği 10 g toprak örneği, 10 mL saf su ile 50 mL'lik santrifüj tüpleri içerisinde 3, 7, 14, 21, 31, 45, 60 ve 91 gün süre ile 22±2 °C' de bitki oluşumuna karşı karanlıkta inkübe edilmiştir. Deneme 3 paralelli olarak tesadüf parselleri deneme deseninde kurulmuştur. Denemedeki su kaybı haftalık periyotlarla kontrol edilmiş ve ağırlık esasına göre eksilen nem ilave edilmiştir. İnkübasyon sonrasında topraklar 40 °C inkübatörde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Üzerine DTPA ekstraksiyon çözeltisinden eklenerek yarayışlı mikroelementler Lindsay ve Norwell (1978) tarafından bildirildiği şekilde ekstrakte edilerek ICP-OES'de Fe ve Mn konsantrasyonları belirlenmiştir.

2.3. pH ve redoks ölçümleri

Toprakların pH ve redoks potansiyelinin ölçümü için önceki denemeye paralel bir deneme kurulmuş Fe ve Mn belirlenmesine paralel pH ve redoks potansiyeli Patrick ve ark. (1996) tarafından bildirildiği şekilde 1:2 toprak su süspaniyonunda pH/ORP elektrodu ile belirlenmiştir.

2.4. İstatistiksel değerlendirmeler

Her bir toprak örneğinin su altında kalması sonucu meydana gelen yarayışlı Fe ve Mn konsantrasyonlarındaki değişim, tekrar eden ölçümler deneme desenine göre varyans analizi uygulanmıştır. Bu şekilde örnekler ve ölçüm zamanları arasındaki farklılıklar Bonferroni testi ile P≤0.05 seviyesinde karşılaştırılmıştır. Toprak özellikleri ile ölçülen parametreler arasındaki ilişkiler konvansiyonel korelasyon analizleri ve kemometrik analizlerle incelenmiştir. Kemometrik analizlerde temel bileşen analizi SPSS paket programında gerçekleştirilmiştir. Temel bileşen analizi çok sayıda parametrenin incelendiği durumlarda kullanılan bir veri indirgeme yöntemidir. Bu şekilde toprak özelliklerinin hangisinin su altında kalma ile yarayışlı Fe ve Mn'nin değişimini açıklayabildiği ortaya konulmuştur. Temel bileşen analizi normal şartlarda bir değişkenin varyansını açıklayan p sayıdaki değişken yerine bu değişkenlerden üretilen daha az sayıdaki temel bileşenlerle veri setinin varyansını açıklama yöntemidir (Landau ve Everitt 2004).

Hesaplama çarpıklığı giderilmiş veri seti kullanılmıştır. Bu bağlamda SPSS paket programında veri indirgeme>faktör analizi>temel bileşen analizi sekmelerinden korelasyon matrisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veri setine varimax rotasyonu uygulanmıştır (Berkman ve Reise 2012).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Topraklardaki Fe ve Mn konsantrasyonunun zamansal değişimi

Hem Mn hem de Fe konsantrasyonları topraklar arasında ve aynı toprakta örnekleme zamanları arasında önemli ölçüde farklılıklar göstermiştir (Çizelge 2). İnkübasyon süresince toprakların Fe ve Mn konsantrasyonu kontrol toprakları ile kıyaslandığında belirgin bir şekilde yüksektir. Fe konsantrasyonu 21. günde Mn konsantrasyonu ise 14. günde maksimum değere ulaşmıştır. Fe konsantrasyonu ortalama olarak topraklarda inkübasyon süresince 2.66, Mn konsantrasyonu ise 2.69 kata kadar artış göstermiştir.

Mangan konsantrasyonu topraklarda göreceli olarak çok kısa sürede artış göstermiştir ki bu Mn minerallerinin azotlu yapılardan sonra ilk indirgenen mineral/kanyonlar olması ile açıklanabilir (Condon ve Richards 1992). $Mn^{+4/+3}$ içeren mineral yapılar 3 gün gibi son derecede kısa bir süre indirgen ortamda kaldığında indirgenmeye başlar (Takai ve ark. 1957; Datta 1981). İndirgen ortamlarda toprakta bulunan hakim Mn minerali ne olursa olsun termodinamik açıdan normal toprak pH sınırlarında en stabil yapının Mn^{+2} kanyonun olması nedeniyle böyle bir artış gerçekleşmektedir (Sogaard ve Madsen 2013). İndirgen ortam oluştuğunda ortamda bulunan organik madde gibi elektron sağlayıcıların miktarına göre (Patrick ve Reddy 1978) topraklar arasında farklılıklar ortaya çıkmaktadır.

Demir oksitlerin indirgenmesi Mn oksit minerallerinin indirgenmesinden sonra daha hızlı gerçekleşir (Datta 1981; Condon ve Richards 1992). Nitekim Mn konsantrasyonu 14. günde maksimum değere ulaşırken Fe konsantrasyonu 21. günde maksimuma ulaşmıştır. Diğer taraftan ayrışmanın ileri derecede gerçekleştiği asit topraklar göreceli olarak daha fazla miktarda Fe oksit minerallerini içerdiğinden bu topraklar genelde daha yüksek yarayışlı Fe içeriğine sahiptirler (Çizelge 1 ve 2).

