



KENTSEL ARITMA ÇAMURU VE AZOT UYGULAMALARININ KİREÇLİ TOPRAKLARDA BAZI TOPRAK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ¹

Cafer TÜRKMEN²

Sevinç ARCAK³

²Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Çanakkale/Türkiye

³Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Ankara/Türkiye

ÖZET

Bu çalışma, kireçli bir toprağa farklı düzeylerde uygulanan kentsel arıtma çamuru ve azotlu gübrenin; toprak reaksiyonu (pH), elektriksel iletkenlik (EC), organik madde (OM), toplam azot (N), alınabilir fosfor (P), kation değişim kapasitesi (KDK), ekstrakte edilebilir potasyum (K), amonyum (NH_4^+) ve nitrat (NO_3^-) gibi bazı toprak özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla 2 yıl süreyle yürütülmüştür. Denemeler tarla şartlarında faktöriyel deneme deseni düzenine göre planlanmıştır. Çamurun 6 seviyesi (0, 300, 600, 1200, 2400 ve 4800 kg da⁻¹) ve azotlu gübrenin (Üre, % 46 N) ise 4 seviyesi (0, 3, 6 ve 9 kg N da⁻¹) uygulanmıştır.

Araştırmada elde edilen bulgulara göre arıtma çamurunun, toprağın pH, EC, KDK değerleri ile OM, N, P, K ve NO_3^- kapsamını etkilediği tespit edilmiştir. Çamur uygulamalarının yalnızca toprağın NH_4^+ kapsamına etkisinin istatistik olarak önemsiz olduğu görülmüştür. Azot uygulamalarında ise sadece toprağın toplam azot kapsamındaki artış önemli olmuştur. Arıtma çamuru ve azot uygulamalarının uygulama yıllarına göre etkisinin önemli değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Yıl faktörü toprağın; pH ve KDK özelliklerini etkilemezken, toprağın EC değerini, OM, toplam N, alınabilir P, ekstrakte edilebilir NO_3^- ve K miktarlarını etkilediği görülmüştür.

Araştırmada faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimleri de incelenmiş olup; "yıl x azot" etkileşimi sadece toprağın azot kapsamındaki değişim açısından önemli görülmüştür. "Yıl x çamur" etkileşimi ise yalnız toprağın fosfor kapsamındaki değişimde önemli çıkmıştır. "Azot x çamur" etkileşimi ile "yıl x azot x çamur" üçlü etkileşim açısından toprak özelliklerinde önemli bir değişim saptanmamıştır.

Anahtar kelimeler: Arıtma çamuru, azotlu gübre, kireçli toprak, toprak özellikleri.

EFFECTS OF MUNICIPAL WASTE TREATMENT SLUDGE AND NITROGEN APPLICATIONS ON SOME CALCAREOUS SOIL PROPERTIES

ABSTRACT

This research was carried out to determine the effects of municipal waste treatment sludge and nitrogen applied at different levels on calcareous soil properties such as reaction (pH), electrical conductivity (EC), organic matter (OM), total N, available P, cation exchange capacity (CEC) and exchangeable K, NH_4^+ and NO_3^- . Factorial experimental design was planned in field conditions. Six different sludge levels (0, 300, 600, 1200, 2400 and 4800 kg da⁻¹) and four levels (0, 3, 6 and 9 kg N da⁻¹) of a nitrogenous fertilizer (urea, 46 % N) were applied.

Waste treatment sludge applications influenced both pH, EC, CEC levels and OM, N, P, K and NO_3^- amounts. NH_4^+ was not significantly affected by the applications. Nitrogen applications resulted in increases only in total N content of the soil. After evaluating two-year applications of sludge and nitrogen, years were found as an influencing factor on the parameters. Year did not change the soil's pH and CEC values. However, it affected EC, OM, total N, available P, NO_3^- and exchangeable P amounts.

Two-way and three-way interactions were also determined for the study. According to the analyses, "year x nitrogen" and "year x sludge" interactions were important only for changes in the nitrogen content of the soil and potassium content of the soil, respectively. Interactions for "nitrogen x sludge" and "year x nitrogen x sludge" had not statistically significant in terms of the soil parameters studied soil properties.

Key words: Waste treatment sludge, nitrogenous fertilizer, calcareous soil, soil properties

GİRİŞ

İnsanlar, tarih boyunca refah içinde yaşama ve genlerini sürdürme arzusunda olmuşlardır. Düşünme ve sosyal bir varlık olmaları da bu arzularına ulaşmalarını sağlamış ve sonuçta çevreye olan baskılarını artırmışlardır. Çevre sorunları bu baskıların sonucu olarak son yüz yıl içinde önce bölgesel karakterler

¹Bu makale Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu tarafından TOGTAG-2924 proje numarası ile desteklenmiş olan "Doktora Tez" çalışmasının bir kısmının özetidir

göstermekteyken 1970'li yıllardan bu yana küresel boyutlara ulaşmıştır. Küresel boyutlara ulaşan sorunlar içinde; ozon tabakası incelmesi ve iklim değişikliği, tropik ormanların yok edilmesi, toprak erozyonu ve taşkınlar, hava, su, toprak ve gıdalarda kirlenme, kentleşme, endüstrileşme ve istenmeyen son ürünü olan atıklar sıralanmaktadır.

Atıklar sonucu, kayıp ve kirlenme dünyada olduğu gibi ülkemizde de çok kısıtlı alıcı ortamlar olan; su ve toprak kaynaklarında önemli sorunlar oluşturmaktadır. Bu sorunların üstesinden gelmenin en akılcı yolu atık

üretmemektir. Bu mümkün olmadığında da atıkları arıtmak ve yeniden kullanmaktır. Bu kapsamda atık suların arıtımı artık tüm dünyada kaçınılmaz olmuştur. Atık sular; renk, görünüm, koku, çözülmüş ve askıdaki katı yada sıvı maddeler yönünden tehlikeli ve pis olarak nitelenmesine rağmen yine de % 99.9'dan fazlası sudur (Lester 1996).

Halen dünya nüfusunun üçte biri su sıkıntısı çekmektedir. Ülkemizde 2000 yılı verilerine göre toplam 234 km³ yenilenebilir suyumuz, yenilenebilir suların da toplam 110 milyar m³ lük su ise kullanılabilir durumda bulunmaktadır (Anonim 2000). Bu miktardaki su ve nüfusuna göre ülkemizin su zengini olmadığı da ortaya çıkmaktadır. Bu durumda dünyada olduğu gibi ülkemizde de atık suları arıtmak; küresel bir ödev, tarihsel bir görev, çevre kirliliği ve temel yaşam ihtiyaçları açısından da zorunluluk durumundadır.

Dünyada evsel atık suların 3000 yıldan fazla bir zamandır arıtıldığı (Akkad'lıların Eshnunna şehri) bilinmektedir. Türkiye'de bulunan Efes Antik şehri MÖ.700-600 yıllarında kanalizasyon ve arıtma sistemleri kullanılan şehirlerden olmuştur. Almanya'da yaklaşık 400 yıl öncesinde atık su tarlaları şeklinde araziye deşarj şeklinde arıtmalar başlamıştır. Avrupa'da, Pasteur ve Koch tarafından Mikrop Teorisi'nin geliştirilmesiyle 1800'lerin sonları ve 1900'lerin başında sanitasyon'un önemi anlaşılacak şekilde kanalizasyonların ardından atık suların da arıtılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Amerika'da ise ilk stabilizasyon havuzlu arıtma sistemi 1901'de yapılmıştır. Atık su arıtma sistemleri günümüze doğru; biyo-filtreler, oksidasyon hendekleri, aktif çamur sistemleri ve gelişmiş arıtma sistemleri şeklinde gelişim izleyerek kullanılabilmektedir.

