



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

www.toprak.org.tr



Kireçli ana materyal üzerinde oluşmuş bir toprakta iyot adsorpsiyonu ve desorpsiyonu

Muhittin Onur Akça¹, Sadık Usta^{1,*}, Mehmet Keçeci²

¹Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara

²Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara

Özet

İnsan sağlığı üzerinde önemli etkisi bulunan çoğunlukla da topraklarda yetersizliğinde guatr hastalığına yol açan iyodun topraktaki davranışlarının araştırıldığı bu çalışmada, kireç ana materyalli bir toprakta iyodun adsorpsiyonu ve desorpsiyonuna toprak bileşenlerinden; organik madde, kireç, serbest Fe/Al oksitlerin etkileri araştırılmıştır. Toprak bileşenleri tek tek ve birlikte giderilmiş topraklarda Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermeleri uygulanmıştır. Adsorpsiyon sıralaması ve maksimum adsorpsiyon değerleri; Fe/Al giderilmiş toprak (29,3 mg kg⁻¹) > İşlem görmemiş toprak (19,3 mg kg⁻¹) > hepsi giderilmiş toprak (15,4 mg kg⁻¹) > organik maddesi giderilmiş toprak (10,5 mg kg⁻¹) > kireci giderilmiş toprak (4,5 mg kg⁻¹) şeklinde sıralanmıştır. Toprak bileşenlerinin etkisi Duncan'a göre önemli bulunmuştur. Desorpsiyon oranı sıralaması ise; kireci giderilmiş toprak > işlem görmemiş toprak > hepsi giderilmiş toprak > Fe/Al giderilmiş toprak > organik maddesi giderilmiş toprak şeklinde sıralanmıştır. Araştırma sonuçlarından adsorpsiyonda kirecin, desorpsiyonda da organik maddenin daha etkin olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İyot, adsorpsiyon, desorpsiyon, langmuir eşitliği, freundlich eşitliği, kireç, organik madde, demir-alüminyum oksitler.

Iodine adsorption and desorption in a soil formed on lime parent material

Abstract

This study focuses on the behavior of iodine in the soil, which has an important effect on human health and which leads to goiter if deficient in the soil. Impacts of organic matter, lime, and free Fe/Al oxides on adsorption and desorption of iodine in the soil containing lime as the main substance are examined in this study. In order to study iodine adsorption and desorption in soil, we used Langmuir and Freundlich models in a calcareous soil before and after the removal of chemically active soil components, organic matter, lime and free Fe/Al oxides. The results indicated following order of adsorption and respective maximum adsorption values: soil deprived of Fe/Al (29,3 mg kg⁻¹) > unprocessed soil (19,3 mg kg⁻¹) > soil deprived of all (15,4 mg kg⁻¹) > soil deprived of organic substance (10,5 mg kg⁻¹) > decalcified soil (4,5 mg kg⁻¹). The impact of soil components is found significant according to Duncan Test. With respect to desorption rates, the results were as follows: decalcified soil > unprocessed soil > soil deprived of all > soil deprived of Fe/Al > soil deprived of organic matter. According to these results, lime proved to have a greater effect on adsorption, with organic matter creating the greatest effect on desorption.

Keywords: Iodine, adsorption, desorption, langmuir equation, freundlich equation, lime, organic matter, iron- aluminium oxides.

© 2014 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Sürdürülebilir tarımsal üretimde en önemli faktör, toprakların bozulmasına neden olmadan toprakların üretkenliğini artırarak, verimlilik parametrelerinin kalitesinin devamlılığının sağlanmasıdır. Bu da ancak tarımsal üretim yapılan alanlarda toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin değişimine neden olan etkin süreçlerin belirlenmesi ve gerekli tedbirlerin alınması ile gerçekleştirilebilmektedir. Bitkiler tarafından topraklardan sömürülen bitki besin maddelerinin yeniden toprağa kazandırılması günümüzde tarımsal sürdürülebilirliğin en yaygın uygulamasıdır. İyot gibi insan ve hayvanlar için zorunlu temel besin

* Sorumlu yazar:

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 06110 Dışkapı Ankara

Tel.: 0(312)5961185

e-ISSN: 2146-8141

E-posta: usta@agri.ankara.edu.tr

elementlerinin bitkiler için eksikliği günümüz için bir sorun oluşturmaya bile, bitkisel ve/veya hayvansal ürünlerde yeterince bulunması sağlanmalıdır.

İyot, insan ve hayvanların normal büyüme ve gelişmesi için gerekli olan önemli bir besin elementidir. İnsan vücudunda çok az miktarda bulunan iyot, besinler ve su ile vücuda alınmaktadır. Dünya genelinde 1,6 milyar, Avrupa'da ise yaklaşık 140 milyon insan iyot yetersizliği ile ilgili hastalıklara yakalanma riski altındadır. Zira bu insanlar iyot kaynaklarınınca fakir çevrelerde yaşamaktadırlar. Bu rakam dünya nüfusunun yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır. İyotlu tuz kullanarak sorunun çözümü yönünde yapılan çalışmalar her zaman ve her koşulda yeterli olmayabilmektedir. Sorunun, direkt olarak topraktan bitkiler vasıtasıyla sağlanabilmesi iyot eksikliğinin olumsuz etkileri oldukça azaltılabilecektir. Bitkilerin ve dolayısıyla da diğer canlıların iyot gereksinimlerinin karşılanabilmesi için toprakların iyot depolama kabiliyetleri ortaya konmalıdır. Temel olan; besin zincirinin ilk ayağını oluşturan toprağın iyot bağlayabilme ve bitkilerin ihtiyacını karşılayabilme yeteneğinin belirlenmesi gerekmektedir. Gıda zincirindeki eksikliğinin sonradan iyot tuzları şeklinde karşılanması yolunun birçok sıkıntılarının olmasından dolayı topraklarda iyodun yeterli miktarlarda bulunması esas hedef olmalıdır.

İyot doğada en az bulunan elementlerdendir. Yer kabuğunu oluşturan kayalarındaki miktarları hakkında bir hayli veri mevcuttur. Miktarı çok geniş sınırlar arasında ($<0,1-150 \text{ mg kg}^{-1}$) bulunabilir. Ortalama değeri $0,25-0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ kadardır (Christiansen ve Carlsen, 1989). İyot geçmişten günümüze eksikliği en fazla görülen besin elementidir (Ngo vd. 1997). Asya ve Afrika'da (I, Se) yetersizliği belirlenmiştir (Lyons ve ark. 2004). Denizden uzaklıkla iyot arasında negatif korelasyon bulunsa da toprakların iyot depolama kapasitesinin bu durumu önemli oranda etkilediğini, genellikle yağmurdaki iyodun en yaygın formunun % 50'sinden fazlasını oluşturanın iyodür olduğunu ve iyodat iyonunun ikinci önemli bileşenin olduğunu, bunun dışında az da olsa organik ve inorganik iyot formları bulunabilmektedir (Fuge, 2005). Topraktaki iyodun ana kaynağı atmosferdir, ayrıca toprağa karışmış ölmüş hayvanlar ve bitkilerdir. Ana materyalin bozulmasıyla da bazen önemli katkılar olur. Bunlara ilave olarak gübreler ve bazı biyositler verilebilir. Toprakların iyot kapsamı toprağa giren ve çıkan iyot dengesine bağlıdır (Whitehead, 1984). İyot kendisi bitkiler için temel besin elementi olmasa da toprakların iyot kapsamı ile bitki ve bitkisel ürünler arasında pozitif ilişkiler bulunmuştur. Toprak ve su kaynaklarındaki yetersizliği bitki ve hayvansal ürünlere de yansımakta buna bağlı olarak da insanlarda guatr hastalığına yol açabilmektedir (Thompson, 2011). Topraklardan gaz şeklinde iyodun atmosfere dönüşü konusu iyot çevriminde üzerinde durulan önemli bir konudur. Kayıplar konusunda çok net bilgiler henüz mevcut değildir. İyodun gaz halinde topraktan kaybını görmek adına yapılan inkübasyon denemesinde toprağa KI uygulanmış 30 gün sonunda asit kumlu podzol topraklarda gaz halinde kayıp % 57 bulunmuştur. Kumlu topraklarda serbest kalma oranı % 100'e kadar yükselmiştir. Gaz kaybını en çok organik madde önlemiştir. Kil ve seskioksitlerin de etkisi olumlu bulunmuştur (Fuge, 2005). Toprak çeşidine göre iyodun düzeyi değişmektedir. Toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyot üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. pH ve redoks potansiyeli burada örnek verilebilir. Serin yağışlı iklimlerde oluşan podzol topraklarda iyot organik madde ve seskioksitlerle yüzeyden B horizonuna taşınabilmektedir. Organik katmana sahip peat topraklarda da iyot düzeyi mineral katmanlara göre çok daha fazladır (Johnson ve ark. 2003).