3.2. İnkübasyonda toprak pH'sının değişimine toprak özelliklerinin etkisi

Toprak özellikleri ile inkübasyon sırasında değişen pH değerleri korelasyon matrisi Çizelge 3'te verilmiştir. İnkübasyonun farklı periyotlarındaki ölçümlerin korelasyon analizinde pH ve redoks potansiyeli arasında çok önemli negatif korelasyon (-0.962-1.00) bulunmuştur. Ayrıca pH ile kireç, Ca, Mg miktarı arasında pozitif; DTPA-Fe ve inkübasyonun 3. günündeki yarayışlı Fe konsantrasyonu ile çok önemli ve önemli, DTPA-Mn konsantrasyonları arasında önemli negatif korelasyonlar tespit edilmiştir. Fe ve Mn konsantrasyonu ile pH arasındaki korelasyon katsayıları genelde inkübasyon süresinin artmasına bağlı olarak azalma göstermektedir ki bu da normal topraklarda bu iki elementin yarayışlılığını kontrol eden pH faktörünün etkisinin (Lindsay 2001) artan su ile doygunluk süresine bağlı olarak ortadan kaktığının göstergesidir. Benzer şekilde inkübasyonun ilerleyen sürecinde pH'nın Ca ile olan ilişkisinde de azalma gözlenirken; Mg ile olan korelasyon katsayısında artış tespit edilmiştir. Bu da pH arttıkça $MgCO_3$ 'ün $CaCO_3$ 'e göre daha etkin olduğunu göstermektedir. Zira $CaCO_3$ mineralleri asit ilavesinde daha hızlı çözünme eğilimi gösterirken; $MgCO_3$ özellikle Ca-karbonatların bulunduğu durumlarda daha yavaş tepki vermektedir.

ORP ile pH arasında inkübasyon sırasında tüm ölçüm zamanlarında son derece yüksek negatif korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Nitekim Lindsay (2001) bu ilişkiyi teorik olarak

göstermiştir. Herhangi bir toprağın pe + pH değerlerinin sabit ve o toprak için karakteristik olduğu bildirilmektedir (Lindsay ve Sadiq 1983; Lindsay 2001). Bu durumda pH'daki değişim kadar zıt yönde pe değerinde bir değişim olmaktadır. Diğer taraftan bu iki değişken arasında aynı elektrotla eş zamanlı ölçülmesinden kaynaklanan bir sistematik ilişki de söz konusudur. Bunun sonucunda da -0.962 ile 1.00 arasında korelasyon katsayıları elde edilmiştir.

3.3. İnkübasyonda ORP değişimine toprak özellikleri ile ilişkileri

Toprak özellikleri ile ORP'nin zamansal değişimleri arasındaki korelasyon matrisi Çizelge 4'te verilmiştir. ORP ile kireç, Ca, Mg miktarı arasında negatif; Fe ve Mn ile pozitif çok önemli korelasyon katsayıları tespit edilmiştir. Çizelgede dikkat çeken diğer bir husus ise inkübasyonun ilerleyen sürecinde ORP'nin Ca ile olan ilişkisinde artma, Mg ile olan ilişkisinde ise azalma tespit edilmiştir. Bu da ORP arttıkça $CaCO_3$ 'ün $MgCO_3$ 'e göre daha etkin olduğunu göstermektedir ki bu iki karbonattan Ca karbonatların daha hızlı çözünmesiyle ya da daha fazla çözünürlüğe sahip olması ile ilişkili olabilir (Lindsay 2001). Diğer taraftan Ca, Mg gibi elementler direk olarak redoks reaksiyonuna girmezler (Lindsay 1979) ancak pH değişimlerine karşı tamponlayıcı etkileri nedeniyle dolaylı bir etki oluşturmaktadırlar (Usta 1995).

3.4. Topraklardaki kemometrik ilişkiler

Topraklarda belirlenen Fe ve Mn'nin yarayışlı konsantrasyonları, inkübasyon süresince değişen diğer parametreler ile tanımlayıcı toprak özelliklerine veri indirgeme yöntemi olan temel bileşen analizi (PCA) SPSS paket programında uygulanmıştır (Berkman ve Reise 2012).

Temel bileşenlere (PC) ait özdeğerler Çizelge 5'de gösterilmiştir. Özdeğeri 1'den büyük olan temel bileşenler verilerin tanımlanmasında kullanılmıştır. Çizelge 5 incelendiğinde özdeğeri 1'den büyük olan 6 ayrı bileşenin bulunduğu gözlenmektedir. Bu bileşenlerle toplamda meydana gelen varyansın % 94.477'si açıklanabilmektedir ki bu son derece yüksek bir orandır. Birinci temel bileşen varyansın % 44.644'lük bir kısmını açıklarken; ikinci ve üçüncü temel bileşenler sırasıyla % 17.434 ve % 14.682'lik bir kısmını açıklayabilmektedir. Sonraki temel bileşenler göreceli olarak daha az varyans açıklamaktadırlar (Çizelge 5). Birinci temel bileşen genelde toprakların tanımlayıcı özellikleri ile ilişkilidir. Bu bağlamda toprak özelliklerinden pH, kireç, yarayışlı K, Ca ve Mg, pH ile negatif yükleme değerleri verirken; DTPA-Fe ve 3. gündeki DTPA-Fe, DTPA-Mn ve ORP ölçümleri ile pozitif yükleme değerleri vermiştir. İkinci temel bileşen ise EC ile negatif; toplam azot, OM, yarayışlı P ve inkübasyon süresince ölçülen DTPA-Fe konsantrasyonlarıyla pozitif korelasyonlar elde edilmiştir. Üçüncü temel bileşen kireç eşdeğeriyle negatif, inkübasyonda ölçülen Mn konsantrasyonlarıyla pozitif yükleme değerlerine sahiptir. Dördüncü temel bileşen, toprak tekstür fraksiyonlarından kum ile negatif; OM, toplam azot, yarayışlı K, DTPA-Zn ve Cu ile pozitif yükleme vermektedir. Beşinci temel bileşen tekstür bileşenlerinden silt ve kil ile negatif; DTPA-Mn ile pozitif yükleme değerlerine sahiptir. Bu da DTPA-Mn konsantrasyonunda ince tanecikli tekstür fraksiyonlarının ilişkisini (adsorpsiyonunu) ortaya koymaktadır. Altıncı temel bileşen ise yarayışlı P, DTPA-Zn ve Cu yüksek pozitif yükleme değerine sahip iken; ölçülen herhangi bir toprak bileşeni ile yüksek negatif yükleme değeri gözlenmemiştir.

Çizelge 1. Denemede kullanılan toprak örneklerinin tanımlayıcı fiziko-kimyasal özellikleri.

Table 1. Descriptive physico-chemical properties of the experimental soils.

