

**ARITMA ÇAMURLARININ FİZİKSEL ve
KİMYASAL TOPRAK DÜZENLEYİCİSİ OLARAK
KULLANIMI**

İlker ANGIN

Doktora Tezi

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Prof. Dr. A. Vahap YAĞANOĞLU

2008

Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

ARITMA ÇAMURLARININ FİZİKSEL ve KİMYASAL TOPRAK
DÜZENLEYİCİSİ OLARAK KULLANIMI

İlker ANGIN

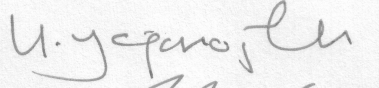
TARIMSAL YAPILAR ve SULAMA ANABİLİM DALI

ERZURUM
2008

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. A. Vahap YAĞANOĞLU danışmanlığında, İlker ANGIN tarafından hazırlanan bu çalışma 17/04/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

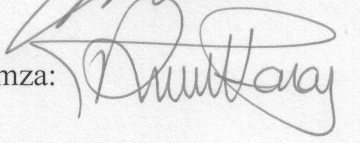
Başkan : Prof. Dr. A.Vahap YAĞANOĞLU

İmza: 

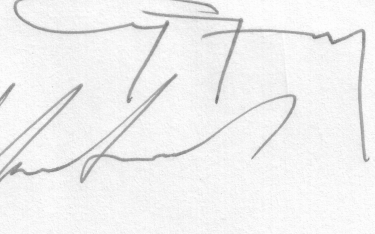
Üye : Prof. Dr. M. Ali TOKGÖZ

İmza: 

Üye : Prof. Dr. Abdurrahman HANAY

İmza: 

Üye : Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT

İmza: 

Üye : Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

İmza: 

Yukarıdaki sonucu onaylarım

....../....../2008

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL

ÖZET

Doktora Tezi

ARITMA ÇAMURLARININ FİZİKSEL ve KİMYASAL TOPRAK DÜZENLEYİCİSİ OLARAK KULLANIMI

İlker ANGIN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. A. Vahap YAĞANOĞLU

Bu araştırma, arıtma çamuru uygulamasının toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile arpa bitkisinin biyolojik ve tane verimine olan etkilerini incelemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırma, Iğdır il sınırları içerisinde yer alan ve birbirlerinden fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından farklılık gösteren; toprak işlemeli tarım yapılan, drenaj tesisi kurulmuş ve kısmen ıslah edilmiş üzerinde tarım yapılamayan tuzlu-alkali ve rüzgar erozyonuna maruz üç ayrı arazide yürütülmüştür.

Araştırmada anaerobik arıtma çamuru kullanılmıştır. Arıtma çamuru uygulama düzeyinin (Kontrol, 4, 8 ve 12 t/da) toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkilerini belirlemek amacıyla 2004 yılında uygulama yapılan arazilerden 2005 yılında arpa ekimi öncesi, 2006 ve 2007 yıllarında ise arpa hasadı sonrası bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Arıtma çamuru uygulanan bu arazilerde 2005, 2006 ve 2007 yıllarında arpa yetiştirilmiştir.

Çalışma sonucunda, toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri ve arpa bitkisi verimi açısından en uygun uygulama düzeyinin 12 t/da olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi ve toprak verimliliğinin sağlanması amacıyla kullanılacak olan arıtma çamurlarının önemli bir alternatif kaynağı olduğu ve çevre açısından olumlu katkılar sağlayacağı belirlenmiştir.

2008, 97 sayfa

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru, toprak fiziksel özellikleri, toprak kimyasal özellikleri, arpa verimi

ABSTRACT

PhD Thesis

APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE AS A SOIL PHYSICAL AND CHEMICAL AMENDMENT

Ilker ANGIN

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. A. Vahap YAĞANOĞLU

This study was carried out to determine the effects of sewage sludge application on some soil physical and chemical properties and yield of barley plant. Research was conducted in Iğdır Province of Turkey on 3 different territories, normal land, saline-sodic land and lands subjected to wind erosion, which differs from others by their physical and chemical properties.

Anaerobic sewage sludge was used in this study. To determine the effects of sewage sludge application on some soil physical and chemical properties, sewage sludge was added to the land in 2004 at the rates of control, 4, 8 and 12 t da⁻¹. Disturbed and undisturbed soil samples were taken in 2005 before barley harvest, and after barley harvest in 2006 and 2007. Barley was seeded to the soils to determine effects of sewage sludge on barley.