İyotun toprakta adsorblanabilirliği birçok toprak koşuluna bağlıdır. Bunlar organik madde durumu, toprak bünyesi, iyodun kimyasal formu, oksidatif koşullar ve toprak asitliğidir (Eh/pH). Ormanlık ve dağlık bölgeler, yılanmanın yoğun olduğu asit podzolik topraklarda iyot eksikliği görülebilmektedir (Johnson ve ark. 2003). Da ve ark. (2004), Çin'de farklı topraklarda Langmuir ve Freundlich eşitlikleri kullanılarak iyodat adsorpsiyon izotermi üzerinde çalışmışlardır. Toprakların serbest demir oksit içeriği ile olumlu, toprak organik maddesi ile olumsuz önemli ilişki bulmuşlardır. Katyon değişim kapasitesi (KDK) ve toprak pH'sı ile ilişki bulunmamıştır. İyodat adsorpsiyon kapasitesi $9-34 \text{ mg kg}^{-1}$ bulunmuştur. Toprak pH'sı ile bitkilerin iyot kapsamı arasında negatif ilişki bulunmuştur. Kireçleme iyot alımını etkilememiştir (Mc Grath ve Fleming 1988). Whitehead (1974a), pH'sı 6'dan aşağıda olan topraklarda iyot seskioksitlerin yüzeylerinde adsorbe edilmiş olarak bulunabildiğini belirtmiştir. pH 6,9'un altında ise iyodun kil ve organik maddece adsorbe edildiğini, daha yüksek pH'larda OH⁻ gruplarıyla yer değiştirebildiğini bildirmiştir. İyodun toprakta organik maddeye bağlanmış halde bulunduğu dair birçok araştırma bulunmaktadır. Organik maddeye bağlanan iyot formunun iyodür olduğu belirtilmektedir. Johanson (2000), toprak profilinde iyodun en yüksek değerini üst yüzey katmanında gösterdiğini ve zaten bu katmanda organik maddenin de en yüksek düzeyde bulunduğunu bildirmiştir. Peat topraklar en yüksek düzeyde iyot içerirler. İyodun toprak organik maddesinin trosin, tiyol ve polifenollerine bağlı olarak buldukları düşünülmektedir. Sözüdoğru ve ark. (1997), Kastamonu İli toprak, su, bitki kaynaklarının iyot durumları üzerine yaptıkları çalışmada toprakların

iyot kapsamının 57-219 $\mu\text{g kg}^{-1}$ arasında değiştiğini, aynı araştırmacıların su kaynaklarının iyot durumları üzerine yaptıkları çalışmada ise su kaynaklarının hepsinde iyot miktarları insan sağlığı için olması gereken değerlerin altında ($0,8-8,3 \mu\text{g L}^{-1}$) bulunduğunu belirtmişlerdir. [Mc Nally \(2011\)](#), yaptığı bir çalışmada, toprakların insanlar tarafından işlenmesinin iyot kapsamını azalttığını belirtmiştir. İyot miktarının toprakların alüminyum ve demir kapsamı ile ilişkili olduğunu belirtmiş, kil mineralleri ve demir oksitlerin iyodun tutulmasında çok etkili olduğunu bildirmiştir.

[Fuge \(2005\)](#), çoğu topraklar için, suda çözünen iyodun, toplamın sadece küçük bir yüzdesine tekabül edeceği, ama kurak bölgelerde alkalın toprakların daha fazla miktarda suda çözünen iyot içermesinin muhtemel olduğunu belirtmektedir. [Hosseini ve Usta \(2000\)](#) yapmış oldukları araştırmada, Kastamonu-Azdavay yöresi topraklarının suyla ekstrakte olabilen iyot kapsamı 15 ila 145 $\mu\text{g kg}^{-1}$ arasında olup, ortalamasının 36.5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ olduğunu ve bu değerlerin dünya ortalamasının altında olduğu gibi, sağlık yönünden de yeterlilik düzeyinin çok altında olduğunu bildirmektedirler. [Whitehead \(1978\)](#), toprak oluşturucu koşulların yoğun olduğu (yağışlı) iklim koşullarında oluşan kil ve organik madde iyodu çok güçlü tuttuklarından (fikse ettiklerinden) iyodun biyo yararı üzerinde oldukça etkili olup potansiyel jeokimyasal guatr hastalığı nedeni olabileceğini ifade etmiştir.

İngiltere’de yapılan bir çalışmada seskioksitlerin iyodür üzerindeki adsorpsiyon yetenekleri üzerinde, pH değerinin belirgin bir etkisinin olduğu belirtilmiştir. Adsorpsiyon yeteneği, artan pH ile azalmaktadır ([Whitehead 1973a,b; 1974a,b](#)). [Whitehead \(1973a,b\)](#)’a göre, toprak bileşeni formundaki organik madde, iyot tutulumu konusunda en önemli etkiye sahiptir. Dolayısıyla, farklı topraklarda iyot içeriği ile organik madde içeriği arasında makul bir korelasyon olduğunu belirtmiştir.

Bu çalışma ile adsorpsiyon ve desorpsiyona etkili olabilecek olan toprak bileşenlerinden kireç, organik madde ve demir-alüminyum oksitlerin, toprakta, iyot adsorpsiyon ve desorpsiyonuna etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır. Böylelikle Türkiye’de yaygın olarak bulunan kireçtaşı ana materyali üzerinde oluşmuş bir toprakta iyot adsorpsiyon ve desorpsiyonu Freundlich ve Langmuir izotermi ile ortaya çıkarmak amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırmada kullanılan toprak örneği Polatlı ilçesi sınırları içerisinde bulunan, Ankara’ya 130 km, ilçeye 54 km uzaklıktaki Polatlı Tarım İşletmesi arazisinden alınmıştır. İşletme İç Anadolu Bölgesinin Yukarı Sakarya kesiminde Polatlı İlçesi sınırları içerisinde ve ilçenin 54 km Güneyinde 39 derece kuzey enlemi ile 32 derece doğu boylamları arasında yer almaktadır. Araştırmada kullanılan toprak örneği [Jackson \(1958\)](#) tarafından belirtildiği gibi 0-20 cm derinlikten alınıp güneş görmeyen bir yerde kurutulmuştur. İyice karışan toprak örnekleri 2 mm’lik elekten elenmiştir. Toprak örneğinde nem, [U.S. Salinity Laboratory Staff \(1954\)](#)’e göre, toprak tekstürü [Gee ve Or \(2002\)](#) tarafından bildirildiği şekilde pipet yöntemine göre, pH ve EC [Richards \(1954\)](#) tarafından bildirildiği şekilde saturasyon çamuru ve saturasyon ekstraktında, organik madde Walkley-Black yöntemine göre ([Jackson 1962](#)), kireç Scheibler kalsimetresi ile Jackson (1962)’a göre, katyon değişim kapasitesi [Polemio ve Rhoades \(1977\)](#) tarafından bildirildiği gibi sodyum asetat metoduna göre belirlenmiştir.

Çalışmada, toprağın temel bileşenlerinden olan organik madde, kireç ve demir-alüminyum oksitlerin iyot adsorpsiyonu ve desorpsiyonuna etkilerinin kireçli ana materyal üzerinde oluşmuş bir toprakta araştırılması için her birinin ayrı ayrı uzaklaştırıldığı ve hepsinin birlikte giderildiği ortamlarda belirli iyot çözeltileri ile dengeye getirme, denge durumunu Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri ile değerlendirme adımları uygulanmıştır. Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermine göre de iyot adsorpsiyon maksimumları bulunmuştur. Topraklarda kireç uzaklaştırma işlemi [Kunze ve Dixon \(1986\)](#)’a göre 1 N Sodyum asetat ile organik madde uzaklaştırma işlemi [Hartge \(1971\)](#)’a göre %30’luk H_2O_2 ile, demir-alüminyum oksitleri uzaklaştırma işlemi [Mehra ve Jackson \(1960\)](#)’a göre 0,5 M NaHCO_3 ve 0,3 M $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ile Na-dithionite ile gerçekleştirilmiştir.

Adsorpsiyon-desorpsiyon işlemleri

Toprak numunelerinde giderme işlemleri yapıldıktan sonra örneklerin pH’ları 0,1 N NaOH ve 0,1 N CH_3COOH ile orijinal toprak pH’sına ayarlanmıştır (pH 7,8-8,0). 0,5 mm’lik elekten geçirilmiş 1 gram toprak örneği üzerine 20 ml içinde 0, 2, 4, 6, 8 mg L^{-1} iyodür bulunan 0,01 M’lık CaCl_2 çözeltisi ilave edilmiştir ve süspansiyonlar 25°C’de 40 saat boyunca 160 devir/dk’de çalkalanmıştır. Dengeleme periyodundan sonra süspansiyonlar 20 dakika boyunca 4000 devir/dk santrifüjlenmiştir. Elde edilen bu çözelti filtre edilip sıvı

fazı ayrılıp elde edilen ekstrakttaki iyot değeri iyonmetre kullanılarak iyodür elektrodu ile belirlenerek adsorpsiyon izotermi uygulanmıştır (Whitehead 1973a).

Desorpsiyon işlemi ise, adsorpsiyon çalışmasından sonra her tüpe 20 ml 0,01 M CaCl₂ çözeltisi ilave edilmiş ve süspansiyonlar 25°C'de 40 saat boyunca 160 devir/dk da çalkalanmıştır. Daha sonra süspansiyonlar 20 dakika boyunca 4000 devir/dk santrifüjlenmiştir. Elde edilen bu çözelti filtre edilip sıvı fazı ayrılıp elde edilen ekstrakttaki iyot değeri iyonmetre kullanılarak iyodür elektrodu ile belirlenerek desorpsiyon hesaplanmıştır (Whitehead 1973a).