Toprak No	Tekstür (%)			EC $\mu\text{S cm}^{-1}$	Kireç	OM g kg^{-1}	Toplam N	pH	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
	Kum	Silt	Kil													
1	54.2	25.4	20.4	96.0	7.30	54.2	2.05	3.58	27.0	130	988	138	41.6	0.76	27.4	1.66
2	40.2	29.4	30.4	79.7	8.80	39.2	1.63	3.99	14.0	202	676	140	38.9	0.89	23.0	0.56
3	42.2	29.4	28.4	579	11.7	47.9	2.22	3.54	12.0	432	1107	136	40.0	1.04	25.9	0.56
4	42.2	29.4	28.4	78.8	4.40	40.1	2.54	4.04	6.00	225	741	144	35.5	0.53	19.0	0.56
5	41.2	28.4	30.4	204.9	7.30	70.1	3.49	6.01	52.0	357	4443	698	44.3	15.90	14.8	8.27
6	41.7	34.0	24.3	7700	49.9	339	13.3	8.17	73.5	8543	5248	934	31.3	0.85	19.2	7.93
7	20.2	27.4	52.4	458	61.6	15.0	0.96	7.72	4.50	735	14181	670	13.1	1.58	11.8	0.37
8	41.2	27.4	31.4	351	296	24.7	1.40	7.98	46.0	1027	14787	1152	6.52	1.71	14.2	1.37
9	72.2	11.4	16.4	81.8	8.80	1.90	0.12	6.74	5.00	167	5977	506	4.40	1.80	26.0	0.27
10	43.6	16.6	39.8	0.174	371	26.6	1.23	8.21	40.5	891	18601	1295	7.12	1.69	7.39	1.03
11	37.2	42.4	20.4	0.23	246	12.3	0.71	8.65	3.50	424	19211	1028	2.53	0.63	2.51	0.19
12	24.6	22.4	53.0	269	428	10.4	0.63	8.00	5.50	330	27140	1561	3.45	0.97	7.89	0.34
13	61.6	23.4	15.0	2290	173	9.70	0.58	7.69	1.50	144	24079	456	4.66	0.69	11.50	0.22
14	61.6	21.4	17.0	116	122	16.2	1.02	8.32	3.00	196	20467	833	6.00	0.56	10.50	0.27
15	45.6	24.4	30.0	182	153	23.1	1.39	7.77	20.0	503	28855	545	5.72	0.67	13.90	0.50

Çizelge 2. İnkübasyon süresince deneme topraklarının DTPA ile ekstrakte edilebilir demir (Fe) ve mangan (Mn) içeriklerinin zamana bağlı değişimi.

Table 2. Time dependent differences in DTPA extractable iron (Fe) and manganese (Mn) concentrations of experimental soils in the course of incubation.

Toprak No	DTPA-Fe										DTPA-Mn									
	Örneklem Zamanı										Örneklem Zamanı									
	0	3	7	14	21	31	45	60	91	Ort.	0	3	7	14	21	31	45	60	91	Ort.
1	41.6	162	154	171	175	174	173	168	157	153 A	27.4	55.9	60.6	51.5	53.6	51.9	58.9	57.4	49.2	51.8 C
2	38.9	111	125	147	150	126	119	99.9	92.5	112 B	23.0	48.9	61.3	60.5	59.9	62.2	62.5	52.8	45.4	52.9 C
3	40.0	42.3	24.3	21.9	18.5	17.8	16.0	15.7	13.0	23.3 G	25.9	29.4	24.6	24.4	23.4	22.7	21.3	19.2	18.1	23.2 E
4	35.5	20.4	35.9	40.6	42.7	34.7	24.8	25.4	20.9	31.2 F	19.0	16.7	19.2	18.6	17.7	15.6	14.6	13.7	11.7	16.3 F
5	44.3	10.9	11.6	82.2	107	88.3	100	114	118	75.2 C	14.8	15.4	18.0	68.0	101	110	115	87.5	75.9	67.2 B
6	31.3	25.5	26.0	24.6	10.3	23.9	21.7	20.5	19.7	22.6 G	19.2	32.6	33.7	35.2	8.96	35.2	25.1	25.1	10.3	25.0 E
7	13.0	3.02	3.85	25.8	22.3	24.6	20.6	24.3	23.3	17.9 G	11.8	46.1	47.2	110	96.8	76.2	55.9	90.7	55.1	65.5 B
8	6.52	7.67	19.8	31.0	36.0	54.7	25.9	41.1	38.0	29.0 F	14.2	45.5	39.4	37.4	35.3	34.8	25.7	32.5	26.7	32.4 D
9	4.40	1.20	1.68	1.55	1.28	1.35	1.45	1.90	2.28	1.90 İ	26.0	34.1	35.9	34.0	25.9	18.6	16.1	16.5	12.4	24.4 E
10	7.12	11.4	11.7	29.6	35.1	37.9	29.4	31.2	32.2	25.1 FG	7.39	28.2	24.1	26.3	25.1	23.8	25.3	22.8	21.8	22.7 E
11	2.53	2.06	5.65	12.5	9.11	8.90	10.0	13.9	14.6	8.81 H	2.51	8.96	11.3	12.0	11.3	10.4	9.1	10.8	10.9	9.69 G
12	3.45	0.98	7.11	15.6	18.5	11.3	24.4	28.7	23.8	14.9 G	7.89	4.80	8.36	8.35	8.64	9.6	11.1	12.5	11.1	9.15 G
13	4.66	0.60	0.63	0.47	0.50	0.66	0.61	0.73	0.88	1.08 İ	11.5	8.71	8.54	9.16	9.34	8.8	7.5	7.8	6.3	8.62 G
14	6.00	18.5	37.4	49.6	58.8	19.1	29.3	59.9	56.9	37.3 E	10.5	29.9	28.5	26.6	31.2	13.3	30.4	36.0	36.9	27.0 E
15	5.72	10.5	45.8	65.9	74.0	55.1	72.2	73.4	32.7	48.4 D	13.9	100	113	112	1105	111	98.7	106	54.6	90.9 A
Ort.	19.0 e	28.5 d	34.0 c	47.9 a	50.6 a	45.2 ab	44.5 b	47.9 a	43.1 b		15.7 c	33.7 b	35.6 b	42.2 a	41.1 a	40.2 a	38.5 a	39.4a	29.8 b	

Farklı büyük harfler, toprakların ortalama yararlı element konsantrasyonları arasındaki farklılıkları ($p \leq 0.05$); küçük harfler ise, örneklem zamanlarının ortalamaları arasındaki farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 3. İnkübasyondaki pH ile diğer toprak özellikleri arasındaki korelasyonlar.**Table 3.** Correlation coefficients between pH at incubations and other soil properties.