The most effective application ratio was found as 12 t da⁻¹. Results obtained have showed that sewage sludge is an alternative way to improve soil physical and chemical properties and productivity, as well as to protect environmental pollution.

2008, 97 pages

Keywords: Sewage sludge, soil physical properties, soil chemical properties, barley yield

TEŞEKKÜR

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından BAP-2004/196 numara ile desteklenmiştir.

Çalışmalarında her türlü desteği sağlayan tez yöneticisi hocam Sayın Prof. Dr. A. Vahap YAĞANOĞLU'na, çalışmalarımın her aşamasında büyük ilgi ve destekleriyle bana yardımcı olan hocalarım Sayın Prof. Dr. Abdurrahman HANAY'a, Sayın Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT'a ve Sayın Doç. Dr. Metin TURAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca arazi çalışmaları esnasında, arazilerin tahsisi ve denemenin hazırlanması aşamalarında kullanılan ekipmanların sağlanmasında yardımlarını gördüğüm Iğdır İl Özel İdaresi Tarım Hizmetleri Müdürü Sayın Orhan ŞABAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarımın her aşamasında bana yardımcı olan ve huzurlu bir çalışma ortamı sağlayan sevgili eşime ve oğluma sonsuz şükranlarımı sunarım.

İlker ANGIN

Mart 2008

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
2.1. Arıtma Çamurlarının Oluşum Mekanizmaları	17
2.1.1. Çamur kaynakları	18
2.1.2. Çamur stabilizasyon yöntemleri	19
2.2. Arıtma Çamurlarının Arazide Kullanım Esasları	20
3. MATERYAL ve YÖNTEM	23
3.1. Materyal	23
3.1.1. Arıtma çamuru	23
3.1.2. Araştırma alanının toprak özellikleri	24
3.1.3. Araştırmada kullanılan arpa bitkisi	26
3.1.4. Araştırma alanının jeolojik ve coğrafik özellikleri	26
3.1.5. Araştırma alanının iklim özellikleri	27
3.2. Yöntem	28
3.2.1. Deneme planı ve parsellerin hazırlanması	28
3.2.2. Fiziksel özelliklere ait analizler	30
3.2.3. Kimyasal özelliklere ait analizler	33
3.2.3. Arpa bitkisinin verimine ait analizler	34
3.2.4. İstatistik analizler	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	36
4.1. Arıtma Çamuru Uygulamasının Toprak İşlemeli Tarım Yapılan Arazi Üzerine Etkisi	36
4.1.1. Toprak fiziksel özellikleri üzerine etkisi	36
4.1.2. Toprak kimyasal özellikleri üzerine etkisi	41
4.1.3. Arpa bitkisinin verimi üzerine etkisi	47
4.2. Arıtma Çamuru Uygulamasının Tuzlu-Alkali Arazi Üzerine Etkisi	50
4.2.1. Toprak fiziksel özellikleri üzerine etkisi	50
4.2.2. Toprak kimyasal özellikleri üzerine etkisi	55
4.2.3. Arpa bitkisinin verimi üzerine etkisi	62
4.3. Arıtma Çamuru Uygulamasının Rüzgar Erozyonuna Maruz Arazi Üzerine Etkisi	63
4.3.1. Toprak fiziksel özellikleri üzerine etkisi	63
4.3.2. Toprak kimyasal özellikleri üzerine etkisi	68
4.3.3. Arpa bitkisinin verimi üzerine etkisi	74
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	76
KAYNAKLAR	80
EKLER	88
EK 1	88
EK 2	89
EK 3	90