Atık sularla ilgili ülkemizde en güncel veri olarak 2004 yılında DİE tarafından yayınlanan 2001 yılı belediye kanalizasyon istatistikleridir. Buna göre; 3215 belediyeden kanalizasyon şebekesi olan belediye sayısı 1879 olarak verilmiştir. Bu belediyelerin hizmet ettiği nüfus yüzdesi 75.3 ve kanalizasyon şebekelerinden deşarj edilen atık su miktarı 2.73 milyar m³ yıl⁻¹ olmuştur. Bu miktarın % 44'ü denizlere, % 40'ı akarsulara, % 5'i araziye, % 11'i de diğer baraj, göl, zertzemin ve fosseptiklere deşarj edilmiştir. Ülke genelinde toplam atık su arıtma tesisinden yararlanan nüfus yüzdesi ise % 16.8 olmuştur. Arıtma tesislerinin kapasite toplamı 2.35 milyar m³ yıl⁻¹ olmasına rağmen arıtılan atık su miktarı 1.2 milyar m³ yıl⁻¹ olmuştur (Anonim 2004a).

Türkiye'de İller Bankası tarafından desteklenmeye başlayan arıtma tesisleri 1980'li yıllarda yapılmaya başlanmış, Konya ve Şanlıurfa ilklerden olmuştur. Türkiye'de arıtma tiplerine göre toplam 112 arıtma tesisinden 65'i biyolojik arıtma (% 49), 44'ü fiziksel arıtma (derin deniz deşarjı ön arıtmaları dahil % 37.8) ve 3 adedi de gelişmiş arıtma (% 13.2) tesisidir (Anonim 2004a).

Atık suların arıtılmasıyla elde edilen arıtma çamurları tipik olarak organik karakterli (% 60 OM) olup, içinde % 3 azot, % 2 fosfor, % 0.5 potasyum gibi tarımda kullanılmakta olan besin maddelerini, bunlarla birlikte çoğu ağır metalleri, organik ve biyolojik kirleticileri ve parazitik organizma yumurtalarını içermektedirler (Arden 1977, Anonim 1996).

Arıtma çamurlarının özellikleri; arıtma şekline, ülkele-re, şehirlere, mevsimlere ve beslenme alışkanlıklarına göre de değişmektedir. Arıtma çamurlarının değişken bir yapı sergilemesi ekolojik döngüler açısından çoğunlukla bertarafını gerektirmektedir. Arıtma çamurları dünyada; düzenli depolama, yakma, denize boşaltma, araziye uygulama, tarım alanlarında kullanım gibi birçok şekilde bertaraf edilmektedir.

Türkiye'de arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanımı 1983 tarihli 2872 sayılı Çevre Kanununa istinaden çıkarılan "Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği" ile düzenlenmiştir. Bu yönetmelikteki temel kriterler arıtma çamuru ve uygulanacağı toprakların ağır metal kapsamı, topraklardaki zirai mücadele ilaç kalıntıları ile bazı organik ve inorganik kirleticilerin sınır değerlerini kapsamaktadır. Yönetmelikte sayılan maddelerden pek çoğu toksik karakterli ya da kanserojendir. Bu maddeler toprakta ve yetiştirilen bitki konsantrasyonlarında izlenerek, değişimlerin besin zincirine katılımları doğrudan ya da dolaylı anlaşılabilir. Ülkemizde de arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanımı konusunda çok dikkatli olunması; hangi tip çamur atığının, hangi toprağa, ne kadar, ne şekilde ve hangi kriterlere göre verileceği sorularına bilimsel yanıtların bulunması gerekmektedir.

Bu çalışma; alanındaki bilgi birikimine katkı sağlama, arıtma tesisleri etki bölgesindeki arıtma çamuru kullanan çiftçilerin bilinçlendirilmesi, ilgili kuruluşların yararlanması konularında yararlı olacağı ve ülkemiz arıtma çamurlarının tarımda kullanımı kapsamında veritabanına bir katkı oluşturabileceği düşünülmüş yapılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Denemede materyal olarak; Ankara Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi (AMAAT) arıtma çamuru, azotlu ticari bir gübre (Üre, % 46 N) ve test bitkisi olarak da "Tokak" çeşidi iki sıralı arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkisi kullanılmıştır.

Deneme arazisi, Ankara'nın 45 km kuzey batısında, Ankara ili Sincan ilçesi Tatlar köyü arazi sınırları içinde kalmaktadır. Zir vadisi ile Kesiktaş ovalarının devamı niteliğindedir ve denizden yüksekliği 758 m'dir. Deneme alanı toprağı Soil Survey Staff (Anonim 1993)'a göre incelenmiş ve "Typic Xerofluvent" alt grubuna yerleştirilmiştir.

Araştırmada kullanılan çamurun üretildiği bu tesisin (AMAAT) hizmet ettiği nüfus, Ankara ili belediye nüfusunun % 96.1'i oranındadır. Toplam 287 milyon m³ yıl⁻¹ olan atık su arıtma tesis kapasitesine sahip tesiste 182.4 milyon m³ yıl⁻¹ atık su biyolojik olarak arıtılmaktadır (Anonim 2004b).

AMAAT'm tasarım yılı 2025 olarak (ekonomik ömrü) planlanmıştır. Tesislerde evsel ve endüstriyel atıklar için; "Yüzeysel Havalandırılmalı Tam Karıştırılmalı Klasik Aktif Çamur Sistemi" ile karbon bazlı arıtma uygulaması halen yapılmakta ve gelecekte ise azot ve fosforun da giderimi planlanmış durumdadır. Ankara atık su arıtma tesisi 1 Ağustos 1997 tarihinde işletmeye açılmıştır (Dündar 2002).

Araştırmada "Tokak 157/37" iki sıralı arpa (*Hordeum vulgare conv. distichon*) çeşidi, T.C. Tarım Bakanlığı Malya Devlet Üretim Çiftliği tarafından üretilen "Sertifikalı" tohumluktan temin edilmiş ve test bitkisi olarak kullanılmıştır.

Bölgenin uzun yıllar meteorolojik verilerine göre deneme alanı nemlilik indeksine ($374.7/11.2=33.45$) göre yarı kurak iklime sahiptir (Türkeş 1998). Bölgenin yıllık ortalama yağış miktarı ise 374.7 mm'dir (Anonim 2004c).

Tarla denemesinin kurulması ve yürütülmesi

Tarla denemesi AMAAT alanı içerisinde, tesadüf parselleri deneme deseninde 3 tekerrürlü ve iki yıl tekrarlamalı çakılı tarla denemesi şeklinde kurulmuştur. Denemede arıtma çamurunun 6 dozu (0, 300, 600, 1200, 2400, 4800 kg da⁻¹) ile üre gübresinin 4 dozu (0, 3, 6, 9 kg da⁻¹) uygulanarak test bitkisinin verimi, ağır metal içerikleri ve bazı toprak özelliklerine etkileri faktöriyel olarak araştırılmıştır.

Denemede toplam 72 (6 x 4 x 3) parsel mevcut olup, her bir parsel büyüklüğü 13.5 m² (5 m x 2.70 m)'dir. Parseller arası açıklık 1.5 m ve bloklar arası açıklıklar ise 3 m olup, deneme yaklaşık 2200 m²'lik homojen bir alan üzerinde tesis edilmiştir.