Parametre	pHC	pH3	pH7	pH14	pH21	pH31	pH45	pH60	pH91
Kum	-0.142	-0.235	-0.224	-0.221	-0.238	-0.286	-0.266	-0.212	-0.278
Silt	-0.260	-0.327	-0.364	-0.313	-0.351	-0.342	-0.317	-0.352	-0.406
Kil	0.121	0.044	0.038	0.020	0.080	0.088	0.108	0.051	0.031
EC	-0.144	-0.074	-0.027	-0.093	-0.095	-0.050	-0.111	-0.082	-0.058
Kireç	0.657**	0.591*	0.591*	0.608*	0.642**	0.626*	0.678**	0.621*	0.634*
OM	-0.368	-0.265	-0.252	-0.274	-0.263	-0.215	-0.217	-0.218	-0.165
N	-0.321	-0.219	-0.204	-0.230	-0.225	-0.175	-0.182	-0.180	-0.125
P	-0.111	-0.049	-0.023	-0.056	-0.007	0.026	0.064	0.075	0.087
K	0.372	0.470	0.464	0.442	0.455	0.482	0.476	0.468	0.528*
Ca	0.803**	0.734**	0.739**	0.744**	0.736**	0.728**	0.736**	0.708**	0.687**
Mg	0.808**	0.791**	0.791**	0.806**	0.834**	0.827**	0.856**	0.820**	0.855**
Cu	0.057	0.077	0.099	0.066	0.098	0.110	0.118	0.134	0.117
Zn	-0.169	-0.070	-0.038	-0.076	-0.043	0.000	0.004	0.039	0.066
DTPA-Fe	-0.803**	-0.727**	-0.713**	-0.747**	-0.726**	-0.691**	-0.707**	-0.690**	-0.665**
Fe3	-0.687**	-0.650**	-0.649**	-0.653**	-0.634*	-0.611*	-0.590*	-0.587*	-0.576*
Fe7	-0.514	-0.501	-0.490	-0.484	-0.468	-0.439	-0.410	-0.424	-0.417
Fe14	-0.359	-0.348	-0.347	-0.341	-0.315	-0.276	-0.250	-0.268	-0.273
Fe21	-0.347	-0.355	-0.349	-0.348	-0.317	-0.281	-0.249	-0.267	-0.281
Fe31	-0.366	-0.346	-0.342	-0.347	-0.309	-0.265	-0.232	-0.245	-0.259
Fe45	-0.319	-0.311	-0.303	-0.299	-0.266	-0.223	-0.194	-0.217	-0.226
Fe60	-0.244	-0.244	-0.238	-0.231	-0.201	-0.160	-0.131	-0.147	-0.158
Fe91	-0.261	-0.254	-0.253	-0.241	-0.207	-0.169	-0.138	-0.153	-0.162
DTPA-Mn	-0.627*	-0.589*	-0.546*	-0.611*	-0.581*	-0.566*	-0.588*	-0.541*	-0.542*
Mn3	-0.158	-0.138	-0.143	-0.179	-0.159	-0.141	-0.138	-0.094	-0.148
Mn7	-0.159	-0.140	-0.141	-0.168	-0.148	-0.123	-0.122	-0.094	-0.151
Mn14	-0.097	-0.060	-0.062	-0.100	-0.078	-0.041	-0.055	-0.023	-0.084
Mn21	-0.155	-0.170	-0.169	-0.201	-0.179	-0.151	-0.150	-0.124	-0.207
Mn31	-0.164	-0.119	-0.108	-0.147	-0.119	-0.070	-0.075	-0.061	-0.117
Mn45	-0.182	-0.159	-0.144	-0.177	-0.150	-0.108	-0.109	-0.095	-0.146
Mn60	-0.060	-0.039	-0.034	-0.066	-0.040	0.005	-0.003	0.018	-0.041
Mn91	-0.147	-0.157	-0.158	-0.177	-0.149	-0.114	-0.107	-0.093	-0.157
ORPC	-1.000**	-0.988**	-0.983**	-0.986**	-0.983**	-0.974**	-0.971**	-0.969**	-0.962**
ORP3	-0.987**	-1.000**	-0.995**	-0.995**	-0.992**	-0.989**	-0.980**	-0.978**	-0.978**
ORP7	-0.983**	-0.995**	-1.000**	-0.993**	-0.992**	-0.990**	-0.981**	-0.978**	-0.981**
ORP14	-0.985**	-0.995**	-0.993**	-1.000**	-0.993**	-0.989**	-0.983**	-0.975**	-0.976**
ORP21	-0.983**	-0.992**	-0.992**	-0.994**	-1.000**	-0.997**	-0.994**	-0.983**	-0.985**
ORP31	-0.974**	-0.989**	-0.990**	-0.990**	-0.997**	-1.000**	-0.995**	-0.985**	-0.985**
ORP45	-0.972**	-0.980**	-0.982**	-0.984**	-0.995**	-0.996**	-1.000**	-0.985**	-0.984**
ORP60	-0.969**	-0.979**	-0.979**	-0.976**	-0.984**	-0.985**	-0.985**	-1.000**	-0.991**
ORP91	-0.963**	-0.979**	-0.982**	-0.977**	-0.986**	-0.986**	-0.984**	-0.991**	-1.000**