EK 4.....	91
EK 5.....	92
EK 6.....	93
EK 7.....	94
EK 8.....	95
EK 9.....	96
ÖZGEÇMİŞ	97

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Araştırmada kullanılan arıtma çamuru.....	23
Şekil 3.2. Deneme alanlarına ait bir görünüm (a – Toprak işlemeli tarım yapılan arazi, b – Tuzlu-alkali arazi, c- Rüzgar erozyonuna maruz arazi)	29
Şekil 3.3. Piknometre yöntemiyle tane yoğunluğu tayini	31
Şekil 3.4. Yoder tipi ıslak eleme makinesi ile agregat stabilitesi tayini	32
Şekil 3.5. Tarla kapasitesi ve solma noktasının belirlenmesi.....	32
Şekil 3.6. ICW laboratuvar permeametrosu ile permeabilite katsayısı (k) tayini	33
Şekil 4.1. Toprak işlemeli tarım yapılan alandan maksimum arpa verimi eldesi için en uygun arıtma çamuru uygulama düzeyinin belirlenmesi.....	49
Şekil 4.2. Tuzlu-alkali arazide kendiliğinden yetişen <i>Suaeda altissima</i> (L.) Pall. yabancı otuna ait bir görünüm	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'na (USEPA) göre arıtma çamurlarının arazide kullanım esasları	21
Çizelge 2.2. Avrupa Birliği Ülkeleri Taslak Yönetmeliğine göre arıtma çamurlarının arazide kullanım esasları	22
Çizelge 3.1. Araştırmada kullanılan arıtma çamuruna ait bazı özellikler	24
Çizelge 3.2. Araştırma öncesi arazilere ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler	25
Çizelge 3.3. Araştırma öncesi arazilerin toprak-su ilişkileri	25
Çizelge 3.4. Iğdır ovasına ait uzun yıllara ilişkin iklim verileri	28
Çizelge 3.5. Araştırmanın yürütüldüğü yıllara ilişkin iklim verileri	28
Çizelge 4.1. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin kütle ve tane yoğunluğu ile toplam porozitesi üzerine olan etkileri	37
Çizelge 4.2. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin agregat stabilitesinde ve permeabilite katsayısı değerlerinde meydana getirdiği değişimler	39
Çizelge 4.3. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su miktarı değerleri üzerine olan etkileri	40
Çizelge 4.4. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin pH ve elektriki iletkenliğinde (EC) meydana getirdiği değişimler	42
Çizelge 4.5. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin kireç, organik madde ve azot içeriğine olan etkileri	43
Çizelge 4.6. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin katyon değişim kapasitesi (KDK) ve değişebilir katyonları üzerine olan etkisi	45
Çizelge 4.7. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin mikro element içeriğine olan etkisi	47
Çizelge 4.8. Arıtma çamuru uygulamasının arpa bitkisinin biyolojik ve tane verimi üzerine olan etkisi	48

Çizelge 4.9. Arıtma çamuru uygulamasının tuzlu-alkali arazilerin kütle ve tane yoğunluğu ile toplam porozitesi üzerine olan etkileri.....	51
Çizelge 4.10. Arıtma çamuru uygulamasının tuzlu-alkali arazilerin agregat stabilitesinde ve permeabilite katsayısı değerlerinde meydana getirdiği değişimler	53
Çizelge 4.11. Arıtma çamuru uygulamasının tuzlu-alkali arazilerin tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su miktarı değerleri üzerine olan etkileri	54
Çizelge 4.12. Arıtma çamuru uygulamasının tuzlu-alkali arazilerin pH ve elektriki iletkenliğinde (EC) meydana getirdiği değişimler.....	56
Çizelge 4.13. Arıtma çamuru uygulamasının tuzlu-alkali arazilerin kireç, organik madde ve azot içeriğine olan etkileri.....	57
Çizelge 4.14. Arıtma çamuru uygulamasının tuzlu-alkali arazilerin katyon değişim kapasitesi (KDK), değişebilir katyonlar ve değişebilir sodyum içeriğine (ESP) olan etkisi	59
Çizelge 4.15. Arıtma çamuru uygulamasının tuzlu-alkali arazilerin mikro element içeriğine olan etkisi	62
Çizelge 4.16. Arıtma çamuru uygulamasının rüzgar erozyonuna maruz arazilerin kütle ve tane yoğunluğu ile toplam porozitesi üzerine olan etkileri	64
Çizelge 4.17. Arıtma çamuru uygulamasının rüzgar erozyonuna maruz arazilerin permeabilite katsayısı değerlerinde meydana getirdiği değişimler.....	66
Çizelge 4.18. Arıtma çamuru uygulamasının rüzgar erozyonuna maruz arazilerin tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su miktarı değerleri üzerine olan etkileri	67
Çizelge 4.19. Arıtma çamuru uygulamasının rüzgar erozyonuna maruz arazilerin pH ve elektriki iletkenliğinde (EC) meydana getirdiği değişimler	69
Çizelge 4.20. Arıtma çamuru uygulamasının rüzgar erozyonuna maruz arazilerin kireç, organik madde ve azot içeriğine olan etkileri.....	70