Deneme kurulmadan önce, arazi 20 cm'lik pulluk derinliğinde işlenmiş, kazayağı ile mevcut doğal kesekler küçültülmüş ve ekim amaçlı yüzey tesviyesi yapılmıştır. Deneme planına göre yapılan parselleme sonunda arıtma çamurları, parsellere 0.1 kg'a hassas topuzlu kantarla kuru ağırlık üzerinden tartılarak dozlarına göre yaş olarak el ile uygulanmıştır. Parsellere dökülen çamurlar parsel yüzeyine homojen olarak dağıtılmış ve bahçe tipi motorlu çapa makinesiyle çapalanarak toprağa 12-15 cm karışması sağlanmıştır. Kimyasal azotlu gübre olarak % 46 N içeren üre gübresi (TS 4837), hassas terazide dozlarına göre tartılarak önceden hazırlanmış ve ilk yarısı ekim aşamasında yine el ile uygulanmıştır. Azotun ikinci uygulaması ise, ekim işlemi takip eden Nisan ayının ilk haftasında kardeşlenme döneminde yapılmıştır.

Arıtma çamurlarının topraklara uygulanması ve karıştırılmasından sonra ekim gerçekleştirilmiştir. Ekim işlemi sırasında bitkinin ihtiyaç duyduğu P ihtiyacını karşılamak amacıyla taban gübresi olarak 6 kg da⁻¹ P₂O₅, % 42-44 P₂O₅ içeren Triple Süper Fosfat (TS 566) gübresi uygulanmıştır. Ekim işlemi ayarlanabilen, standart miktarda tohum ve gübre atabilen ekim makinesi ile metrekarede 500 adet tohum (± 30) veya 24 kg da⁻¹ tohum olacak şekilde yapılmıştır.

Ekim standart ekim derinliğinde (4-6 cm) ve 15 cm sıra aralığında yapılmıştır.

Bitkilerin ekimden başlayarak hasat olgunluğuna kadar gelişimleri izlenmiştir. Bitki gelişimleri süresince pestisit kullanılmamış ve hasat olgunluğuna gelen bitkiler Temmuz ayının ikinci haftasında hasat edilmiştir. Hasat tarla denemelerindeki hasatlar için özel olarak üretilmiş parsel biçerdöveri HEGE (Alman patentli hasat harman makinesi) ile yapılmıştır. Aynı alanda çakılı olarak yürütülen denemenin ikinci yılın da birinci yıldaki işlemler aynen tekrar edilmiştir.

Toprak ve arıtma çamuru analizleri ve analiz verilerinin elde edilmesi

Deneme alanından, toprakları yatay ve dikey olarak temsil edecek şekilde çelik numune küreği ile tesadüfen alınan örnekler; polietilen kovada homojen hale getirilerek etiketlenip torbalanmış ve laboratuvara nakledilmiştir. Denemede kullanılan arıtma çamuru ise susuzlaştırma ünitesi bant çıkışından gün kompoziti olarak örneklenmiş, etiketlenmiş ve polietilen torbalarla laboratuvara nakledilmiştir. Deneme alanından denemenin birinci ve ikinci yılı hasadı sonrası (Temmuz; 2002-2003) parsellerin her birinden parsel kompoziti olacak şekilde, parsellerin üç yerinden 0-20 cm derinlikten çelik kürekle alınan toprak numuneleri etiketlenerek polietilen torbalarla laboratuvara ayrıca nakledilmişlerdir.

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü laboratuvarına taşınan örnekler, toprak hazırlama odası ahşap kurutma dolaplarında temiz etiketli kurutma kâğıtları üzerine serilerek bitki artıkları ve taşlar ayıklanmış ve gölgede kurumaya bırakılmıştır. Böylece hava kurusu hale getirilmiş örnekler temiz tahta tokmak ve tablalar yardımıyla ezilerek 2 mm'lik plastik elekten geçirilmiş ve analizlerde kullanılmak üzere etiketlenmiş polietilen torbalara konularak kaldırılmıştır. Laboratuvara nakledilen çamur örneklerinde hemen yapılması gereken analizler için ayrılan kısım dışındaki örnekler toprak örneklerindeki analize hazırlama aşamalarından geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir. Toprakta ve arıtma çamurlarında yapılan tüm temel toprak özellikleri analizleri Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü A ve B Blok laboratuvarlarında yapılmıştır. Toprak ve arıtma çamurlarına yönelik analizler ve ilgili metotlar Tablo 1'de sunulmuştur.

İstatistik Analizler

Araştırma sonuçları, üzerinde durulan özellikler bakımından, tekrarlanan ölçümlü (repeated measurement) varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Denemede ki faktörlerden yıl faktörünün iki seviyesi, arıtma çamuru faktörünün altı seviyesi (Ç₀, Ç₁, Ç₂, Ç₃, Ç₄, Ç₅), azot faktörünün ise dört seviyesi (N₀, N₁, N₂, N₃) bulunmaktadır. Tekrarlanan ölçümler yıl faktörünün seviyelerinde yapılmış ve üçer tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Esas etkilerin karşılaştırılmalarında ve İkili üçlü interaksyonların önemli olduğu durumlarda alt grup ortalamalarının karşılaştırılmalarında

“Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi” kullanılmıştır. Düzgüneş ve ark. (1987) ile Gürbüz ve ark. (2003)’den yararlanılmıştır.

Tablo 1. Denemede Yapılan Analizler ve Kullanılan Metotlar

Özellik-Analiz	Açıklama	Metotlar
Toprak reaksiyonu (pH)	Toprakta 1:2.5, arıtma çamurunda 1:5 oranlarında saf su ile çalkalanan ortamda cam elektrotlu pH-metre ile	Jackson (1958)
Toprak tuzluluğu (EC ₂₅ , dS m ⁻¹)	Toprakta 1:2.5, arıtma çamurunda 1: 5 oranlarında saf su ile çalkalanan ortamda EC-metre ile	Richards (1954)
Toprak organik maddesi (OM, %)	Yaş yakılmış örneklerde organik C miktarı bulunarak OM’ye çevrilmiştir.	Jackson (1962)
Katyon Değişim Kapasitesi (Cmol kg ⁻¹)	Sodyum asetat (pH 8.2) ile doyurulan topraktan Amonyum asetat (pH 7) ile geri alınan Na’un Alevli Fotometrede ölçülmesi şeklinde belirlenmiştir.	Jackson (1958), Chapman (1965)
Toprakta NO ₃ ⁻ ve NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	Taze toprak örneklerinden 2 M KCl ile çalkalanıp süzülen örneklerin destilasyonu ve titrasyonu ile	Bremner (1965b)
Toprakta toplam N (%)	Salisilik-Sülfirik asit karışımıyla yaş yakma sonrası borik asit-indikatör karışımına damıtılan örneklerde titrasyonla.	Bremner (1965a)
Toprakta bitkiye yararışlı P (mg kg ⁻¹)	0.5 M NaHCO ₃ (pH 8.5) ile ekstrakte edilen P spektrofotometrik olarak belirlenmiştir.	Olsen ve ark. (1954)
Toprakta bitkiye yararışlı K (mg kg ⁻¹)	1 N Amonyum asetat ile ekstrakte alınan K fleymfotometrik olarak belirlenmiştir.	Carson (1980)
Toprak Tekstürü (% Kum, Silt, Kil)	Organik maddesi ve kireci giderilen örneklerde hidrometre yardımı ile yapılmıştır.	Bouyoucos (1951)

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deneme Materyallerinin Bazı Temel Özellikleri

Deneme toprağı hafif alkalın karakterli, tuzsuz, toplam azotça yeterli, alınabilir potasyum çok fazla, alınabilir fosfor orta, organik madde az, amonyum ve nitrat içeriğı ise yüksek (Alganatay 1968, Anonim 1990, Eyüpoğlu 1999) seviyelerdedir. Deneme toprağıının KDK değerleri ise önceki çalışmalara (Munsuz ve Bulur 1984, Keskin ve

Yüksel 1998) paralel deęerlerde ve orta derecede bulunmuştur. Toprak bünyesi ise silt-kildir (Tablo 2).