Şekil 1 PC 1 ile PC 2 arasındaki dağılım grafiği toprakların genel özelliklerine ve inkübasyon sırasındaki DTPA ile ekstrakte edilebilen Fe konsantrasyonları arasındaki ilişkiler çerçevesindeki dağılımını göstermektedir. PC 1'in "0" olduğu noktadan geçen doğrunun solunda kalan topraklar PC 1 ile negatif yüklemeye sahip toprak özellikleriyle, sağında kalan topraklar ise pozitif yüklemeye sahip toprak özellikleri nedeniyle farklılık göstermektedir. Bu bağlamda 4 ve 3 nolu toprakların diğer topraklardan farklı olduğu gözlenmektedir. 6, 8, 11, 12 ve 14 nolu topraklar da kısmen benzerlik göstermektedir ki bu davranışta pH, kireç, yarıyışlı Ca, Mg önemli bir rol oynamaktadır (Çizelge 6). 10 nolu toprak ise PC 1 ile negatif yüklemeye sahip parametrelerle PC 2 ile pozitif yüklemeye sahip inkübasyon sürecindeki DTPA-Fe konsantrasyonundaki değişimlerden dolayı farklılık göstermektedir. 1 ve 2 nolu topraklar ise PC 1 ve PC 2 ile

pozitif yüklemeye sahip parametrelerin etkisi nedeniyle ayrılmıştır.

Şekil 2'de tanımlayıcı toprak özellikleri (PC 1) ve inkübasyon sırasındaki DTPA-Mn konsantrasyonundaki değişimler (PC3) çerçevesinde topraklardaki farklılaşmaları göstermektedir. 6, 8 ve 14 nolu topraklar genel itibarıyla PC 1 ile negatif yüklemeye sahip toprak özellikleri ile; 1 ve 3 nolu topraklar büyük ölçüde PC 1 ile pozitif yüklemeye sahip toprak özellikleri nedeniyle farklılık göstermektedir. 9 ve 5 nolu topraklar PC 3 ile pozitif, 13 nolu toprak ise PC 3 ile negatif ilişkili toprak özellikleriyle ilişkili olduğundan farklılık göstermektedir. 10, 11 ve 12 nolu topraklar PC 1 ve PC 3 ile negatif yüklemeye değerleri nedeniyle diğer topraklardan farklılık göstermektedir. 15 ve 7 nolu topraklar birbirine PC 1 ile negatif, PC 3 ile pozitif yüklemeye sahip

Çizelge 4. İnkübasyondaki ORP ile diğer toprak özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları.**Table 4.** Correlation coefficients between ORP values at incubations and other soil properties.

Parametre	ORPC	ORP3	ORP7	ORP14	ORP21	ORP31	ORP45	ORP60	ORP91
Kum	0.141	0.233	0.221	0.219	0.237	0.282	0.262	0.209	0.274
Silt	0.261	0.327	0.362	0.311	0.349	0.341	0.317	0.351	0.404
Kil	-0.119	-0.044	-0.039	-0.020	-0.079	-0.087	-0.108	-0.051	-0.032
EC	0.142	0.074	0.029	0.093	0.095	0.050	0.111	0.083	0.058
Kireç	-0.655**	-0.590*	-0.590*	-0.607*	-0.640*	-0.624*	-0.676**	-0.621*	-0.633*
OM	0.368	0.267	0.255	0.276	0.263	0.218	0.221	0.222	0.168
N	0.322	0.221	0.207	0.232	0.225	0.178	0.186	0.183	0.128
P	0.111	0.051	0.026	0.057	0.008	-0.023	-0.060	-0.071	-0.084
K	-0.372	-0.468	-0.462	-0.440	-0.453	-0.478	-0.473	-0.464	-0.525*
Ca	-0.802**	-0.734**	-0.739**	-0.744**	-0.736**	-0.728**	-0.738**	-0.709**	-0.688**
Mg	-0.807**	-0.790**	-0.790**	-0.805**	-0.832**	-0.825**	-0.855**	-0.819**	-0.854**
Cu	-0.059	-0.078	-0.102	-0.067	-0.100	-0.111	-0.119	-0.137	-0.120
Zn	0.167	0.071	0.040	0.077	0.042	0.002	-0.001	-0.037	-0.065
DTPA-Fe	0.803**	0.728**	0.714**	0.748**	0.726**	0.692**	0.708**	0.691**	0.666**
Fe3	0.689**	0.652**	0.652**	0.654**	0.635*	0.613*	0.594*	0.591*	0.578*
Fe7	0.516*	0.503	0.493	0.485	0.470	0.441	0.413	0.429	0.420
Fe14	0.361	0.349	0.349	0.342	0.316	0.279	0.254	0.272	0.274
Fe21	0.349	0.357	0.350	0.348	0.317	0.283	0.252	0.271	0.282
Fe31	0.368	0.347	0.344	0.348	0.310	0.267	0.236	0.249	0.260
Fe45	0.321	0.312	0.305	0.300	0.267	0.225	0.197	0.221	0.228
Fe60	0.247	0.245	0.240	0.231	0.202	0.163	0.134	0.151	0.160
Fe91	0.264	0.255	0.254	0.241	0.208	0.171	0.141	0.156	0.163
DTPA-Mn	0.626*	0.589*	0.548*	0.611*	0.582*	0.566*	0.588*	0.543*	0.542*
Mn3	0.160	0.139	0.145	0.178	0.160	0.142	0.140	0.098	0.148
Mn7	0.160	0.141	0.143	0.167	0.149	0.124	0.124	0.099	0.151
Mn14	0.098	0.060	0.062	0.099	0.077	0.041	0.056	0.026	0.083
Mn21	0.156	0.170	0.168	0.199	0.178	0.149	0.150	0.125	0.205
Mn31	0.165	0.119	0.109	0.146	0.118	0.070	0.076	0.064	0.116
Mn45	0.183	0.160	0.144	0.176	0.149	0.108	0.110	0.097	0.145
Mn60	0.061	0.039	0.035	0.065	0.040	-0.005	0.004	-0.015	0.040
Mn91	0.149	0.158	0.158	0.175	0.148	0.114	0.108	0.095	0.155

Çizelge 5. Temel bileşenlerin açıkladığı varyanslar.**Table 5.** The variances explained by principal components.