Langmuir ve Freundlich izoterm yöntemlerinin uygulanması

İyodun adsorbe edilen miktarları, başlangıç konsantrasyonu ile denge konsantrasyonu arasındaki farktan aşağıda verilen denklemle hesaplanmıştır:

$$S_i = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{W}$$

Denklemde S_i adsorbe edilen miktar (mmol kg^{-1}), C_0 iyodun başlangıç konsantrasyonu (mmol L^{-1}), C_e iyodun denge konsantrasyonu (mmol L^{-1}), V çözelti hacmi, W ise denemede kullanılan toprağın kuru ağırlığı (g) dir.

Elde edilen verilerin Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon modelleri aşağıda verilmiştir:

İzotermeler:

$$C_e/S_i = C_e/b + 1/kb \quad (\text{Langmuir 1918})$$

Denklemde S_i birim miktar toprağın adsorbe ettiği iyot miktarı (mmol kg^{-1}), C_e denge konsantrasyonu (mmol L^{-1}), k ve b sırasıyla bağlanma enerjisi ve maksimum adsorpsiyonla ilgili katsayıdır.

$S_i = K_f C_e^n$ şeklinde verilen Freundlich izotermi log tabanlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{Log}(S_i) = \text{Log} K_f + n \text{Log} C_e$$

Denklemde S_i birim miktar toprağın adsorbe ettiği iyot miktarı (mmol kg^{-1}), C_e denge konsantrasyonu (mmol L^{-1}), K_f ve n ise katsayıdır.

İstatistiksel Değerlendirme

Toprak bileşenlerinin giderilmesi konularından elde edilen Freundlich ve Langmuir izotermelerinin adsorpsiyon maksimumları arasında varyans analizine bakıldığında konular arası fark istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Duncan gruplandırılması yapıldığında giderme işlemleri yapılan her bir konunun farklı gruplarda yer aldığı ve her bir konunun da adsorpsiyon maksimum değerlerinin birbirinden istatistiksel anlamda farklı olduğu tespit edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Araştırmada kullanılan toprak örneği; kil bünyeli, pH'sı 7,86, EC'si 0,252 dS m⁻¹, organik madde içeriği % 0,7, kireç içeriği %16,9, kation değişim kapasitesi 32,54 cmol_c kg⁻¹'dir. Deneme toprağı incelendiğinde organik madde düzeyi çok az, tuzsuz, hafif alkali, kireç kapsamının fazla olduğu görülmektedir.

Toprak Bileşenlerinin İyot Adsorpsiyonuna Etkisi

Adsorpsiyon verilerine modifiye edilmiş log tabanlı Freundlich izotermi ile lineer Langmuir izotermi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca bu parametrelere ait grafiksel veriler de Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Araştırma toprağında ve bu toprağın bazı bileşenlerinin giderilmiş olduğu topraklarda gerçekleştirilen denge çözeltileri sonucunda, Langmuir izoterminden faydalanarak bulunan iyot adsorpsiyon maksimumları; organik maddesi giderildiği durumda 10,5 mg kg⁻¹, kireci giderilmiş olduğu zaman 4,49 mg kg⁻¹, demir-alüminyum oksitleri giderildiği zaman 29,32 mg kg⁻¹, hepsi giderilmiş olduğu durumda 15,4 mg kg⁻¹, işlem görmemiş orijinal toprakta 19,3 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Çalışma toprakları üzerinde işlem görmüş ve görmemiş topraklarda yapılan adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermelerine ait K değerleri 0,690 ila 6,928 L/kg arasında bulunmuştur. Shetaya (2011) asit mera topraklarında yaptığı doktora tezi araştırmasında Freundlich izotermine göre bu değerleri 1,5 ila 5,3 L/kg arasında bulmuştur. Asidik mera topraklarında iyodat adsorpsiyonu iyodür adsorpsiyonuna göre daha fazla bulunmasına rağmen işlenebilen tarım arazilerinde iyodür adsorpsiyonunun daha güçlü olduğunu ifade etmiştir. Yapılan işlemler sonucunda; işlem görmüş ve görmemiş toprakların Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermeleri belirlenmiştir. Buna göre bir karşılaştırma yapılacak olursa organik maddesi giderilmiş, kireci giderilmiş ve her üç bileşenin de giderildiği (hepsi) durumda R^2 değerleri daha yüksek bulunduğu için Langmuir adsorpsiyon izotermi Freundlich

adsorpsiyon izotermine göre daha uygun bulunmuştur. Ancak sadece demir-alüminyum oksitlerin giderildiği durumda R^2 değerine bakıldığında Freundlich adsorpsiyon izotermine göre daha uygun bulunduğu görülmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Toprakların Langmuir ve Freundlich izoterm parametreleri

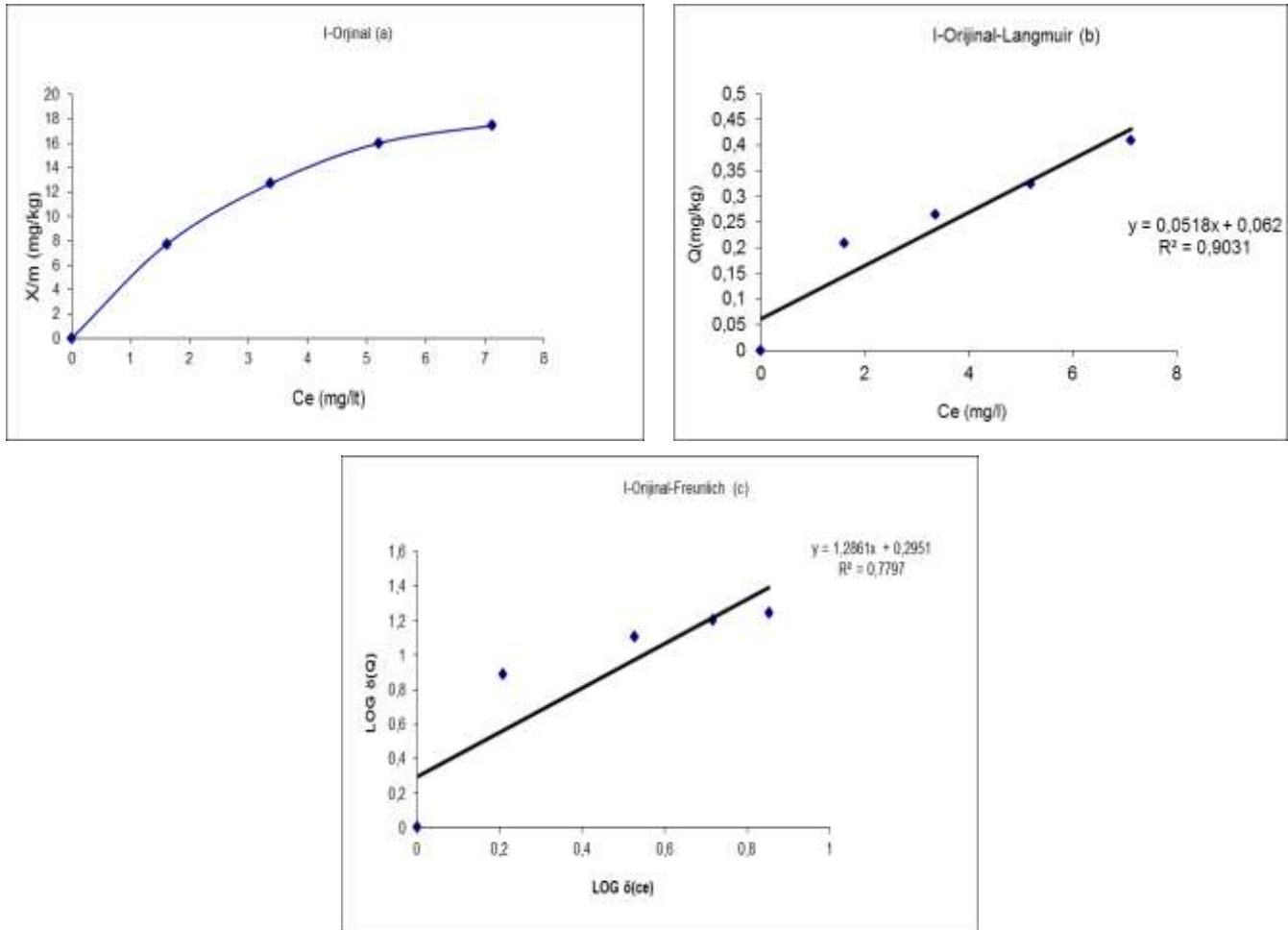
Toprak	Langmuir İzotermi			Freundlich İzotermi		
	R^2 değeri	b mg/kg	k L/kg	R^2 değeri	n	kf
İşlem görmemiş	0,9031	19,305	0,835	0,7797	0,78	6,1
Organik maddesi giderilmiş	0,9983	10,460	6,928	0,5815	1,08	2,3
Kireci giderilmiş	0,9617	4,494	1,594	0,8670	1,45	9,9
Demir-alüminyum oksitleri giderilmiş	0,8904	29,325	0,850	0,9809	1,07	1,13
Organik madde+ kireç+demir-alüminyum oksitleri (hepsi) giderilmiş	0,8550	15,384	0,690	0,8490	0,81	1,630

b: adsorpsiyon maksimum değeri (mg/kg)

k: bağlanma enerjisi (L/kg)

n: adsorpsiyon yoğunluğu

kf: adsorpsiyon kapasitesi



Şekil 1. İşlem görmemiş orijinal toprağın: a. adsorpsiyon maksimum eğrisi, b. Langmuir İzotermi, c. Log tabanlı Freundlich izotermi