Çizelge 4.21. Arıtma çamuru uygulamasının rüzgar erozyonuna maruz arazilerin katyon değişim kapasitesi (KDK) ve değişebilir katyonları üzerine olan etkisi	72
Çizelge 4.22. Arıtma çamuru uygulamasının rüzgar erozyonuna maruz arazilerin mikro element içeriğine olan etkisi	73
Çizelge 4.23. Arıtma çamuru uygulamasının arpa bitkisinin biyolojik ve tane verimi üzerine olan etkisi.....	75

1. GİRİŞ

Tarım, gelişmişlik düzeyleri ne olursa olsun, tüm ülkelerin nüfuslarını beslemede ve ekonomik hayatında önemli bir role sahiptir. Dünya nüfusunun gün geçtikçe artması ve küresel ısınmanın etkilerinin giderek daha fazla hissedilmesi, bu sektörü çok daha önemli bir hale getirmiştir. Dünya nüfusunun her yıl %1,14 oranında artması, nüfusun 61 yılda bir ikiye katlanacağı anlamına gelmektedir (Rosenberg 2006). Dünya gıda tüketimindeki artışın tarımsal üretimdeki artıştan daha fazla olduğu göz önüne alındığında ise “mevcut koşullar altında tarım sektöründeki sınırlı gelişme ve kıt kaynaklar ile hızla artan dünya nüfusunun besin gereksinimi nasıl karşılanacaktır?” sorusu akla gelmektedir. Bugün dünyanın birçok ülkesinde yetersiz beslenme, açlık ve içecek temiz su bulamama riski bulunmaktadır.

Son yıllarda gelişmekte olan ülkelerde tarım alanında çok büyük ilerlemeler olmasına karşın, dünyada yeterli beslenme sınırı altında kalan insanların sayısı gittikçe artmaktadır. Artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla gıda üretiminde ortaya konan artış, beslenmenin sürdürülebilirliği açısından bütün ülkelerin öncelikli hedefi haline gelmiştir.

Dünya toplam işlenebilir tarım arazisi miktarı 3,19 milyar ha'dır. Son yıllarda kişi başına düşen tarım arazisi miktarı gelişmiş ülkelerde %14,3 oranında azalırken, gelişmekte olan ülkelere bu rakam %40 oranında gerçekleşmiştir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'ne göre kişi başına düşen tarım arazisi miktarı 0,23 ha olup bu miktar 2050 yılında 0,15 ha'a düşecektir (Anonymous 2000a). Yapılan hesaplamalara göre, tüm dünyada her dakika işlenebilir arazinin 10 hektarı kaybolmaktadır. Bunun 5 hektarı erozyon, 3 hektarı tuzluluk, 1 hektarı diğer toprak degradasyonu işlemleri, geriye kalan 1 hektarı da tarım arazilerinin amaç dışı kullanımı sonucu olmaktadır (Abrol *et al.* 1988).

Dünya tarım arazilerinin sınır değerlerine ulaştığı dikkate alındığında tuzlu, alkali ve

tuzlu-alkali topraklar ile rüzgar erozyonuna maruz topraklar gibi sorunlu arazilerin ıslah edilerek tarıma kazandırılması büyük önem taşımaktadır.

Binlerce yıldan beri toprak tuzluluğunun bilinmesine ve son yıllardaki büyük teknolojik gelişmelere karşın, uygulamada ve teoride hala toprak tuzluluğunun üstesinden gelmede sorunlar yaşanmaktadır. Dünyada 100'den fazla ülke toprak tuzluluğu ile karşı karşıya olup sorunları birbirinden çok farklıdır. Bu farklılık sadece yayılım alanlarının farklılığı olmayıp çeşitli özellikler, jeokimya ve toprakların üretkenliği bakımından da olabilir.