Temel Bileşenler	Başlangıç Özdeğerleri			Döndürülmüş Kareli Yüklerin Toplamı		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	25.563	49.160	49.160	23.215	44.644	44.644
2	11.917	22.917	72.077	9.066	17.434	62.078
3	4.492	8.638	80.714	7.634	14.682	76.759
4	3.986	7.665	88.379	4.003	7.698	84.457
5	1.988	3.822	92.201	3.010	5.788	90.246
6	1.183	2.275	94.477	2.200	4.231	94.477
7	0.963	1.852	96.328			

parametreler çerçevesinde benzerlik gösterirken aynı özellikler bu toprakların diğerlerinden ayrılmasına neden olmuştur. 4 nolu toprak ise diğer topraklardan kireç içeriği (PC 3 ile negatif yüklemeye sahip) ve PC 1 ile pozitif yüklemeye sahip ORP, DTPA-Mn, Fe gibi özelliklerin bir fonksiyonu olarak ayrılmıştır.

Şekil 3'de toprakların genel özellikleri (PC 1) ve yarıyışlı Mn, silt ve kil içeriğiyle ilişkili olan PC 5 in dağılım diyagramı verilmiştir. 2, 3, 4 nolu topraklar PC 1 ile yüksek pozitif yüklemeye sahip olan ORP, DTPA-Mn ve DTPA-Fe, Fe3 (3. gündeki yarıyışlı Fe) parametrelerinin bir fonksiyonu olarak farklılık göstermektedir. 8, 10, 14 ve 15 nolu topraklar

ise büyük ölçüde PC 1 ile negatif yüklemeye sahip pH'nın etkisiyle diğer topraklardan ayrılmaktadır. 6 nolu toprak PC 1 ile negatif yüklemeye sahip başta pH (-0.964) olmak üzere yarıyışlı Ca, Mg miktarları ile kireç içeriği PC 5 ile pozitif yüklemeye sahip DTPA-Mn'nin etkisiyle diğer topraklardan farklıdır. 9 nolu toprağın farklı olmasının nedeni büyük ölçüde PC 5 ile pozitif yüklemeye sahip DTPA-Mn konsantrasyonu ile ilişkilidir. 7, 11 ve 12 nolu topraklar ise PC 1 ve PC 5 ile negatif yüklemeye değerlerine sahip pH, yarıyışlı Ca ve Mg, kireç ve tekstürün ince fraksiyonlarının bir fonksiyonu olarak farklılık göstermektedir.

Çizelge 6. Temel bileşenlerle toprak özellikleri arasındaki yüklenme matrisi.**Table 6.** Loading matrices between the extracted principal components and soil properties.

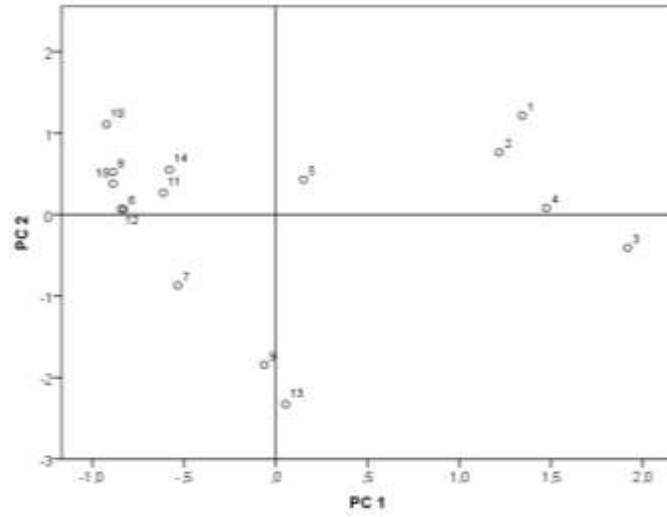
Parametreler	Bileşenler					
	1	2	3	4	5	6
Kum	0.252	-0.245	0.075	-0.855	0.147	0.013
Silt	0.310	0.173	-0.078	-0.267	-0.744	-0.088
Kil	-0.108	0.160	0.131	-0.085	-0.762	0.120
EC	0.139	-0.404	0.322	0.586	0.191	-0.046
pH	-0.964	-0.148	-0.133	-0.006	-0.038	-0.070
Kireç	-0.663	0.163	-0.487	-0.181	-0.259	-0.060
OM	0.208	0.534	0.022	0.742	0.235	0.095
Toplam N	0.169	0.510	0.026	0.775	0.185	0.073
Yarayışlı P	-0.066	0.606	0.225	0.336	0.404	0.430
Yarayışlı K	-0.483	0.183	-0.012	0.701	0.289	0.049
Yarayışlı Ca	-0.749	-0.128	-0.117	-0.202	-0.329	-0.305
Yarayışlı Mg	-0.844	0.173	-0.380	0.022	-0.125	0.172
DTPA-Cu	-0.092	0.028	0.274	0.030	-0.121	0.940
DTPA-Zn	0.008	0.419	0.160	0.538	0.380	0.582
DTPA-Fe	0.706	0.306	0.266	0.476	0.157	0.251
Fe3	0.555	0.686	0.257	0.172	0.297	-0.104
Fe7	0.370	0.823	0.230	0.115	0.182	-0.245
Fe14	0.208	0.890	0.337	0.155	-0.101	-0.013
Fe21	0.208	0.885	0.341	0.051	-0.175	0.023
Fe31	0.201	0.878	0.354	0.191	-0.075	0.082
Fe45	0.161	0.888	0.336	0.160	-0.130	0.058
Fe60	0.092	0.903	0.330	0.103	-0.144	0.050
Fe91	0.106	0.904	0.287	0.086	-0.127	0.129
DTPA-Mn	0.594	-0.100	0.479	0.148	0.480	0.095
Mn3	0.084	0.284	0.794	-0.048	0.376	-0.234
Mn7	0.074	0.332	0.821	-0.039	0.310	-0.261
Mn14	0.015	0.273	0.933	0.102	0.058	0.102
Mn21	0.109	0.302	0.883	-0.166	-0.212	0.179
Mn31	0.054	0.355	0.838	0.230	-0.022	0.255
Mn45	0.074	0.480	0.821	0.095	-0.036	0.220
Mn60	-0.038	0.434	0.872	0.102	-0.106	0.123
Mn91	0.064	0.521	0.771	-0.092	-0.227	0.185
pHC	-0.978	-0.161	-0.026	-0.084	-0.061	-0.032
pH3	-0.982	-0.168	-0.009	0.034	0.000	-0.010
pH7	-0.980	-0.171	-0.003	0.043	0.024	0.015
pH14	-0.982	-0.145	-0.050	0.009	0.006	-0.010
pH21	-0.990	-0.114	-0.037	0.009	0.010	0.025
pH31	-0.990	-0.093	-0.005	0.063	-0.007	0.026
pH45	-0.994	-0.037	-0.034	0.018	-0.002	0.041
pH60	-0.987	-0.063	0.004	-0.001	0.059	0.064
pH91	-0.984	-0.057	-0.071	0.069	0.086	0.064
ORPC	0.978	0.164	0.026	0.084	0.059	0.029
ORP3	0.982	0.170	0.009	-0.032	0.000	0.009
ORP7	0.980	0.173	0.003	-0.041	-0.022	-0.017
ORP14	0.982	0.146	0.049	-0.007	-0.005	0.008
ORP21	0.989	0.116	0.036	-0.009	-0.009	-0.027
ORP31	0.989	0.096	0.003	-0.060	0.008	-0.028
ORP45	0.994	0.041	0.034	-0.016	0.004	-0.042
ORP60	0.987	0.068	-0.002	0.003	-0.057	-0.067
ORP91	0.984	0.060	0.069	-0.066	-0.084	-0.066