Denemede kullanılan arıtma çamuru, organik maddece zengin, nötr pH’da ve KDK değeri ise deneme toprağıına göre oldukça yüksektir. Avrupa ülkelerindeki 209 farklı çamurdan elde edilen verilerle kıyaslandığında, AMAAT çamurunun toplam azotu ve amonyum miktarı düşük, nitrat azotu, alınabilir potasyum ve fosfor içeriğı yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 2).

Tablo 2. Deneme Toprağı ve Arıtma Çamurunun Bazı Özellikleri

Özellik	Toprak*	Arıtma Çamuru	
		2002	2003
pH**	8.18	7.02	7.02
EC** (dS m ⁻¹)	1.11	2.55	2.75
OM (%)	0.93	36.39	35.68
N (%)	0.13	3.25	3.43
Alınabilir P (mg kg ⁻¹)	12	174.65	175.13
Alınabilir K (mg kg ⁻¹)	1178.13	7647.15	6879.28
KDK (cmol kg ⁻¹)	27.20	59.65	60.27
CaCO ₃ (%)	17.17	8.12	8.26
Kil (%) Ap horizonu	47.2	--	--
Silt (%) Ap horizonu	40.2	--	--
Kum (%) Ap horizonu	12.6	--	--

* Toprak etüdü ve sınıflaması için yapılan Ap horizonu örneklerine aittir

** Saturasyon ekstraktında ölçülmüřtür.

Uygulamaların Toprak Özelliklerine Etkisi

Analiz sonuçlarına göre yıl, azotlu gübre ve arıtma çamuru uygulamaları, deneme toprağıının birçok özelliklerinde değişim göstermiştir. Bu değişimlerden istatistik açıdan önemli olanlar aşağıda yıldız (*) şeklinde görülmektedir, (-) ile işaretli olanlar ise istatistik olarak önemsiz olmuştur (Tablo 3).

Denemede esas etkilerin (yıl, azot, çamur) her biri kendi içinde ve dozlar bazında ayrı olarak incelenmesi yanında, ikili ve üçlü karşılaştırmaları şeklinde birlikte etkileri de istatistiksel olarak Duncan Çoklu Karşıla-

tırma Testi ile incelenmiştir. İkili (azot x çamur, azot x yıl, çamur x yıl) ve üçlü (azot x yıl x çamur) etkileşim (interaksiyon) durumlarındaki varyans analizleri incelendiğinde, özelliklerdeki değişimlerin interaksiyonlu durumlarda istatistiksel önemliliklerinin azaldığı ilk bakışta görülmektedir.

Denemenin yıl faktörü, tekrarlanan ölçüm olarak iki yıllık gözlem ve analizlerden elde edilmiştir. Yıl açısından yıllar arasında farkın büyük olması, yıl sayısının az (2) olması ve yıllar arasında yağış miktarının farklılığından kaynaklanabileceğı düşünölmektedir

(Madanoğlu 1977, Aküzüm ve Kodal 1988, Kaydan 2003).

Tablo 3. Arıtma Çamuru, Azotlu Gübre ve Yıl Uygulamalarının Toprak Özelliklerine Etkisinin İstatistiksel Olarak Değerlendirmesi

Özellikler	Yıl	Azot	Çamur	Yıl x Azot	Yıl x Çamur	Azot x Çamur	Yıl x Azot x Çamur
pH	-	-	**	-	-	-	-
EC	**	-	**	-	-	-	-
OM	**	-	**	-	-	-	-
N	**	**	**	*	-	-	-
P	**	-	**	-	**	-	-
K	*	-	**	-	-	-	-
KDK	-	-	**	-	-	-	-
NH ₄	-	-	-	-	-	-	-
NO ₃	**	-	**	-	-	-	-

*: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

Uygulamaların toprak reksiyonu (pH) üzerine etkisi

Yapılan varyans analiz sonuçlarına göre toprak pH'sındaki değişimlerde; uygulamalar arası etkileşimlerin önemli olmadığı, sadece çamur uygulaması so-

nucu elde edilen verilerin önemli olduğu görülmüştür (Tablo 4). Toprak pH'sındaki değişimler, azot uygulamaları ve yıllar arasındaki varyansa (farka) göre önemsiz bulunmuştur.

Tablo 4. Arıtma Çamuru Uygulamalarının Toprak Özelliklerine Etkileri *

Çamur Uyg.	pH		EC (dS m ⁻¹)		OM (%)		KDK (cmol kg ⁻¹)		Toplam N (%)		K ⁺ (mg kg ⁻¹)		NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	
Ç0	7.96	A	1.25	D	1.05	C	27.22	D	0.149	B	1.34	B	96.49	B
Ç1	7.96	A	1.31	D	1.05	CD	28.29	CD	0.151	B	1.35	B	96.85	B
Ç2	7.94	A	1.35	D	1.15	BC	28.85	C	0.145	AB	1.37	B	92.33	B
Ç3	7.91	A	1.73	C	1.39	B	30.20	AB	0.163	AB	1.39	B	113.19	AB
Ç4	7.90	A	2.02	B	1.54	AB	31.11	A	0.166	A	1.42	B	110.82	AB
Ç5	7.82	B	2.62	A	1.66	A	32.03	A	0.185	A	1.59	A	126.14	A
LSD _{0.010}	0.07787		0.2142		0.1341		1.035		0.0249		0.1643		20.20	

*: Aynı harfi taşıyan uygulamalar arasında fark yoktur.

Arıtma çamuru uygulanmış topraklarda ağır metallerin biyo-alınabilirliğinin kontrolünde pH en etkili toprak parametresidir (Alloway ve Jackson, 1991). Arıtma çamurları uygulanan yüksek pH'lı topraklarda bitkiler tarafından metallerin biyoalınabilirliğinin azaldığı belirtilmiştir (Jackson ve Alloway, 1991). Arıtma çamurunun artan dozlarının toprak pH'sında meydana getirdiği asitleşme eğiliminin nedenleri olarak; arıtma çamuru gibi organik materyallerin topraklara uygulanması sonucu bu materyallerin parçalanma ve ayrışması ile açığa çıkan organik asitler, arıtma çamurlarının kapsadığı yüksek organik madde ve besin elementlerinin toprak ortamında biyolojik aktiviteyi artırması sonucu üretilen CO₂'in sulu ortamda karbonik asit oluşturması, mikroflora tarafından gerek organik ve gerekse inorganik asitlerin üretilmesi gibi prosesler söylenebilir. Benzer şekilde; Alloway ve Jackson (1991), Basta ve Tabatabai (1992), tarafından

Tablo 5. Uygulamaların Yıllara Göre Toprak Özelliklerine Etkileri

Yıllar	EC (dS m ⁻¹)		OM (%)		Alınabilir K (%)		NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	
I. Yıl	1.57	B	1.27	B	1.292	B	96.52	B
II. Yıl	1.89	A	1.34	A	1.376	A	115.42	A
LSD _{0.010}	0.1196		0.06162		0.0793		12.82	