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) Toprak ve Bitki Besleme Yönetim Birimine göre tuzlu topraklar 831 milyon ha olup dünya arazisinin yaklaşık olarak %6,5'ini oluşturmaktadır. Bu alanın yaklaşık %8,7'si Afrika, %53,4'ü Asya, Pasifik ve Avustralya, %9,6'sı Avrupa, %13,4'ü Güney Amerika, %2,4'ü Kuzey Amerika ve %12,5'i Orta Doğuda yer almaktadır. Bunun yanında 230 milyon ha sulu tarım arazisinin 45 milyon ha'sı (%19,5) ve 1,5 milyar ha kuru tarım alanının 32 milyon ha'sı (%2,1) tuzlanma tehlikesi altındadır (Anonymous 2000b).

27,7 milyon ha işlenebilir tarım arazisine sahip ülkemizde, kesin rakamlar olmamakla birlikte, mevcut kaynaklar tuzlu toprakların 2-2,5 milyon ha civarında olduğunu belirtmektedir (Munsuz vd 2001).

Tuz etki etmiş topraklar çok kaba bünyeli olabileceği gibi, çok ağır killi bünyede de bulunabilir. Bazı tuz etki etmiş topraklar kuvvetli asit reaksiyon gösterirken, bazıları ise çok fazla alkalın reaksiyon gösterebilirler (Munsuz vd 2001). Buna benzer birçok farklılıktan dolayı tuz etki etmiş toprakları kapsayacak ortak bir ıslah yöntemi bulmak oldukça zordur.

Bir diğer sorunlu arazi ise miktarı hiçte küçümsenemeyecek olan erozyona uğramış arazilerdir. Bu arazilerin tarıma kazandırılması ile artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarını karşılayabilme hedefine bir adım daha yaklaşılaacağı göz ardı edilemez bir gerçektir.

Anonymous (2003), dünya genelinde her yıl toprak üst tabakasından 24 milyar ton kaybedildiğini belirtmektedir. Son yirmi yıl içerisinde ABD'deki ekili alanların tümünü kaplayacak kadar toprak erozyona uğramıştır.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de toprak kaybı sürecinin en önemli etkeni erozyondur. Arazi eğimi, iklim, bitki örtüsü ve toprak özelliklerinin etkileşimi sonucu oluşan doğal erozyonun yanı sıra, insanın doğaya müdahalesi temeline dayanan bir dizi yapay etkenler, erozyonu bir afet niteliğine dönüştürmektedir.

Ülkemiz topraklarının %97'sinde çeşitli şiddetlerde erozyon olmaktadır. Toplam arazi varlığımızın %63'ü çok şiddetli ve şiddetli, %20'si orta şiddetli ve % 14'ü ise hafif şiddetli erozyonla karşı karşıyadır (Doğan 2002). Bu tablonun en göze çarpan tarafı ise erozyona maruz toprakların büyük ölçüde sınır değerlerine ulaşmış olan tarım arazileri olmasıdır.

İşlenen tarım arazilerimizin %75'inde (20 milyon ha) yoğun erozyon görülmektedir. Diğer bir anlatımla ülkemiz tarım arazilerinin 5 milyon hektarlık bölümünde erozyon sorunu yoktur. Su ve rüzgar erozyonu tüm ülke topraklarının %86,5'inde cereyan etmekte, rüzgar erozyonu 506 bin hektarlık (%0,65) bir yayılımla daha çok kurak iklime sahip olan Konya ve Iğdır dolaylarında görülmektedir (Günay 1997).

Günümüzde birçok ülke, tuzlu toprakların ve erozyona uğramış alanların üretkenliğini artırmak ve degradasyonunu durdurmak amacıyla ulusal stratejiler geliştirmek için çaba sarf etmektedir. Tuzlanma ve erozyon halen arazi verimliliği üzerinde büyük bir etkiye sahip olup giderek yaygınlaşmaktadır. Uygun tarım ve yönetim tekniklerinin uygulanmasıyla, bu arazilerin tarıma kazandırılması gerçekleştirilebilir.