Ekstraksiyon metodu: Temel bileşen analizi, Rotasyon metodu: Kaiser normalizasyonu ile varimax metodu, Rotasyon 9 döngüde tamamlanmıştır.

4. Sonuç

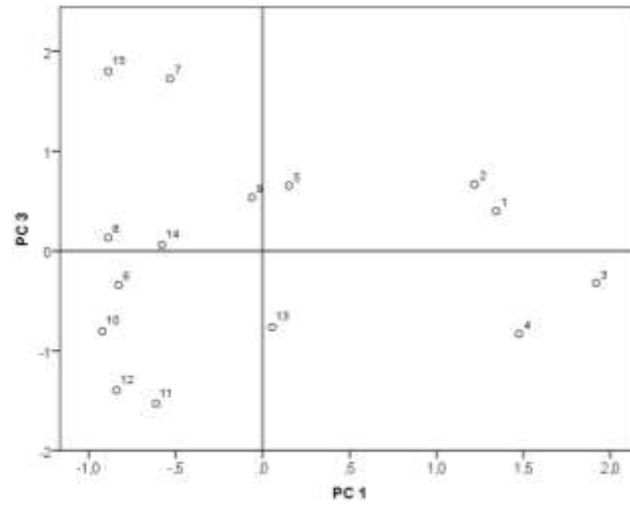
İnkübasyon süresince belirli zamanlarda ölçülen parametreler arasında yapılan korelasyon analizi pH, ORP ve DTPA-Fe, -Mn özellikleri arasındaki yüksek korelasyon katsayıları indirgen koşullarda ilgili elementlerin konsantrasyonunun değişimini anlamada önemli olabileceğini göstermiştir. İnkübasyona alınan toprakların su altında bırakılmasıyla bitkiye yarayışlı Fe, Mn içeriklerinin önemli ölçüde değişime uğradığı ve özellikle ilk 3 haftalık süreçte arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca mikro element noksanlığı görülen toprakların su altında bırakılmasıyla geçici bir süre de olsa Fe ve Mn noksanlıklarının giderilebileceğini ortaya koyması açısından oldukça önemlidir.

Örnek alınmadan önce toprakların geçirmiş olduğu redoks potansiyelindeki değişimlerin analiz sonuçlarını direk olarak etkilediği ortaya konulmuştur. Tipik olarak söz konusu belirleyici analizler açısından toprakların örnekleme zamanları konusunda kış ayları sonunda yüksek, yaz ayları sonunda ise düşük sonuçların ortaya çıkması beklenen bir durum olarak gözlemlenmiştir. Bu da analiz sonuçlarının gübreleme programlarında kullanılabilirliği hususunda handikap olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle redoks potansiyeli ölçümlerinin rutin analiz setine ilave edilmesi bu handikapı aşmada yardımcı olabileceği değerlendirilmiştir.



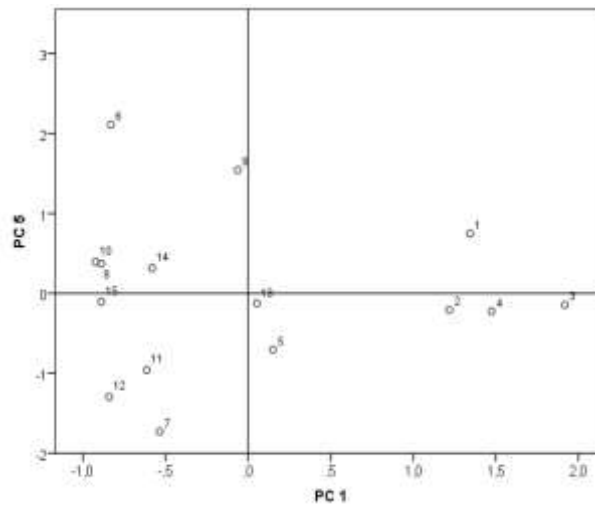
Şekil 1. PC 1 ile PC 2 arasındaki dağılım grafiği.

Figure 2. Scatter diagram for PC 1 vs PC 2.



Şekil 2. PC 1 ile PC 3 arasındaki dağılım grafiği.

Figure 2. Scatter diagram for PC 1 vs PC 3.



Şekil 3. PC 1 ile PC 5 arasındaki dağılım grafiği.