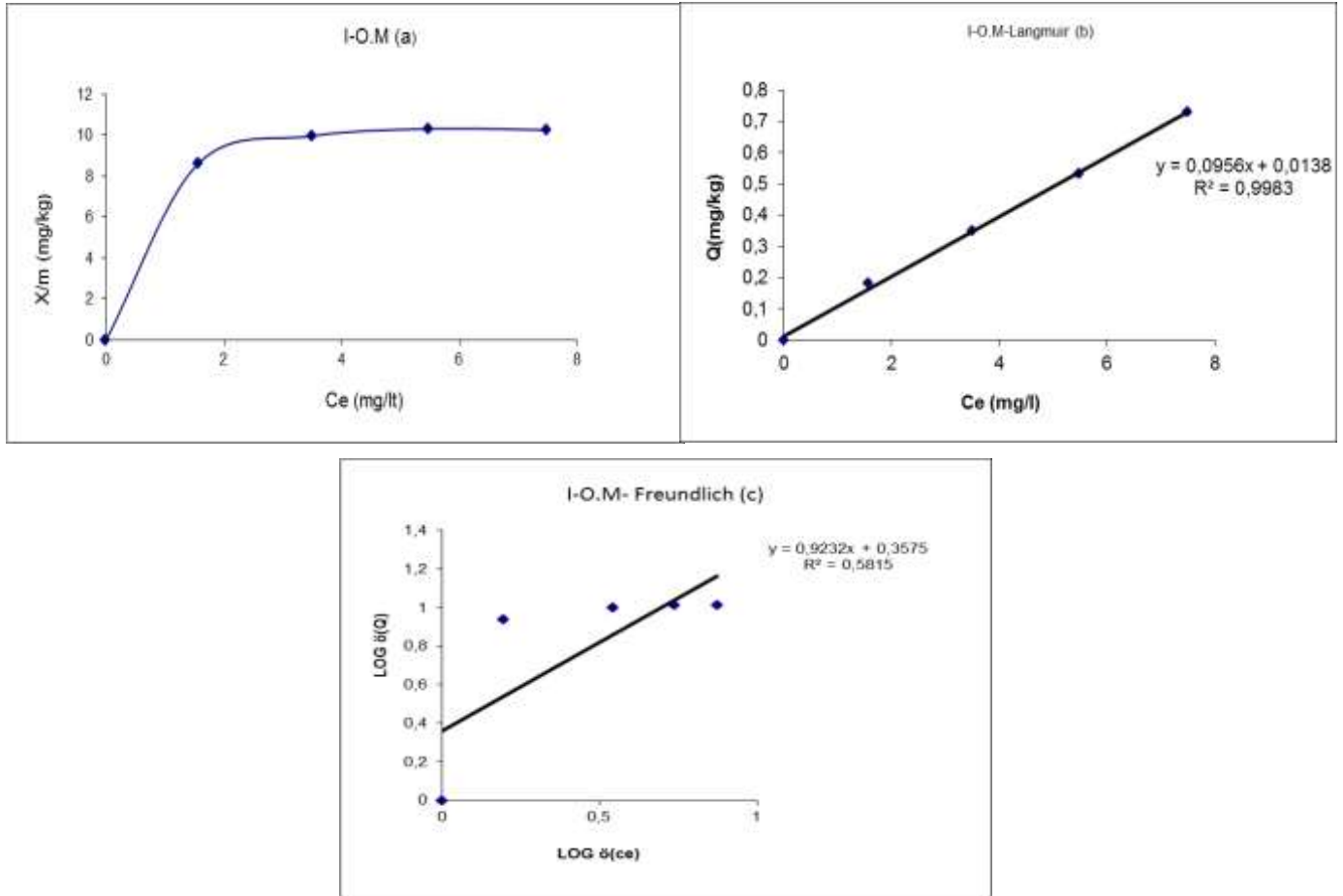
Araştırılan toprağın organik maddesi giderildikten sonra iyot adsorpsiyon maksimumu değerinin $19,3 \text{ mg kg}^{-1}$ değerinden $10,5 \text{ mg kg}^{-1}$ değerine düştüğü görülmektedir. Organik madde giderme işlemi başka bir ifade ile bu toprakta organik madde bulunmadığı durumda iyot adsorpsiyon kapasitesi düşmüştür. Bu etki istatistiki olarak da tespit edilmiştir (Çizelge 2). Toprakta var olan organik maddenin iyot adsorpsiyonu üzerine olumlu etkisinin olduğu görülmektedir. Whitehead (1973a), toprak organik maddesinin iyot

adsorpsiyonu üzerine pozitif etkisinin olduğunu bildirmiştir. Aynı şekilde Whitehead (1978), toprak oluşturan koşulların yoğun olduğu (yağışlı) iklim koşullarında oluşan kil ve organik maddenin iyodu çok güçlü tuttuklarından (fikse ettiklerinden) iyodun biyo yararlanılabilirliği üzerinde oldukça etkili olup potansiyel jeokimyasal guatr hastalığı nedeni olabildiğini bildirmiştir. Ayrıca buna karşılık Da ve ark. (2004), toprak organik maddesinin iyot adsorpsiyonunda olumsuz etkisinin olduğunu, ayrıca inceledikleri topraklarda iyodat adsorpsiyon kapasitelerini 9-34 mg kg⁻¹ arasında bulduklarını belirtmişlerdir. Ancak yapılan bu çalışmada iyodür anyonunun adsorpsiyonunun organik madde varlığıyla arttığı belirlenmiştir. Ayrıca Lieser ve Steinkopff (1989), Bors ve Martens (1992) organik maddenin iyot adsorpsiyonuna etkisinin önemli olduğunu bildirmişlerdir. Yine bir anyon olan fosfor ile yapılan bir çalışmada araştırmacılar, sığır gübresi uygulayarak toprak organik madde seviyesini kontrol etmişler ve bu durumda fosfor adsorpsiyonunun artışı organik madde artışı sonucu oluştuğunu bildirmişlerdir (Potarzycki ve ark. 2004). Ayrıca Marzadori ve ark. (1991) yaptıkları çalışmada organik maddenin topraktan uzaklaştırılmasıyla bor adsorpsiyonunun bir hayli arttığını, bunun sebebinin de organik maddenin adsorpsiyon yüzeylerini kapladığını, organik maddenin uzaklaştırılmasıyla bu yüzeylerin aktif hale geçtiği şeklinde yorumlamışlardır.

Çizelge 2. Toprakların Duncan gruplandırması

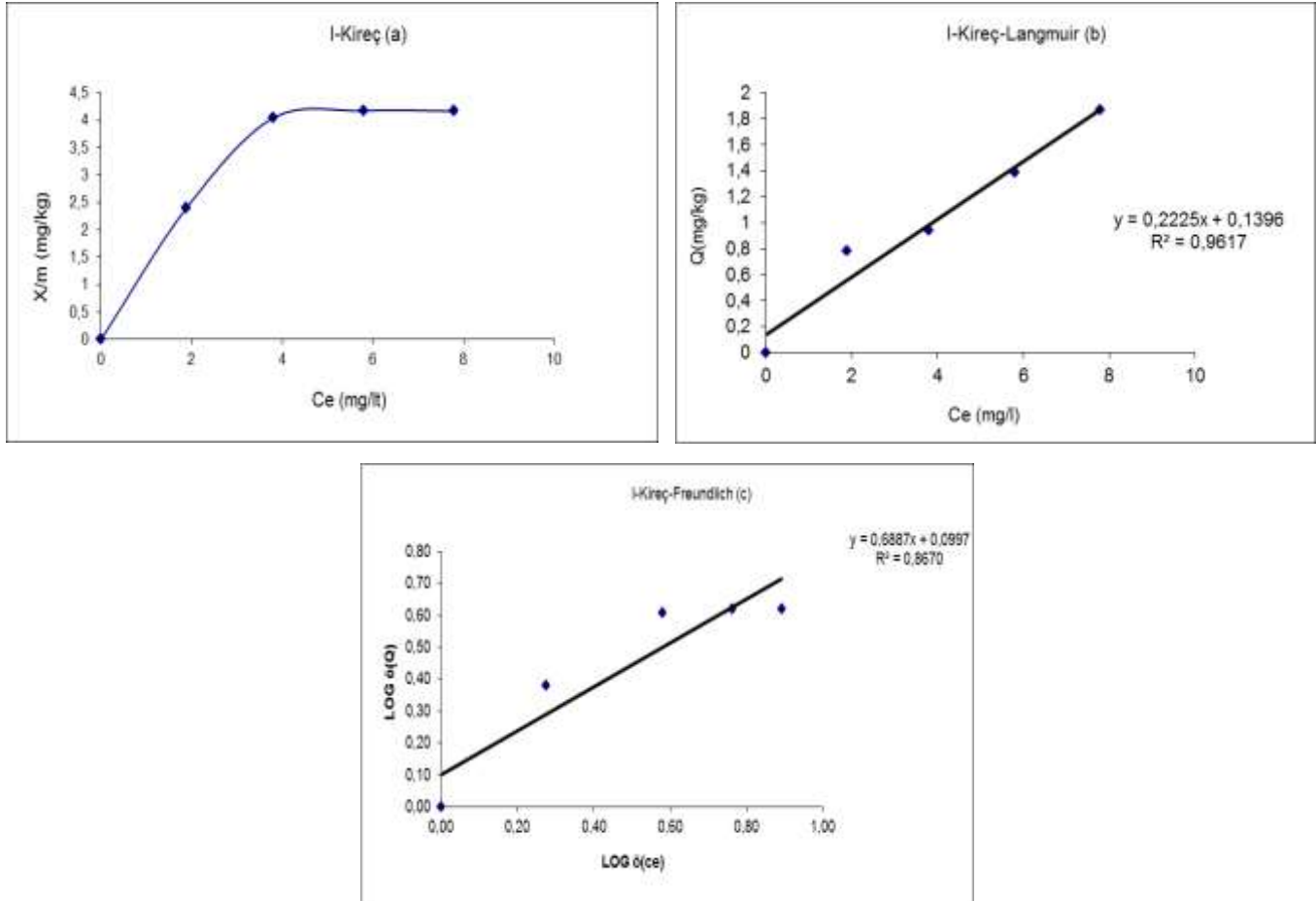
Konular	Tekerrür			Ort. ^(b)	Duncan
	I	II	III		
Orijinal	19,564	19,305	19,046	19,305	B
Kireç	4,879	4,564	4,039	4,494	E
Organik	10,438	10,46	10,482	10,482	D
Fe-Al	29,326	29,323	29,326	29,325	A
Hepsi	15,571	15,267	15,314	15,384	C