Tarım arazilerimizin sınır değerlerine ulaştığı ve besin ihtiyaçlarımızın artan nüfusumuz ile birlikte katlanarak arttığı dikkate alındığında, gerek tuzlu topraklarımızın gerekse erozyona uğramış olan alanlarımızın ıslah edilerek tarıma kazandırılması bir zorunluluk

olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tuzlu ve alkali toprakların ıslahı fiziksel, biyolojik, kimyasal, hidroteknik ve elektro-ıslah yöntemleri ile yapılabilir. Rüzgar erozyonuna maruz toprakların ıslahı ise fizikî ve kültürel önlemler ile gerçekleştirilebilir. Tuzlu ve alkali toprakların ıslah yöntemleri içerisinde yer alan biyolojik ıslah ile rüzgar erozyonuna maruz topraklarda yer alan kültürel önlemler genel olarak çiftlik gübresi, yeşil gübre, orman altı artıkları, organik yapay gübreler, çöp kompostları ve arıtma çamurları gibi organik maddelerin toprağa uygulanmasını kapsamaktadır.

Tarımda üretimin sürdürülebilirliği ve bitkiden yüksek verimliliğin elde edilmesinde, toprak verimliliğinin korunması ve geliştirilmesi en önemli etmenler arasındadır. Yetiştiricilikte toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin verim ve kalite üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin geliştirilmesinde toprak organik madde miktarı çok önemli bir rol oynar. Ülkemiz topraklarının organik madde miktarının azlığı dikkate alındığında organik kökenli materyallerin topraklara uygulanmasının ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Topraklarımızın %21'inde organik madde çok az (≤ 1), %54,6'sında az (1-2), %18,3'ünde orta (2-3) düzeyde bulunmaktadır. Yeterli ve fazla organik madde içeren topraklar ise %6 civarındadır (Ergene 1993). Bu amaçla hareket edildiğinde organik madde içeriği yüksek olan arıtma çamurlarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak düzenleyicisi olarak kullanılabilirliği büyük önem taşımaktadır.

Ülkemizde atık su arıtma tesisleri sayısının her geçen gün artması, arıtma çamurlarının nasıl değerlendirileceği konusunu yoğun olarak gündeme getirmektedir. Ancak arıtma çamurlarının kullanımı konusunda yeterli bilgi birikiminin ve araştırma bulgularının olduğu söylenemez. Mevcut uygulama, arıtma çamurlarının ya arıtma tesisi işletmecileri tarafından çöp depolama alanlarına atık olarak dökülmesi, ya da tesis yakınındaki çiftçiler tarafından gübre olarak bilinçsiz bir biçimde tarımsal üretimde kullanılması şeklindedir.

Bugün dünyada pek çok ülkede arıtma çamurlarının bir daha kullanılmamak üzere uzaklaştırılması yerine, sürdürülebilir ve yararlı bir şekilde arazide kullanılması amaçlanmaktadır.

Büyük bir organik gübre kaynağı olan arıtma çamurlarının arazide kullanımı ile potansiyel çevre kirletici olmasına izin verilmemesi sağlanacaktır. Çünkü, atıkların yeni kirliliklere yol açmadan değerlendirilmesi ekosistemin işlevselliğinin ön koşuludur.

Ülkemizde arıtma çamurlarının toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine yaptığı etki ile ilgili yapılmış olan çalışmaların yetersizliği, araştırmanın yürütüldüğü bölgede ise konuyla ilgili çalışmaya rastlanılmaması nedeniyle bu konuyu araştırma gereği duyulmuştur.

Arıtma çamurlarının toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile arpa bitkisinin biyolojik ve tane verimine olan etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen bu araştırma, Iğdır il sınırları içerisinde yer alan ve birbirlerinden fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından farklılık gösteren; toprak işlemeli tarım yapılan, drenaj tesisi kurulmuş ve kısmen ıslah edilmiş üzerinde tarım yapılamayan tuzlu-alkali ve rüzgar erozyonuna maruz üç ayrı arazide yürütülmüştür.

Çalışma sonucunda toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılacak olan arıtma çamurlarının önemli bir alternatif kaynağı olduğu ve çevre açısından olumlu katkılar sağlayacağı belirlenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Günümüzde giderek önem kazanan doğal çevrenin korunması, atıkların büyük ölçüde çevre ile uyumlu hale getirilerek bilinçli bir şekilde ortadan kaldırılması veya arazide kullanımı ile olasıdır. Atıkların yeni kirliliklere yol açmadan değerlendirilmesi, ekosistemin işlevselliğinin ön koşuludur.