Arıtma çamuru ve parçalanma ürünlerinin toprak pH'sını azaltarak toprak ortamındaki iyonların çözünürlüklerine de etki edebileceği ve tuzluluğun toprakta temel yapı taşı olarak bilinen agregatları parçalayıcı etkisi (dispers etki) göz önüne alınması gereken çok önemli bir konudur (Arcak ve ark. 2000, Garcia ve

Arcaç 2000, Hernandez 1996, Mena ve ark., 2003). Bu türlü etkiler toprak mikrobiyal aktivitesini de olumsuz etkilediği gibi arıtma çamurlarının biyolojik yollarla iyileştirilmesini de olumsuz etkileyebilmektedir (Lynch 1981). Tuzlulukla ilgili bir başka önemli konu ise topraktaki tuzluluğun artmasına, özellikle de Cl⁻'ün artışına bağlı

Uygulamaların toprağın elektriksel iletkenliği (EC) üzerine etkisi

Toprak EC'sinin çamur uygulamaları ve uygulama yıllarına göre değişimleri önemli farklar göstermiştir (Tablo 4).

Toprak EC'sindeki artış; tuz içeriği daha yüksek (2.55-2.75 dS m⁻¹) arıtma çamurunu yoğun olarak topraklara uygulamanın doğal bir sonucu olarak düşünülebilir (Arcak ve ark., 2000). Arıtma çamuru iki yıl uygulamaya rağmen, yıllara göre de toprakların tuzluluk kapsamının artması bunun bir göstergesi olarak sayılabilir (Tablo 5).

Hernandez 1996, Mena ve ark., 2003). Bu türlü etkiler toprak mikrobiyal aktivitesini de olumsuz etkilediği gibi arıtma çamurlarının biyolojik yollarla iyileştirilmesini de olumsuz etkileyebilmektedir (Lynch 1981). Tuzlulukla ilgili bir başka önemli konu ise topraktaki tuzluluğun artmasına, özellikle de Cl⁻'ün artışına bağlı

olarak bitkilerce kaldırılan Cd miktarlarında artışlara da neden olmaktadır (Mc Laughlin ve ark. 1996, Norvell ve ark. 2000, Wu ve ark. 2003, Özkutlu 2004).

Uygulamaların toprak organik madde kapsamına etkisi

Araştırma sonuçlarına göre, toprak organik maddeindeki interaksiyonlu değişimlerin önemli olmadığı, yalnızca yıllar ve çamur uygulamalarından kaynaklanan farkın $p < 0.01$ derecesinde önemli olduğu görülmektedir. Çamur ve azot uygulamalarının yıl faktörüne göre toprak organik maddesine etkisi $p < 0.01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 4-5).

Aritma çamuru uygulanmış toprakların organik madde miktarları % 1.05 (C_0 ve C_1)-1.66 (C_5) arasında olup, artan çamur dozlarına bağlı olarak artış göstermiştir. Aritma çamurunun kontrol (C_0), C_1 ve C_2 düzeyleri ile C_3 , C_4 , C_5 düzeyleri arasında ve C_3 düzeyi ile C_4 ve C_5 düzeyleri arasında $p < 0,01$ derecesinde farklılık bulunmuştur (Tablo 4).

Toprak organik maddesi tüm topraklarda ağır metaller için çok önemli bağlayıcı bir ortamdır (Jackson ve Alloway 1991). King ve Dunlop (1982), arıtma çamurundaki ağır metallerin biyoalınabilirliğinin kontrolünde organik maddenin, pH'nın yerine kullanılabilir bir özellik olduğunu ve arıtma çamurlarının düşük pH içeren organik topraklara da ilave edilebileceğini belirtmişlerdir. Toprakta çamurun mikrobiyal parçalanması sırasında ortaya çıkan çözünebilir düşük molekül ağırlıklı organik moleküller ağır metallerle çözünebilir kompleksler oluştururlar. Bu kompleksler serbest metal iyonlarından çok daha hareketli (mobil), daha az bağlanabilir ve bitkiler tarafından daha fazla alınabilir durumdadırlar (Jackson ve Alloway 1991).

Fletcher ve Beckett (1987), arıtma çamurlarındaki organik maddenin 2 grup değişebilir bölgeye sahip olduğunu, bunlardan birinci grubun Ca, Mg, Zn, Ni, Co, Mn, Cd, Pb ve Fe'e bağlı, diğer grubun ise sadece Cu, Pb ve H'e bağlanmış olduğunu belirtmişlerdir.

İnsan besin zincirine ağır metal taşınımının arıtma çamuru uygulamalarının sonucu olduğu, özellikle Cd'un insan sağlığına önemli risk oluşturabileceği belirtilen araştırmada, bitki Cd alımının öncelikle topraklardaki toplam Cd miktarına bağlı olduğu (Jackson ve Alloway 1991), bunun yanı sıra toprak sıcaklığı, Cl tuzu miktarı (Bingham ve ark. 1983), pH (McClellan 1976), organik madde (Nan ve ark. 2002) ve kalsiyum (Mc Clean, 1976) konsantrasyonlarının da etkili olduğu belirtilmektedir.

Uygulamaların toprakta toplam azot kapsamına etkisi

Toprak azotuyla ilgili varyans analiz tablosuna göre, çamur uygulaması ile "azot x yıl" interaksiyonlarında $p < 0.01$ derecesinde fark görülmüştür (Tablo 4, 6).

Toprak toplam azotundaki değişimlerin, "azot x yıl" interaksiyonunda önemli çıkması sonucu ayrıca Duncan testi yapılmış, azot uygulamalarının kendi grupları içinde dozlara ve yıllara göre değişimleri Tablo 6'da verilmiştir.

Toprakta toplam azot değerleri kontrole göre birinci yılda artmış ancak bu artışın önemli olmadığı görülmüştür. İkinci yılda uygulanan azot seviyelerine göre topraklarda toplam azot kapsamlarında yine artışlar olmuş ve bu artışlar önemli bulunmuştur. İkinci yıl toprakta toplam azot kapsamlarında N_0 , N_1 ve N_2 uygulamaları arasında farklılık görülmemiş, N_3 uygulaması ile diğer N uygulamaları arasında farklılık görülmüştür (Tablo 6).

Tablo 6. Azotlu gübre uygulamalarının toprak özelliklerine etkileri*

Yıllar	N0		N1		N2		N3	
I. Yıl	0.13	A b	0.14	A b	0.14	A b	0.15	a
II.Yıl	0.16	B	0.17	AB	0.17	AB	0.19	

LSD_{0,010} : 0.02119 (yıl), 0.02092 (azot)

*Büyük harfler yıllar, küçük harfler ise azot uygulamaları arasındaki farkı ifade etmektedir.

Aritma çamuru uygulamalarının ağır metallerin yanı sıra topraktaki makro besin maddelerini de (N, P, K gibi) artırdığına yönelik çok sayıda araştırma bulunmaktadır (Utsching ve ark. 1986, Menelik ve ark. 1991, Moreno ve ark. 1997, Arcaç ve ark. 2000, Korbulewsky ve ark. 2002, Bilgin ve ark., 2002).

Uygulamaların toprakta alınabilir fosfor kapsamına etkisi

Topraktaki alınabilir fosfor ile ilgili verilere göre; çamur miktarı ve yıllara göre değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür. Uygulanan arıtma çamurunun tüm dozları yıllar bakımından farklı olmuştur ve ikinci yıl toprakların alınabilir fosfor miktarları tüm çamur dozlarında birinci yıldan farklı ve yüksek bulunmuştur (Tablo 7).