b: adsorpsiyon maksimumu



Şekil 2. Organik maddesi giderilmiş toprağın: a. adsorpsiyon maksimum eğrisi, b. Langmuir İzotermi, c. Log tabanlı Freundlich izotermi

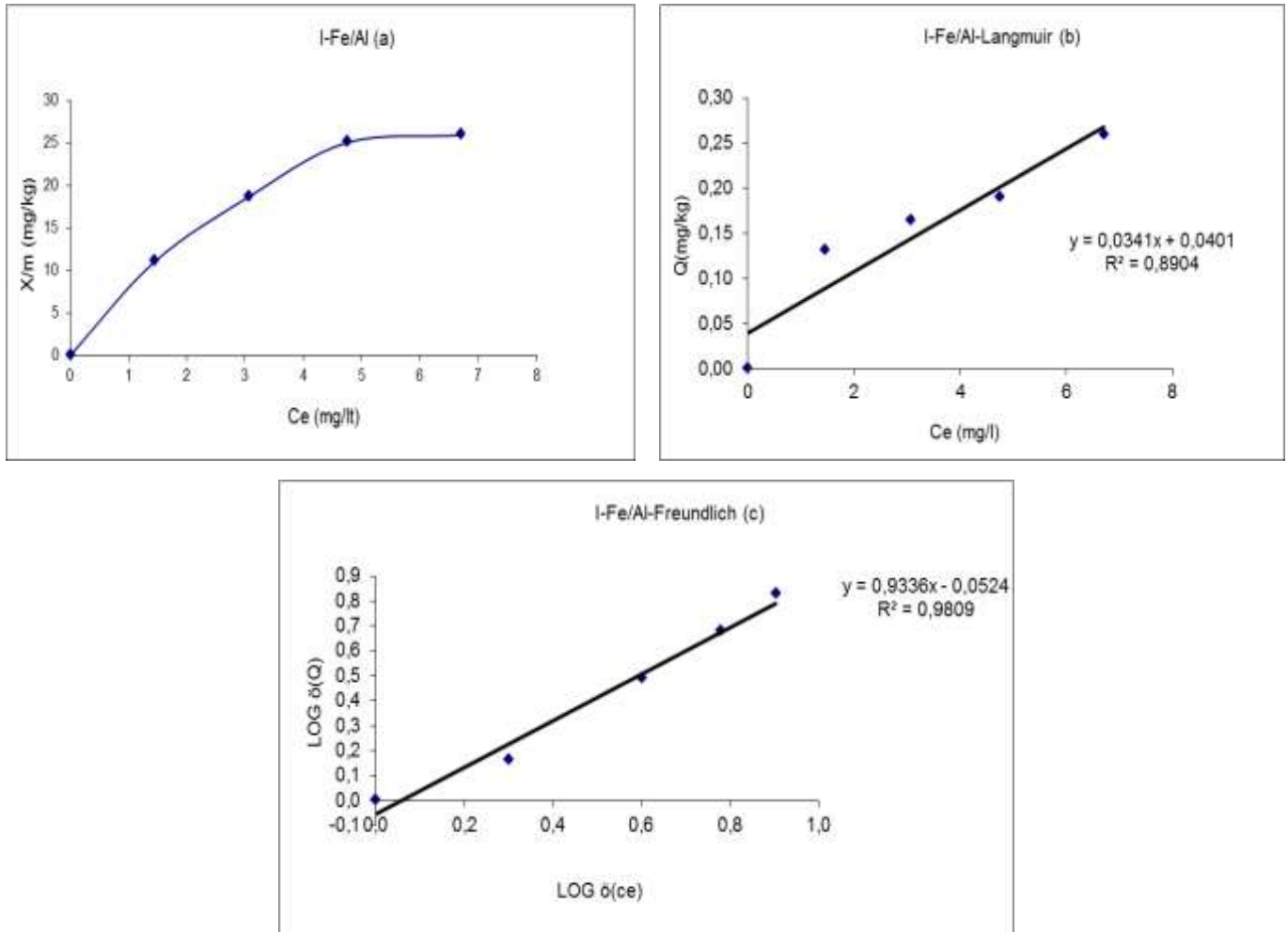
Kireç giderilmesi yapılmış araştırma toprağının adsorpsiyon durumu incelendiğinde, kirecin topraktan uzaklaştırılması toprağın iyot adsorpsiyon gücünü azaltıcı yönde bir etki yaptığını ortaya koymuştur. İyot adsorpsiyon maksimumu değerinin önemli miktarda ($19,3 \text{ mg kg}^{-1}$ dan $4,49 \text{ mg kg}^{-1}$ a kadar) düştüğü görülmektedir. Toprakta var olan kirecin iyot adsorpsiyonu üzerine olumlu etkisinin olduğu istatistiksel olarak da belirlenmiştir (Çizelge 2). Bir anyon olan fosfor ile ilgili yapılan bir çalışmada yüksek kireçli 10 toprakla fosfor sorpsiyonunun, Langmuir izoterminden bulunan adsorpsiyon maksimumunun pH, kil, KDK (kasyon değişim kapasitesi) ile pozitif, CaCO_3 ile negatif korelasyon verdiği bildirilmiştir (Ghanbari ve ark. 1998). Kireçtaşları üzerinde oluşmuş kahverengi topraklar iyotça zengin olabilir (Vinegradov 1959). Fuge (2005), çoğu topraklar için, suda çözünen iyodun, toplamın sadece küçük bir yüzdesine tekabül edeceği, ama kurak bölgelerde alkalın toprakların daha fazla miktarda suda çözünen iyot içermesinin muhtemel olduğunu bildirmektedir.



Şekil 3. Kireci giderilmiş toprağın: a. adsorpsiyon maksimum eğrisi, b. Langmuir İzotermi, c. Log tabanlı Freundlich izotermi

Demir-alüminyum oksitleri giderilmiş araştırma toprağında, seskioksitlerin giderilmesinin toprağın adsorpsiyonunu artırıcı yönde bir etki yaptığı görülmüştür. İyot adsorpsiyon maksimumu değeri $19,3 \text{ mg kg}^{-1}$ değerinden $29,3 \text{ mg kg}^{-1}$ değerine yükselmiştir. Toprakta var olan seskioksitlerin iyot adsorpsiyonu üzerine olumsuz etkisinin olduğu istatistiksel olarak da belirlenmiştir (Çizelge 2). Topraklarda demir-alüminyum oksitler giderildiğinde iyot adsorpsiyonundaki belirgin artış, bu oksitlerin iyot adsorpsiyonunda azaltıcı bir etkisinin olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu çalışmadaki bulguların aksine Whitehead (1973b), İngiltere’de yapılan 23 adet toprakta yaptığı çalışmada iyot içeriği ile seskioksit içeriği arasında pozitif bir korelasyon bulmuştur, ayrıca çöktürülmüş Fe_2O_3 ve Al_2O_3 ’ün iyodürü adsorbe edebileceğini belirlemiştir. Yoshida ve ark. (1992), iyotun Japonya’daki Andosol topraklarda iyodat formunda demir-alüminyum oksitlere kolaylıkla adsorbe olacağını bildirmişlerdir. Da ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada toprakların serbest demir oksitlerin iyodat adsorpsiyonu üzerine olumlu etkilerinin bulunduğunu bildirmişlerdir. Mc Nally (2011), iyot miktarının toprakların alüminyum ve demir kapsamları ile ilişkili olduğunu belirtmiş, ayrıca demir oksitlerin iyodun tutulmasında çok etkili olduğunu bildirmiştir. Bu