Ülkemizde atık su arıtma tesisleri sayısının her geçen gün artması, arıtma çamurlarının nasıl değerlendirileceği konusunu yoğun olarak gündeme getirmektedir. Ancak arıtma çamurlarının kullanımı konusunda yeterli bilgi birikiminin ve araştırma bulgularının olduğu söylenemez. Mevcut uygulama, arıtma çamurlarının ya arıtma tesisi işletmecileri tarafından çöp depolama alanlarına atık olarak dökülmesi, ya da tesis yakınındaki çiftçiler tarafından gübre olarak bilinçsiz bir biçimde tarımsal üretimde kullanılması şeklindedir. Ancak, büyük bir organik gübre kaynağı olan arıtma çamurlarının arazide kullanımında potansiyel çevre kirleticisi olmasına izin verilmemesi konusu önem taşımaktadır.

Kullanımları nedeniyle özellikleri değişikliğe uğramış suların, yani atık suların alıcı ortamlara zararlı etkilerini azaltmak için arıtılmaları gerekmektedir. İlk defa 1870 yılında Amerika’da başlamış olan atık su arıtma işlemi, günümüzde pek çok ülkede yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Shuval 1990).

Atık suların arıtım işleminden sonraki çözünmeyen kalıntı kısmı olan ham çamurların alıcı ortamlara verilebilmeleri için stabilize edilmeleri gerekmektedir. Ham çamurların stabilize edildikten sonra aldığı isim biyokatı’dır. “Biyokatı” tanımı “arıtma çamuru” ve “işlenmiş arıtma çamuru” ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır.

Arıtma çamurları; bünyelerinde organik bileşikler ve bitki gelişimi için gerekli makro ve mikro bitki besin elementlerini bulundurmaktadırlar. Azot ve fosfor içerikleri arıtma çamurlarının gübre değerini ortaya koymakta, organik madde içerikleri de bu materyalin

toprak ıslah etme özelliği açısından ayrı bir önem taşıdığını göstermektedir (Epstein 2003).

Arıtma çamurlarının aynı zamanda toprak düzenleyici etkisi de bulunmaktadır. Arıtma çamuru gibi organik madde esaslı materyallerin toprağa uygulanması, killi topraklarda toprak geçirgenliğini artırarak, kök gelişimine ve suyun topraktaki hareketine iyileştirici etki yapmaktadır. Kumlu topraklarda ise bu materyaller su tutma kapasitesini artırır, diğer taraftan da besin maddesinin değişimine ve tutulmasına olanak sağlarlar. Ayrıca arıtma çamurları toprak mikroorganizmalarının sayısını ve aktivitesini artırmakta da etkilidirler. Bu yararlı özelliklerinin yanı sıra arıtma çamurları, çevreye zararlı olabilecek potansiyel toksik elementleri, patojen mikroorganizmaları ve parazitik organizmaların yumurtalarını içerebilmektedirler (Bilgin vd 2002).

Bugün dünyada pek çok ülkede arıtma çamurlarının bir daha kullanılmamak üzere uzaklaştırılması yerine, sürdürülebilir ve yararlı bir şekilde arazide kullanılması amaçlanmaktadır.

Amerika Birleşik Devletlerinde 1993 yılı itibariyle kuru ağırlık olarak ortaya çıkan 5,4 milyon ton arıtma çamurunun %33'ü arazide kullanılmaktadır. Araziye uygulanan arıtma çamurlarının %67'si tarım alanlarında, %3'ü orman alanlarında, %9'u ıslah edilecek alanlarda, %9'u yeşil alanlarda değerlendirilmekte, geriye kalan %12'si ise torbalanarak satılmaktadır (EPA 1994).

Mısır'da 1995 yılında uygulamaya konulan bir proje ile alkali toprakların bazı temel toprak gruplarında yetersiz düzeyde olan mikro element noksanlıklarının arıtma çamurları ile giderilmesi amaçlanmıştır (Anonymous 1996a).