Hernandez ve ark. (1991), artan dozlarda arıtma çamuru uygulamasının toprakta (İspanya kireçli toprakları) alınabilir fosforu artırdığını belirtmiş, bu artışın, toprak ve çamur kapsamında fosforun bir kısmının humifikasyon periyodu boyunca mineralizasyona bağlı olarak alınabilir forma dönüşmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir.

Toprakların alınabilir P kapsamına arıtma çamurunun katkısı konusunda önceki çalışmalarda, çamurun doğrudan içerdiği P miktara bağlı artış etkisi yanında özellikle ortam pH'sını düşürmekle yarayışlılığının da artırabileceği belirtilmektedir (O'Riordan ve ark., 1987, Korbulewsky ve ark. 2002).

Uygulamaların toprakta değişebilir potasyum kapsamına etkisi

Topraktaki değişebilir potasyuma çamurun ve yılların etkisi önemli olmuştur. Toprakta değişebilir K değişiminin nedeni olarak; çamur uygulamalarının yıllar içinde birikim etkisi ve toprak pH'sındaki azalma eğilimine dayalı toprak çözültüsünün asitleşmesi söylenebilir.

Çamurun artışına bağlı olarak toprakta değişebilir K miktarını artırdığını belirten araştırmalar (O'Riordan ve ark., 1987) bulunmakla birlikte bu etkinin önemsiz olduğunu belirten araştırmacılar da vardır (Lopez-Mosquera ve ark. 2000, Bozkurt ve ark.

Tablo 7. Arıtma Çamurunun Yıllara Göre Toprak Fosforu Üzerine Etkileri *

Çamur uyg.	I. Yıl		II. Yıl	
	P (mg kg ⁻¹)		P (mg kg ⁻¹)	
Ç0	10.39	A	16.50	B
Ç1	10.74	A	17.36	B
Ç2	11.44	A	15.74	B
Ç3	11.53	A	18.10	B
Ç4	13.03	A	19.32	B
Ç5	13.76		31.09	

LSD_{0,010} : 3.584 (yıl). 3.505 (çamur)

*Büyük harfler yıllar, küçük harfler ise çamur uygulamaları arasındaki farkı ifade etmektedir.

Uygulamaların toprakta katyon değişim kapasitesine etkisi

Toprağın katyon değişim kapasitesine sadece çamur uygulamasının önemli etkisi olduğu saptanmış, azot uygulaması ve yıl faktörünün etkisi ise önemsiz olmuştur (Tablo 4). Toprağın katyon değişim kapasitesi, çamur uygulamalarının kontrolden itibaren artış miktarına bağlı olarak farklı düzeylerde etkilenmiştir. Bu fark; artan çamur dozlarına göre KDK değerinde de artma şeklinde olmuştur (Tablo 4).

Toprağın KDK özelliğinin topraktaki kil tipi ve miktarına, organik madde miktarı ve karakterine ve diğer iyonların dağılımı ve miktarına bağlı olduğu bilinmektedir (Rhoades, 1982). KDK topraklarda besin elementlerinin bitkiler tarafından alınımı yanında toksik karakterli elementlerin alınımı açısından da önemli bir toprak özelliğidir (O'Riordan ve ark. 1987, Dudka ve Miller 1999, Kabata-Pendias, 2001).

Arıtma çamurları uygulaması ile toprağa organik madde katkısı olduğundan, bu durumun KDK değerindeki artışın nedeni olduğu birçok araştırmacı (Anonim, 1983, Alloway ve Jackson 1991, Taşatar 1997, Arca ve ark. 2000) tarafından belirtilmiştir. Bununla beraber, toprakta çamura bağlı KDK artışının uzun dönemde toprak verimliliği veya çevre kirliliği yönlerinden yararları veya zararlarına yönelik doğrudan bir bilgiye rastlanmamıştır.

Uygulamaların toprağın NH₄⁺ ve NO₃⁻ azotu kapsamına etkisi

Bu çalışmada arıtma çamuru ve azotlu gübre uygulamalarının ya da uygulamalar arası etkileşimlerin toprak NH₄⁺ azotu konsantrasyonlarındaki değişime etkisinin istatistiksel olarak önemli etkisi olmadığı görülmüştür. Buna rağmen topraktaki

2000, Korbulewsky ve ark. 2002). Bu çalışmada ise yüksek dozlardaki çamur uygulamaları ile değişebilir K seviyelerinde artış az miktarlarda olmuştur. Türkiye topraklarının yarıyıllık K kapsamı oldukça yüksek değerler göstermektedir. Topraklarımızın % 90'dan fazlası potasyumca yeterli durumdadır (Eyüpoğlu 1999). Arıtma çamurunun yüksek dozlarda uygulanması halinde ülkemiz tarım toprakları açısından bunun ne kadar olumlu ya da olumsuz etki yaratabileceği uzun vadeli araştırmalarla ortaya konulmamıştır.

NO₃-N'ü değişimi; çamurun Ç₅ düzeyi ile diğer düzeyleri arasında önemli olmuş, diğer grupların kendi aralarındaki farklar da önemsiz çıkmıştır (Tablo 4). Nitrat azotundaki değişim yıllara göre de önemli görülmüştür (Tablo 5).

Arıtma çamurlarında NH₄-N miktarları, genelde 120-67600 mg kg⁻¹ (ağırlıklı ortalaması 9400 mg kg⁻¹) olurken NO₃-N'ü 2-4900 mg kg⁻¹ (ağırlıklı ortalaması 520 mg kg⁻¹) olmaktadır (Sommers 1977). AMAAT çamurundaki NH₄-N'ü 2933-3089 mg kg⁻¹ ve NO₃-N'ü ise 245-312 mg kg⁻¹ arasında olmuştur. AMAAT çamurundaki toplam N içindeki amonyum ve nitrat miktarları arıtma çamurları genel ortalamasına göre oldukça düşük seviyelerdedir. Arıtma çamurlarında özellikle anaerobik arıtılan çamurların toprakta azot mineralizasyonu ilk yıllarda % 10-20 olarak gerçekleşirken, daha sonraki yıllarda bu oran daha da düşmektedir (Anonim 1994). Toprakta nitrat konusu, Avrupa Birliği Nitrat Yasasıyla birlikte çok önemli duruma gelmiştir. Nitrat; besin maddesi olarak değeri (Sommers 1977, O'Riordan ve ark., 1987) yanında özellikle fazla hareketliliği nedeniyle potansiyel kirlenici olarak önem kazanmıştır (Hernandez ve ark.2002). Organik azotun mineralizasyonu kompleks bir dizi olaylar (toprak tipi, toprak pH'sı, toprak sıcaklığı, toprak organik maddesi, toprak nemi ve uygulanan çamurun miktar ve karakterine bağlı olaylar) sonucunda ve bu olayların etki derecesinde olmaktadır (Epstein ve ark. 1978, Anonim 1983, Sims 1990). Uygulamaların toprağın nitrat kapsamındaki değişimleri yıllarda tekrarlanan ölçüm olması nedeniyle çamur uygulamaları dozlarına ve organik azotun mineralizasyon durumuna bağlı olabileceği düşünülmüştür.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kireçli bir toprağa artan dozlarda uygulanan kentsel arıtma çamuru ve üre gübresinin toprağın pH, EC, KDK değerleri ile OM, toplam N, amonyum ve nitrat azotu, alınabilir P ve ekstrakte edilebilir K kapsamındaki değişimlere etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla yürütülen çalışmada; AMAAT atık çamuru ile kimyasal azotlu gübrenin farklı düzeyleri iki yıl süreyle tarla şartlarında faktöriyel olarak denenmiştir. Araştırma sonucunda elde edilen verilerin ışığında şu konulara değinmek ve tekrar dikkat çekmek yararlı olacaktır.