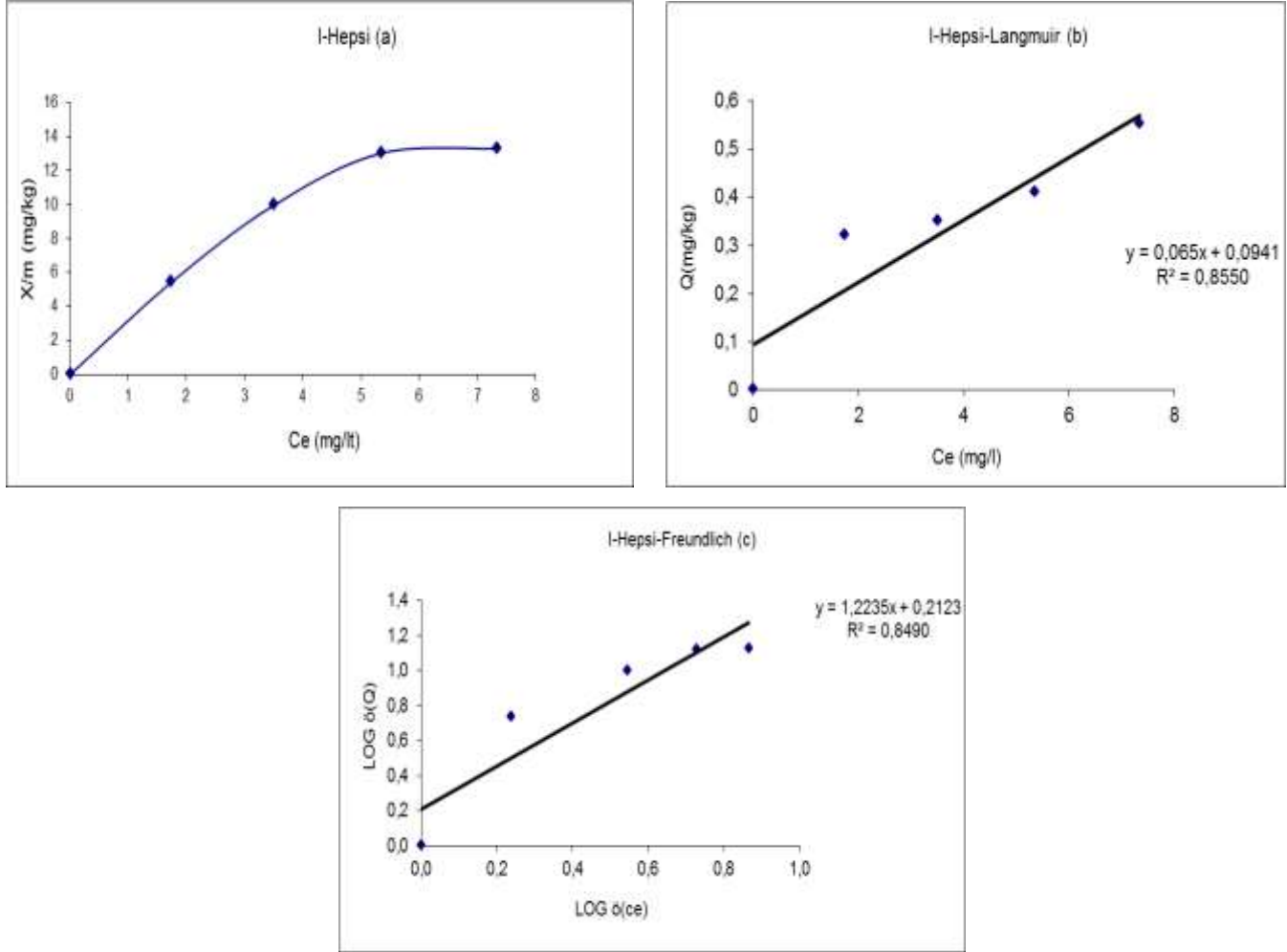
çalışmada olduğu gibi alkalın pH'larda demir-alüminyum oksitlerin iyodür adsorpsiyonu azalmaktadır. Benzer şekilde Whitehead (1973b), topraktaki pH değerinin 7 ve 8'in üzerinde olduğu zamanlarda seskioksitlerin iyodürü adsorbe etmediğini bildirmiştir. Bu durum demir-alüminyum oksitlerin iyodürü daha çok fiziksel adsorpsiyonla yani elektrostatik kuvvetlerin etkisiyle adsorbe ettiğini işaret etmektedir. Bilindiği üzere demir-alüminyum oksitlerin sıfır yüklü pH değerleri 7-8 pH aralığına düşmektedir. Bu da gösteriyor ki bu kritik pH değerinin altında pH'ya bağlı olarak pozitif yüklerin oluşumu söz konusudur (Sposito 1984;1990). Asit topraklarda iyotun iyodat formu demir-alüminyum oksitlerin hidroksil gruplarıyla yer değiştirme ile kimyasal sorpsiyon şeklinde olduğu ifade edilmektedir. (Whitehead, 1973a, 1974b, 1978; Ullman ve Aller, 1985; Fukui ve ark. 1996; Um ve ark. 2004). Bu çalışmada kullanılan toprağın pH'sının alkalın reaksiyonlu olması sebebiyle iyodür adsorpsiyonu daha baskın bir şekilde açığa çıkmaktadır. Diğer taraftan demir-alüminyum oksitler topraklarda farklı şekillerde bulunabilmektedir. Örneğin serbest oksitler, diğer toprak bileşenlerinin yüzeyinde film kaplamaları şeklinde veya kil taneciklerinin arasında çimentolayıcı etkileri bulunmaktadır. Özellikle demir oksitlerin çimentolayıcı etkisi ortadan kalktıktan sonra diğer adsorbanların adsorpsiyon yüzeylerinde önemli bir artış ortaya çıkabilmektedir ki bu yüzeylerde iyodür adsorbe edilebilmektedir. Bu da iyodür adsorpsiyonunu arttıracaktır. Ayrıca Langmuir eşitliği kullanarak tayin edilen fosfor adsorpsiyonunun, demir oksitleri uzaklaştırılmış topraklarda düştüğü, toprakların demir oksit yüzeylerindeki fosfor adsorpsiyon kapasitesinin amorf ve kristalin demir oksit yüzeylerine bağlı olduğu bildirilmiştir (Borggaard 1983).



Şekil 4. Demir-alüminyum oksitleri giderilmiş toprağın: a. adsorpsiyon maksimum eğrisi, b. Langmuir İzotermi, c. Log tabanlı Freundlich izotermi

Hem organik madde ve kireç hem de demir-alüminyum oksitlerin yani her üç bileşenin de giderimi yapılmış araştırma toprağı incelendiğinde, yani üç bileşenin de toprakta olmadığı durumda iyot adsorpsiyonu orijinal toprağa göre daha düşük bulunmuştur. İyot adsorpsiyon maksimumu değerinin $19,3 \text{ mg kg}^{-1}$ değerinden

15,38 mg kg⁻¹ değerine düştüğü görülmektedir. Bu etkiler istatistiksel olarak da tespit edilmiştir (Çizelge 2). Bu muamelede adsorpsiyonu olumlu veya olumsuz etkileyen bileşenlerden organik madde, demir-alüminyum oksitler ve kireç giderilmiş durumdadır. Mevcut adsorpsiyonu muhtemelen kil ve diğer fraksiyonlar yapmaktadır. Yine bir anyon olan bor ile yapılan çalışmalarda, borun çözünübilirliği ve sorpsiyonu toprak pH'sı, kil mineralinin miktar ve tipi, demir-alüminyum oksit içeriği, organik madde, tekstür ve kireç içeriği gibi toprak özelliklerine bağlı olduğu bildirilmiştir (Elrashidi ve O' Connor 1982, Keren ve Bingham 1985).



Şekil 5. Kireci, organik maddesi ve demir-alüminyum oksitleri (hepsi) giderilmiş toprağın: a. adsorpsiyon maksimum eğrisi, b. Langmuir İzotermi, c. Log tabanlı Freundlich izotermi

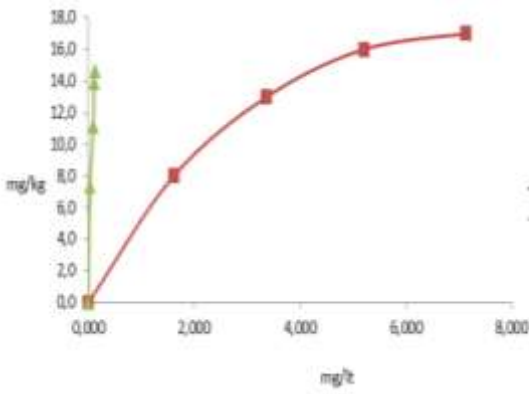
Toprak Bileşenlerinin İyot Desorpsiyonuna Etkisi

Araştırmada adsorbe olan iyodun bağlandığı yerlerden tekrar ayrılma durumunu görmek için yapılan desorpsiyon çalışmalarının sonuçları adsorpsiyon eğrisine göre, desorpsiyon durumları ise uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan iyodür miktarı, denge çözeltilerinin pH'ları da eklenerek Çizelge 3'de verilmiştir. Ayrıca bu parametrelere ait grafiksel veriler de Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.