Figure 3. Scatter diagram for PC 1 vs PC 5.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi tarafından 4887-YL1-17 nolu yüksek lisans projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Aydın A, Sezen Y (1995) Değişik Azotlu Gübrelerin Suya Doygun Koşullarda Urfa Yöresi Toprak Örneklerinin Fe, Mn, Zn ve Cu Elverişliliğine Etkisi. İlhan Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu, II, B146-155, Ankara.
- Barik K, Kant C, Aydın A (2005) Daphan ve Pasinler Ovası toprak örneklerine suya doymun koşullarda farklı azotlu gübre uygulamalarının toprakların Fe, Mn, Zn ve Cu elverişliliğine etkisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 37(1): 9-15.
- Berkman ET, Reise SP (2012) A Conceptual Guide to Statistics Using SPSS. SAGE Publications, Los Angeles, USA.
- Bremner JM (1996) Nitrogen-total. In: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3 Chemical Methods. ASA/SSSA, Madison, WI, USA, pp. 1085-1022.
- Condon AG, Richards RA (1992) Exploiting genetic variation in transpiration efficiency in wheat: An agronomic view. Ehleringer JR, Hall AE, Farquhar GD (Eds), Stable Isotopes and Plant Carbon-Water Relations. Academic Press, San Diego, California, USA, pp. 435- 450.
- Datta SK (1981) Principles and Practices of Rice Production. Wiley Interscience, New York, U.S.A.
- Dellwig O, Leipe T, Marz C, Glockzin M, Pollehne F, Schnetger B, Yakushev EV, Bottcher ME, Brumsack HJ (2010) A new particulate Mn-Fe-P-shuttle at the redox cline of anoxic basins. Geochimica Et Cosmochimica Acta 74: 7100-7115.
- Fageria NK, Moraes OP, Vasconcelos MJ (2011) Yield and yield components of upland rice as influenced by nitrogen sources. Journal of Plant Nutrition 34: 361-370.
- Gee GW, Bauder JW (1986) Particle-size analysis. In: Klute A. (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. ASA/SSSA, Madison, WI, USA. pp. 383-411.
- Ghosh SN, Kar AK, Dhua SP (1976) Effect of sampling variation on Eh, pH and available P, Fe and Mn in submerged rice soil. Indian Society of Soil Science 24(1): 86-87.
- Kuo S (1996) Phosphorus. In: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part Part 3 Chemical Methods. ASA/SSSA, Madison, WI, USA, pp. 869-920.
- Landau S, Everitt BS (2004) A Handbook of Statistical Analyses Using SPSS. Chapman &Hall/CRC Press LLC, London, UK.
- Latrille C, Elsass F, van Oort F, Denaix L (2001) Physical speciation of trace metals in Fe-Mn concretions from a rendzic lithosol developed on Sinemurian limestones (France). Geoderma 100: 127-146.
- Lindsay WL, Norvel WA (1978) Development of DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cu. Soil Science Society of America Journal 42(3): 421-28.
- Lindsay WL (1979) Chemical Equilibria in Soils. JohnWiley & Sons, New York, USA.
- Lindsay WL, Sadiq M (1983) Use of pe + pH to predict and interpret metal solubility relationships in soils. Science of Total Environment 28: 169-178.
- Lindsay WL (2001) Chemical Equilibria in Soils. The Blackburn Press, USA.
- Liu F, Colombo C, Adamo P, He JZ, Violante A (2002) Trace elements in manganese-iron nodules from a Chinese Alfisol. Soil Science Society of America Journal 66: 661-670.
- Lowley DR (1991) Dissimilarity in Fe(III) and Mn(IV) reduction. Microbiological Reviews 55: 259-289.
- Nasnodkar MR, Nayak GN (2017) Chemical speciation and bio-availability of selected trace metals in the mudflat core sediments of the tropical estuaries, India. Environmental Earth Sciences, 76: 727.
- Nelson DW, Sommers LR (1996) Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3 Chemical Methods. ASA/SSSA, Madison, WI, USA, pp. 961-1010.
- Ören S (2018) Toprakların redoks potansiyelindeki değişimlerin Fe ve Mn yararlılığına etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Patrick JWH, Reddy CN (1978) Chemical Changes in Rice Soils. In: IRRI, Ed., Soils and Rice, The International Rice Research Institute, Manila, pp. 361-379.
- Patrick WH, Henderson RE (1981) Reduction and re-oxidation cycles of manganese and iron in flooded soil and in water solution. Soil Science Society of America Journal 45: 855-859.
- Patrick WH, Gambrell RP, Faulkner SP (1996) Redox and measurement of soils In Sparks DL et al. (Eds). Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, Soil Society of America Book series No. 5, Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 1255-1273.
- Ponnamperuma FN (1972) The chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy 24: 29-96.
- Ponnamperuma FN (1978) Electrochemical changes in submerged soils and the growth of rice. Soils and Rice. International Rice Research Institute, Los Bafios, Philippines, s. 421-441.
- Rao MB, Venkateswaly J (1974) The Physico-chemical changes of the newly flooded soils. Indian Society of Soil Science 22(1): 13-18.
- Shaheen SM, Rinklebe J (2014) Geochemical fractions of chromium, copper, and zinc and their vertical distribution in floodplain soil profiles along the Central Elbe River, Germany. Geoderma 228: 142-159.
- Sogaard EG, Madsen HT (2013) Groundwater chemistry and treatment: Application to Danish waterworks. In: Elshorbagy W. (Ed.), Water Treatment. InTech, pp. 223-246.
- Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Sumner ME (1996) Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical methods. Soil Science Society of America Inc., USA.
- Suda A, Makino T (2016) Functional effects of manganese and iron oxides on the dynamics of trace elements in soils with a special focus on arsenic and cadmium: A review. Geoderma 270: 68-75.
- Sumner ME, Miller WP (1996) Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3 Chemical Methods. ASA/SSSA, Madison, WI, USA. pp. 1201-1230.
- Szymanski W, Skiba M (2013) Distribution, morphology, and chemical composition of Fe-Mn nodules in Albeluvisols of the Carpathian foothills, Poland. Pedosphere 23: 445-454.
- Takai Y, Koyama T, Kamure T (1957) Microbial metabolism of paddy soils. Journal of Agricultural Chemical Society 31: 211-220.
- Usta S (1995) Toprak Kimyası. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın no: 1387, Ankara.