Kirliliğin ekolojik besin zincirindeki hareketi ve birikme değerlerini izleyebilmek açısından bunun gibi çakılı denemelerle diğer tarım ürünleri, toprak çeşitleri ve çamur tiplerine yönelik paralel çalışmalara ağırlık verilmelidir.

Yıllar arasında iklim farklılıkları olduğu sürece kısa süreli çalışmalarda bu tür değişimler ürün verimi gibi başka bir parametreye de yansiyabilmektedir. Araştırmalar uzun yıllar denendiği takdirde sağlıklı istatistik denklemleri elde edilebilir.

Analiz edilecek çamur örnekleri mutlaka çamuru temsil etmeli, anlık örneklemler veya günlük örneklemlerle karar verilmemelidir. Giderek yaygınlaşan atıksu arıtma tesisleri ve buna bağlı olarak artan arıtma çamurları bilimsel araştırmalara dayanmadan topraklara özellikle de tarım topraklarına verilmemelidir. Bu konudaki yönetmelikler bilimsel çalışmalara dayanarak ülke şartlarına göre düzenlenmelidir.

Araştırmalarda; başta tarım alanları olmak üzere ekolojik döngüye katılan arıtma çamurları güçlü adsorbsiyon kapasitesine sahip bir matris özelliği göstermesiyle toprağın özelliklerinde değişimlere neden olmaktadır. Bu nedenle yetiştirilen bitki örtüsü, arıtma çamurunun arıtılma şekli ve kompozisyonu, toprak ve iklim faktörleri gibi değişkenlerin çok olduğu ülkemizde denemelerin uzun süreli olması kısıtlı araştırma imkânlarına rağmen devam ettirilmelidir.

Avrupa Birliği müktesebatına göre ülkemizde kanalizasyonu olan ve olmayan tüm şehirlerimizde en kısa sürede kanalizasyon şebekesi kurulması ve arıtılması artık kaçınılmaz olmuştur. Bu duruma bağlı olarak ülkemizde arıtma çamuru üretiminde artışlar oldukça fazla olacaktır, bu gerçeği daha şimdiden göz ardı etmek mümkün değildir.

Bu kapsamda; halen üretilmekte olan atık çamurlar ve yakın gelecekte elde edilecek arıtma çamurlarının bertarafı sorunu daha da büyüyecektir. Toprakların özellikleri farklı ve kendine özgüdür. Özellikleri çok değişken olan bu iki materyal ile çalışmak oldukça güç olmasına rağmen, bilgi birikiminin çok az olması, sürdürülebilir bir çevre sağlanabilmesi ve Avrupa Birliği'ne uyum sağlanabilmesi için, bu konulardaki çalışmaların oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aküzüm, T. ve Kodal, S., 1988. Orta Anadolu koşullarında arpa veriminin meteorolojik faktörler yardımıyla tahmini. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları 1103, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler: 601, Ankara.
- Alganatay, N., 1968. Orta Anadolu kuzey bölgesi topraklarının fosfor durumu ve bu bölge topraklarında alınabilir fosfor miktarı tayininde kullanılacak metotlar üzerine bir araştırma (Doktora Tezi), A.Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Ankara.
- Alloway, B. J., ve Jackson, A. P., 1991. The behaviour of heavy metals in sewage sludge amended soils. The science of the total environment, 100; 151-176. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.
- Anonim, 1983. Land application of municipal sludge proces design manual, EPA-625/1-83-016, October 1983.
- Anonim, 1990. Micronutrient assesment at the country level: an international study. FAO Soils Bull. 63, Rome.
- Anonim, 1993. Soil survey manual, USDA Handbook No: 18, Washington D.C.
- Anonim, 1994. Land application of biosolids, process design manual. U.S. EPA, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio. Technomic Publishing Co. Inc. Pennsylvania 17604. USA.
- Anonim, 1996. The use of reclaimed water and sludge in food crop production. Environmental Protection Agency. National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C.
- Anonim, 2000. DPT VIII. 5 Yıllık Kalkınma Planı Su Havzaları Kullanımı ve Yönetimi Özel İhtisas Komisyon Raporu, Ankara.
- Anonim, 2004a. <http://www.die.gov.tr>, T.C. Devlet İstatistik Enstitüsü Veritabanı.
- Anonim, 2004b. Ankara Büyükşehir Belediye Başkanlığı, Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Daire Başkanlığı 29.7.2004 Tarih ve 1147/19 sayılı yazı eki, Ankara.
- Anonim, 2004c. <http://www.dmi.gov.tr>, T.C. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Veritabanı.
- Arcak, S., Türkmen, C., Karaca, A. ve Erdoğan, E., 2000. A study on potential agricultural use of sewage sludge of Ankara waste water treatment plant. International Symposium on Desertification (ISD), pp: 345-349, Konya.
- Arden, D. A., 1977. The agricultural use of sewage sludge in: R. C. Loehr (ed.). Land as a Waste Management Alternative. Springer Verlag. Berlin, pp: 583-603.
- Basta, N. T. ve Tabatabai, M. A., 1992. Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils. I. Single-metal adsorption. Soil Sci., 153(2): 108-114.

- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H. ve Üstün, H., 2002. Biyokatırların (Aritma Çamurlarının) Arazide Kullanımı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Bingham, F. T., Strong, J. E. ve Sposito, G., 1983. Influence of chloride salinity on cadmium by swiss chard. *Soil Science*, 135: 160-165.
- Bouyoucos, G. J., 1951. A recalibration of hydrometer for making mechanical analysis of soils. *Agr. Journal*, 43: 9.
- Bozkurt, M. A., Yılmaz, İ. ve Çimrin, K. M., 2000. Kent sel arıtma çamurunun kışık arpada azot kaynağı olarak kullanılması. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(1); 105-110.
- Bremner, J. M., 1965a. Total nitrogen. In: *Methods of Soil Analysis Part 2*; (C.A. Black, Ed). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 1145-1178.
- Bremner, J. M., 1965b. Inorganic forms of nitrogen. In: *Methods of Soil Analysis*. Black, C. A. American Soc. of Agron. Inc. Publ., Wisconsin, USA, 1197-1287.
- Carson, P. L., 1980. Recommended potassium test. p: 20-21. in: Kacar, B., 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III-Toprak Analizleri. A.Ü. Ziraat Fak. Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Yay., No: 3, Ankara.
- Chapman, H. D., 1965. *Methods of soil analysis, part 2. chemical microbiological properties*. Ed. C.A. Black., Amer. Soc. of Agron. Inc. Publ. Agron. Series no: 9, Madison, Wisconsin, USA.
- Dudka, S., ve Miller, W.P., 1999. Accumulation of potentially toxic elements in plants and their transfer to human food chain. *J. Environ. Sci. Health*, B 34(4); 681-708.
- Dündar, İ. V., 2002. Aktif çamur sistemlerindeki mikrobiyolojik sorunların tanımlanması ve bunların kinetik kontrolü. A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Düzgüneş, O., Kesici, T., Kavuncu, O. ve Gürbüz, F., 1987. Araştırma ve deneme metodları (istatistik metodlar II). A. Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları Ders Kitabı: 295, Ankara.
- Epstein, E., Keane, D. B. ve Meisinger, J. J., 1978. Mineralization of nitrogen from sewage sludge and sludge compost. *J. Environ. Qual.*, 7: 217-221.
- Eyüpoğlu, F., 1999. Türkiye topraklarının verimlilik durumu. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları, Genel Yayın No: 220, Teknik Yayın No: T-67, Ankara.
- Fletcher, P. ve Beckett, P. H. T., 1987. The chemistry of heavy metals in digested sludge II, heavy metal complexation with soluble organic matter. *Water Res.*, 21; 1163-1172.
- Garcia, C. ve Hernandez, T., 1996. Influence of salinity on the biological and biochemical activity of calcicorthid soil. *Plant Soil*, 178: 155-263.
- Gürbüz, F., Başpınar, E., Çamdeviren, H. ve Keskin, S., 2003. Tekrarlanan ölçümlü deneme düzenlerinin analizi. Van. 120s.
- Hernandez, T., Moreno, J. I. ve Costa, F., 1991. Influence of sewage sludge application on crop yields and heavy metal availability. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 37: 201-210.
- Hernandez, T., Moral, R., Perez-Espinosa, J., Moreno-Caselles, J., Perez-Murcia, M. D. ve Garcia, C., 2002. Nitrogen mineralisation potential in calcareous soils amended with sewage sludge. *Bioresource Technology*; 83, 213-219.
- Jackson, A. P., ve Alloway, B. J., 1991. The bioavailability of cadmium to lettuce and cabbage in soils previously treated with sewage sludges. *Plant and Soil*, 132; 179-186.
- Jackson, M., 1958. *Soil Chemical Analysis*. P.1-498. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Jackson, M. L., 1962. *Soil chemical analysis*. Prentice Hall Inc. Eng. Cliffs., U.S.A.
- Kabata-Pendias, A., 2001. Biogeochemical processes affecting soil-plant transfer of trace elements. In: *Proceedings of the 15th International Symposium on Environmental Biogeochemistry*. pp 149-150., Wrocław, Poland.
- Kaydan, D., 2003. Arpada ekim yöntemleri ve ekim sıklıklarının verim ve verim öğeleri üzerine etkileri (Doktora Tezi). A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Ankara.
- Keskin, S. ve Yüksel, M., 1998. Ankara zir vadisi ve yakın çevresinin arazi kullanım planlaması. M. Şefik Yeşilsoy International Symposium on Arid Region Soil. Menemen-İzmir.
- King, L.D., ve Dunlop, W.R., 1982. Application of sewage sludge to soils high in organic matter. *J. of Environmental Quality*, 11;608-616.
- Korbulewsky, N., Dupouyet, S. ve Bonin, G., 2002. Environmental risk of applying sewage sludge compost vineyards; carbon, heavy metal nitrogen and phosphorus accumulation. *J. Environ. Qual.* 31: 1522-1527.
- Lester J. N., 1996. Sewage and sewage sludge treatment., in: "Pollution: Causes Effects and Control" Third Ed., The Royal Society of Chemistry. Cornwall, UK.
- Lopez-Mosquera, M. E., Moiron, C. ve Carral, E., 2000. Use of dairy-industry sludge as fertilizer for grassland in Northwest Spain; heavy metal levels in the soil and plants. *Resource Conservation and Recycling*, 30; 95-109.

- Lynch, J.M., 1981. Promotion and inhibition of soil aggregate stabilization by micro-organisms. *J. Gen. Microbiol.*, 126: 317-375.
- Madanoğlu, K., 1977. Orta Anadolu koşullarında buğday su tüketimi (*yehtay* 406). T.C. Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı, Topraksu Genel Müdürlüğü, Merkez Topraksu Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları Genel Yayın No: 52, Rapor Yayın No: 19, Ankara.
- Mc Clean, A. J., 1976. Cadmium in different plant species and its availability in soils as influenced by organic matter and addition of lime P, Cd and Zn. *Can. J. Soil Sci.*, 56: 129-138.
- Mc Laughlin, M. J., Tiler, K.G., Naidu, R., ve Stevens, D.P., 1996. The behavior and impact of contaminants in fertilizers. *Aust. J. Soil. Res.*, 34: 1-54.
- Mena, E., Garrino, A., Hernandez, T., ve Garcia, C., 2003. Bioremediation of sewage sludge by composting. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, V; 34, Nos. 7/8, pp. 957-971.
- Menelik G., Renau, R. B., Martens, D. C. ve Simpson, T. W., 1991. Yield and elemental composition wheat grain as influenced by source and rate of nitrogen. *Journal of Plant Nutrition*, 14 (2): 205-217.
- Moreno, J. L., Garcia, C., Hernandez, T., Ayuso, M., 1997. Application of composted sewage sludge contaminated with heavy metals to an agricultural soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 43 (B), 565-570.
- Munsuz, N. ve Bulur, A., 1984. Ankara Çayı'nın bölge topraklarında yarattığı sorunların araştırılması. *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Ulusal Çevre Sempozyumu Tebliğ Metinleri*; 222-229. Adana.
- Nan, Z., Li, J., Zhang, J. ve Cheng, G., 2002. Cadmium and zinc interactions and their transfer in soil-crop system under actual field conditions. *The Science of the Total Environment*, 285: 187-195.
- Norvell, W. A., Wu, J., Hopkins, D. G., ve Welch R. M., 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate-extractable soil cadmium. *Soil Science Society of American J.*, 64(6): 2162-2168.
- O' Riordan, E. G., Dodd, V. A., Tunney, H. ve Fleming, G. A., 1987. The fertiliser nutrient value of activated sewage sludge under grassland field conditions. *Ir. J. Agric. Res.* 26: 213-229.
- Olsen, S. R., Cole, V., Watanabe, F. S., ve Dean, L. B., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dept. of Agr., 939 Washington, D.C.
- Özkutlu, F., 2004. Makarnalık buğdayda kadmiyum alımı ve birikimi üzerine tuzluluğun ve çinko beslenmesinin etkisi. *Çukurova Ü. Fen Bil. Enst., Toprak Anabilim Dalı*, Adana.
- Rhoades, J. D. 1982. Cation exchange capacity. In: *Methods of Soil Analysis Part 2*; (C.A. Black, Ed), American Society of Agronomy, Madison, Wis. pp.149-157.
- Richards, L. A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. USDA, Salinity Laboratory Agricultural Handbook, No: 60, pp: 110-118. Riverside.
- Sims, J.T., 1990. Nitrogen mineralization and elemental availability in soil amended with composed sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 19, 269-275.
- Sommers, L., 1977. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. *J. Environ. Qual.* 6:225-232.
- Taşatar, B., 1997. Endüstriyel nitelikli arıtma çamurlarının bazı toprak özellikleri üzerine etkileri. A.Ü. Fen Bil. Enst. Toprak Anabilim Dalı Doktora Tezi, Ankara.
- Türkeş, M., 1998. İklimsel değişebilirlik açısından Türkiye'de çölleşmeye eğilimli alanlar, DMİ/İTÜ II. Hidrometeoroloji Sempozyumu Bildiri Kitabı, 45-57, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ütsching, J. M., Barbarick, K. A., Westfall, D. G., Follett, R. H., ve Mc Bride, T. M., 1986. Evaluating crop response liquid sludge. Nitrogen-fertilizer. *Biocycle.*, 27(7): 30-33.
- Wu, F. B., Qian, Q., ve Yu, J., 2003. Interaction of cadmium and four microelements for uptake and translocation in different barley genotypes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34: 2021-2034.