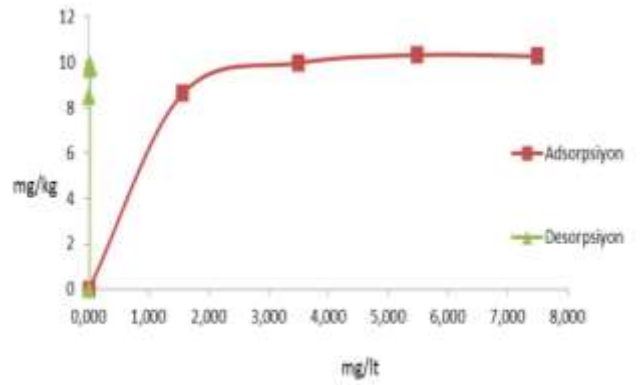
Organik maddesi giderilmiş orijinal toprağa bakıldığında uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan iyodür miktarlarının arttığı görülmektedir (Çizelge 3). Artan dozlarda iyodür uygulaması yapıldığında çözeltilere geçen iyodür miktarının artması organik maddenin olmadığı toprakta iyodür tutunabilirliğinin zayıf olduğunu başka bir ifadeyle organik maddenin iyot tutulmasında etkin olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3. Herbir uygulama konusuna göre desorpsiyon miktarları

Toprak	Konsantrasyon (mg L ⁻¹)	Adsorblanan (mg L ⁻¹)	Desorblanan (mg L ⁻¹)	Desorblanan (%)	pH
Orijinal	0	0	0	0	7,76
	2	0,387	0,032	8,35	7,78
	4	0,634	0,093	14,61	7,82
	6	0,800	0,105	13,16	7,84
	8	0,872	0,118	13,57	7,85
Organik maddesi giderilmiş	0	0	0	0	7,55
	2	0,432	0,007	1,621	7,62
	4	0,499	0,015	3,008	7,69
	6	0,516	0,019	3,682	7,77
	8	0,513	0,023	4,480	7,78
Kireci giderilmiş	0	0	0	0	7,58
	2	0,120	0,002	1,944	7,66
	4	0,202	0,024	12,046	7,71
	6	0,209	0,032	15,470	7,73
	8	0,208	0,042	19,967	7,79
Demir-alüminyum oksitleri giderilmiş	0	0	0	0	7,66
	2	0,551	0,004	0,726	7,68
	4	0,933	0,011	1,179	7,70
	6	1,252	0,058	4,633	7,75
	8	1,295	0,113	8,726	7,82
Organik madde+kireç+demir- alüminyum oksitleri(hepsi) giderilmiş	0	0	0	0	7,56
	2	0,270	0,013	4,815	7,57
	4	0,498	0,049	9,839	7,64
	6	0,651	0,064	9,831	7,69
	8	0,664	0,073	10,994	8,03



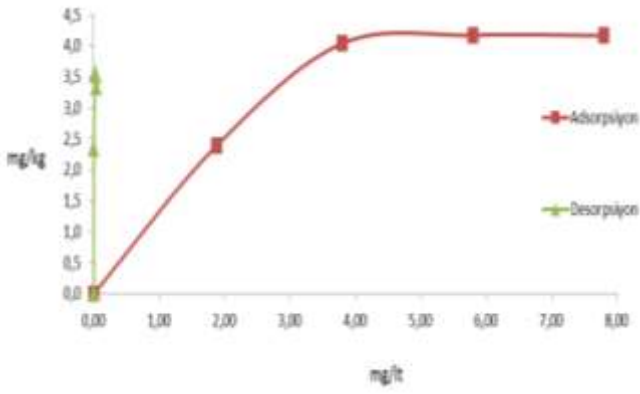
Şekil 6. Orijinal topraktan iyodür desorpsiyon izotermi



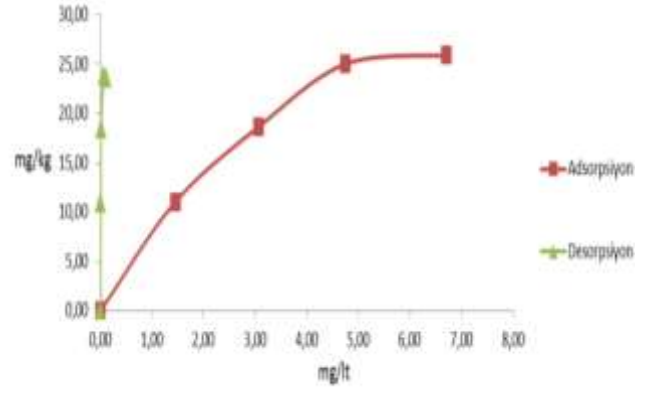
Şekil 7. Organik maddesi giderilmiş toprağın desorpsiyon izotermi

Kireci giderilmiş orijinal toprağa bakıldığında uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan iyodür miktarlarının arttığı görülmektedir (Çizelge 3). Artan dozlarda iyodür uygulaması yapıldığında çözeltiliye geçen iyodür miktarının artması kirecin olmadığı toprakta iyodür tutunabilirliğinin zayıf olduğunu göstermektedir.

Demir-alüminyum oksitlerin giderilmiş olduğu orijinal toprağa bakıldığında uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan iyodür miktarlarının arttığı görülmektedir (Çizelge 3). Artan dozlarda iyodür uygulaması yapıldığında çözeltiliye geçen iyodür miktarının artması demir-alüminyum oksitlerin olmadığı toprakta iyodür tutunabilirliğinin zayıf olduğunu göstermektedir.



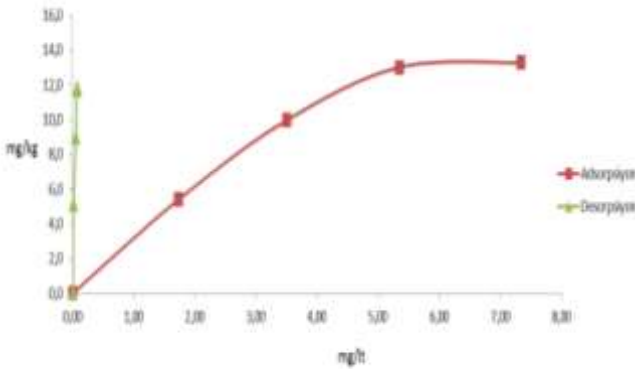
Şekil 8. Kireci giderilmiş toprağın desorpsiyon izotermi



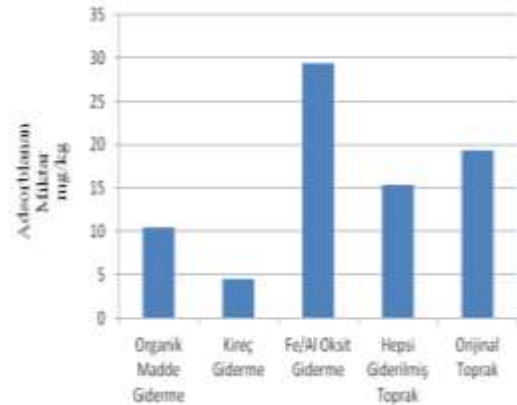
Şekil 9. Demir-alüminyum oksitleri giderilmiş toprağın desorpsiyon izotermi

Organik madde, kireç, demir-alüminyum oksitlerin giderilmiş olduğu orijinal toprağa bakıldığında uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan iyodür miktarlarının arttığı görülmektedir (Çizelge 3). Artan dozlarda iyodür uygulaması yapıldığında çözeltiye geçen iyodür miktarının artması organik madde+kireç+demir-alüminyum oksitlerin toprakta iyodür tutunabilirliğinin zayıf olduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle bu bileşenlerin hepsinin giderilmesi ile iyot tutulumu arasında etkin bir ilişki olduğu görülmektedir.

Toprak bileşenlerinin iyot desorpsiyonuna etkileri genel olarak değerlendirilirse; her bir konsantrasyona göre desorplanan iyodür miktarı, toprak bileşenleri ayrı ayrı ve her üçünün birden giderildiği durumlarda orijinal toprakla kıyaslama yapıldığında desorplanan iyodür miktarı artan konsantrasyonlarda daha az bir artış göstermiştir.



Şekil 10. Organik madde+kireç+demir-alüminyum oksitleri giderilmiş toprağın desorpsiyon izotermi



Şekil 11. Bazı toprak bileşenlerinin iyot adsorpsiyon maksimumuna etkileri

Sonuçlar

Bu çalışma ile kireçli ana materyal üzerinde oluşmuş bir toprakta iyotun adsorpsiyon ve desorpsiyon davranışları üzerine farklı toprak bileşenlerinin etkisi ilgili bileşenin topraktan giderilmesiyle ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Yapılan araştırma sonuçlarına göre; orijinal toprağa kıyasla yalnızca demir-alüminyum oksitleri giderilmiş toprağın daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu, ancak diğer bileşenlerin giderildiği durumlara bakıldığında orijinal toprağa kıyasla adsorpsiyon kapasitelerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Toprak bileşenlerinin iyot adsorpsiyonu üzerindeki etkileri bileşenler ayrı ayrı ele alınıp incelendiğinde; kireci giderilmiş toprağın iyot adsorpsiyon kapasitesi orijinal toprağa göre çok düşük bulunmuş bu da, kirecin bu toprakta iyot adsorpsiyonundaki en önemli bileşen olduğu sonucunu doğurmuştur. Yine bir toprak bileşeni

olan organik maddenin de iyot adsorpsiyonunda kireçten sonra önemli bir bileşen olduğu belirlenmiştir. Buna karşın demir-alüminyum oksitleri giderilmiş toprağın iyot adsorpsiyon kapasitesinin diğer 4 farklı duruma göre gözle görülür bir şekilde arttığı belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre kireç ve organik maddenin toprağın iyot adsorplama yeteneğini arttırdığı fakat demir-alüminyum oksitlerin ise iyodun toprakta tutunabilirliğini azalttığını göstermektedir. Ayrıca bu durumlar istatistiki olarak değerlendirilmiş olup konular arası fark önemli bulunmuştur.

Toprak bileşenlerinin iyot desorpsiyonu üzerindeki etkilerine bakıldığında; toprak bileşenlerinden olan kireci giderilmiş toprağın desorbe ettiği iyot miktarının orijinal toprakla kıyaslandığı zaman daha yüksek miktarda olduğu bulunmuştur. Bu durum kirecin bulunmadığı durumda iyot tutulumunun daha zayıf olduğunu göstermektedir. Diğer bileşenlerden biri olan organik maddenin giderilmiş olduğu duruma bakıldığında ise desorbe edilen iyot miktarının daha az olduğu yani iyodun daha az bırakıldığını göstermektedir. Yine aynı şekilde demir-alüminyum oksitlerin giderildiği toprakta da desorbe edilen iyot miktarının orijinal toprağa kıyasla daha az olduğu görülmektedir.

Araştırma sonuçları toprak bileşenlerinin iyotun adsorpsiyon ve desorpsiyonuna etkilerinin önemli olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma ile ülkemizde bu konuda daha sonra yapılacak çalışmalara öncülük edilmiş, iyotun davranışları ve yararlanılabilirliği konularında çalışmak isteyen kişilere bilgi kaynağı sağlanmıştır. Burada elde edilen bilgiler, özellikle ülkemizde ve dünyada çok yaygın ve önemli bir sağlık sorunu oluşturan guatr hastalığının, toprak ve çevresel boyutu konusunda çalışacak araştırmacılara bir yol gösterici olacağı ümit edilmektedir. Toprakların iyot adsorpsiyon kapasiteleri ve toprağı oluşturan bileşenlerin de verimlilik programlarına alınması gerekli, takip gerektiren konular olduğu görülmüştür.

Kaynaklar

- Borggaard OK. 1983. The Influence of Iron Oxides on Phosphate Adsorption by Soil. *European J. Soil Sci.* 34(2); 333-341.
- Bors J, Martens R. 1992. The contribution of microbial biomass to the adsorption of radioiodide in soils. *J. Environ. Radioact.* 15 35-49.
- Christiansen JV, Carlsen L. 1989. Iodine in the environment revisited. An evaluation of the chemical and physico-chemical processes possibly controlling the migration behaviour of iodine in the terrestrial environment Chemistry Department, Risø National Laboratory DK-4000 Roskilde, Denmark.
- Da JL, Zhang M, Zhu YG. 2004. Adsorption and desorption of iodine by various Chinese soils: I. Iodate. *Environ. Inter.* 30(4); 525-530.
- Elrashidi MA, O'Connor GA. 1982. Boron sorption and desorption in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46; 27-31.
- Fuge R. 2005. Soil and iodine deficiency. *Essential of Medical Geology, Impact of the Natural Environment on Public Health* (Ed.O.Selinus). Academic Press, Vol.16; pp.417-433.
- Fukui M, Fujikawa Y, Satta N. 1996. Factors affecting interaction of radioiodide and iodate species with soil. *J. Environ. Radioact.* 31; 199-216.
- Gee GW, Or D. 2002. Particle-Size Analysis. In *Methods of Soil Analysis*. Dane and Topp (ed). Part 4. Physical Methods. p. 255-294. SSSA Book Ser. 5. SSSA Madison, WI.
- Ghanbari A, Maftoun M, Karimian N. 1998. Phosphorus Adsorption Desorption Characteristics of Some Selected Highly Calcareous Soil of Fars Province. *Iranian J. Agri. Sci.* 29(1); 181-194.
- Hartge KH. 1971. *Die Physikalische Untersuchung Von Böden*. Enke Verlag Stuttgart. pp. 31-50.
- Hosseini S, Usta S. 2000. Kastamonu-Azdavay Yöresinde Yaygın Toprakların ve Su Kaynaklarının iyot Durumları. *Tarım Bilimleri Dergisi*; 6(4); 87-91.
- Jackson ML. 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall. Inc. Eng. Cliffs. New Jersey, USA.
- Jackson ML. 1962. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall. Inc. Eng. Cliffs. N. J., USA.
- Johanson KJ. 2000. Iodine in soil. Department of Forest Mycology and Oarhtology, The Swedish University of Agricultural Science, Uppsala, Technical Report TR-00-21.
- Johnson CC, Fordyce FM, Stewart AG. 2003. Environmental Controls in Iodine Deficiency Disorders. Project Summary Report Environmental controls in Iodine Deficiency Disorders Project Summary Report. British Geological Survey Commissioned Report. CR/03/058N.BGS, Keyworth, Nottingham, UK.
- Keren R, Bingham FT. 1985. Boron in Water, soil and plants. *Adv. Soil Sci.* 1; 229-276.
- Kunze GW, Dixon JB. 1986. Pretreatment for Mineralogical Analysis. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 1, second ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 91-99.
- Langmuir I. 1918. Adsorption of Gases on plane surfaces of Glass. Mica and Platinum. *J. Amer.Chem. Soc.* 40; 1361-1402.
- Lieser KH, Steinkopff T. 1989. Chemistry of radioactive iodine in the hydrosphere and in the geosphere. *Radiochim. Acta.* 46; 49-55.
- Lyons GH, Stangoulis JCR, Graham RD. 2004. Expoliting micronutrient interaction to optimize biofortification programs; the case for inclusion of selenium and iodine in the Harvest Plus Program. *Nutrition Reviews.* 62; 247-252.
- Marzadori C, Vittori Antisari L, Ciavatta C, Segui P. 1991. Soil Organic matter influence on adsorption and desorption of boron. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55; 1582-1585.

- Mc Grath D, Fleming GA. 1988. Iodine Levels in Irish Soils and Grasses. *J. Agri. Res.* 27(1); 75-81.
- Mc Nally SR. 2011. The status of iodine and selenium in Waikato soils. Master thesis, Master of Science in Chemistry, The University of Waikato.
- Mehra OP, Jackson ML. 1960. Iron Oxide Removal From Soil and Clays by a Dithionite-Citrate System Buffered With Sodium Bicarbonate. *Proc. 7th Natl. Conf. on Clays and Clay Minerals*, 317-327, New York.
- Ngo DB, Dikassa LO, Kitolonda W, Kashala TD, Gervy C, Dumont J, Vanovervelt N, Comtempré B, Diplock AT, Peach S, Vanderpas J. 1997. Selenium status in pregnant women of a rural population (Zaire) in relationship to iodine deficiency. *Tropical Medicine & International Health* 2; 572-581.
- Polemio M, Rhoades JD. 1977. Determining Cation Exchange Capacity: New Procedure for Calcareous and Gypsiferous Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41; 524-528.
- Potarzycki J, Gaj R, Schnug E. 2004. Phosphorus Adsorption in Soils After 20 Years of Organic and Mineral Fertilization. *Landbauforschung Volkenrode*, 54; 13-20.
- Richards LA. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *U.S. Dept. Agr. Handbook* 60.
- Shetaya WHAH. 2011. Iodine Dynamics In Soil. PhD Thesis. The University of Nottingham.
- Sözüdoğru S, Usta S, Halilova H, Hosseini S, Ünver İ. 1997. Kastamonu Yöresinde Su, Toprak ve Bitki Örneklerinin İyodür Kapsamları. *Türk Tarım ve Ormanlık Der.* 21(3); 213-218.
- Sposito G. 1984. *The Surface Chemistry of Soils*: Oxford University Press, Oxford.
- Sposito G. 1990. Molecular Models of ion Adsorption on mineral surfaces. In: Hochella, M.F., White A.F. (Eds), *Mineral Water Interface Geochemistry. Rev Mineral.*, 261-279.
- Thompson B. (edited). 2011. Combating micronutrient deficiencies: Food-based approaches. FAO. p292-293, U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *U.S.D.A. Handbook* 60, USA.
- Ullman WJ, Aller RC. 1985. The geochemistry of iodine nearshore carbonate sediments. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 49; 967-978.
- Um W, Serne RJ, Krupka KM. 2004. Linearity and reversibility of iodide adsorption on sediments from Hanford, Washington under water saturated conditions. *Water Research*, 38; 2009-2016.
- Vinegradov AP. 1959. *The Geochemistry of Rare and Dispersed Chemical Elements in Soils*. Consultants Bureau Press Inc., New York. pp.65-70.
- Whitehead DC. 1973a. Sorption of Iodide by Soils as Influenced by Equilibrium Conditions and Soil Properties. *J. Sci. Food Agric.* 24; 547-556.
- Whitehead DC. 1973b. Studies on Iodine in British Soils. *J. Soil Sci.* 24; 260-270.
- Whitehead DC. 1974a. The influence of organic matter, chalk and sesquioxides on the solubility of iodide, elemental iodine and iodate incubated with soil. *Soil Sci.* 25; 461 -470.
- Whitehead DC. 1974b. Sorption of Iodide by Soil Components. *J. Sci. Food Agric.* 25; 73-79.
- Whitehead DC. 1978. Iodine in soil profiles in relation and aluminium oxides and organic matter. *J. Soil Sci.* 29(1); 88-94.
- Whitehead DC. 1984. The Distribution and Transformation of Iodine in the Environment. *Enviro. Int.* 10; 321-333.
- Yoshida S, Muramatsu Y, Uchida S. 1992. Studies on the sorption of I⁻ (iodide) and IO₃⁻ (iodate) onto andosols. *Water Air Soil Pollut.* 63; 321-329.