Epstein (1975), siltli tın tekstüre sahip bir toprağın su tutma kapasitesinde, hidrolik iletkenliğinde ve agregat stabilitesinde olan değişimleri incelemek amacıyla ham çamurları ve arıtma çamurlarını ağırlık olarak %5 düzeyinde karıştırmış ve bu karışımı

75 gün süreyle 15, 25 ve 35°C sıcaklıkta inkübasyona bırakmıştır. Araştırma sonucu arıtma çamuru ilavesinin tarla kapasitesi ve solma noktası değerlerini artırdığı, ancak bu artışın su tutma kapasitesinde herhangi bir değişim ortaya koymadığı saptanmıştır. Ayrıca arıtma çamuru ilavesinin hidrolik iletkenliği artırdığını ancak bu değişimin geçici olduğunu; çünkü hidrolik iletkenliğin uygulamadan 50 ila 80 gün sonra kontrol ile aynı değere düştüğünü belirtmiştir. Agregat stabilitesinin ise arttığını vurgulamıştır.

Epstein *et al.* (1976), arıtma çamuru ve kompost uygulamasının toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkilerini araştırmışlar ve toprakların su tutma kapasitesi, hidrolik iletkenlik ve agregat stabilitesi gibi fiziksel özelliklerinin söz konusu organik materyal uygulaması ile arttığını, kimyasal yönden ise topraklarda herhangi bir sorunun olmadığını belirlemişlerdir.

Sıvı arıtma çamuru uygulamasının toprakların nem içeriğine ve infiltrasyonuna olan etkilerini araştırmak amacıyla yürütülen bir çalışmada, 20 cm yüksekliğinde uygulanan sıvı arıtma çamurunun toprakların nem içeriğini ve infiltrasyonunu artırdığı bununla birlikte yüzey akışı azalttığı saptanmıştır (Kelling *et al.* 1977).

Pagliai and Guidi (1979), killi tın tekstüre sahip topraklara ahır gübresi, kompost, arıtma çamuru ve kompost-arıtma çamuru karışımı uygulamasıyla, toprakların toplam porozitelerinin önemli düzeyde arttığını belirtmişlerdir. Araştırma sonucu kontrol parseline göre en yüksek poroziteyi %60 kompost-%40 arıtma çamuru karışımının sağladığını saptamışlardır.

Khaalel *et al.* (1981), 21 toprak tipinde hayvan gübresinin, kentsel atıkların ve arıtma çamurlarının etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak organik materyal uygulanan toprakların kütle yoğunluğunun azaldığını, toplam porozitenin arttığını, tarla kapasitesi ve solma noktasındaki su tutma kapasitelerinin arttığını, hidrolik iletkenlik ile infiltrasyon kapasitesinin çok az miktarda arttığını vurgulamışlardır.

Kumlu tın tekstüre sahip topraklarda hayvan gübresinin, arıtma çamurunun ve çöp kompostunun toplam porozite, agregat stabilitesi ve elektriki iletkenlik özelliklerine olan etkilerini araştırmak amacıyla yürütülen bir çalışmada 5 ve 15 t/da uygulama düzeyleri incelenmiştir. Sonuç olarak, toplam porozitenin, agregat stabilitesinin ve elektriki iletkenlik özelliklerinin artan uygulama düzeylerine paralel olarak arttığı tespit edilmiştir (Guidi *et al.* 1981).

Kırımhan vd (1982) Erzurum’da, Karakaplan (1982) Malatya’da, kanalizasyon suları ile sulanan topraklardaki kimyasal özellikleri araştırmışlardır. Her iki araştırmada da kanalizasyon suları ile sulanan topraklarda organik madde miktarı ile özellikle N, P ve K miktarlarının önemli düzeyde arttığı görülmüştür.

Guidi *et al.* (1983), 1-2 mm arası agregatların stabilitesine, arıtma çamuru ve kompost etkisini, etil eter, etil alkol ve su ile karıştırdıktan sonra araştırmışlar ve etil eterle uygulanan kompostların, agregat stabilite indeksini daha çok artırdığını belirtmişlerdir.

Arıtma çamurlarının toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkileri incelemek amacıyla yürütülen bir çalışmada, 5-10 t/da uygulama düzeylerinin organik madde miktarına bağlı olarak kütle yoğunluğunu düşürdüğü, poroziteyi, agregat stabilitesini, tarla kapasitesi ve solma noktasındaki su tutma kapasitelerini ve hidrolik iletkenliği artırdığı saptanmıştır. Ayrıca pH’nın organik maddenin ayrışması ve nitrifikasyonu sonucu ortaya çıkan organik asitlerden dolayı arttığı, katyon değişim kapasitesinin ve elektriki iletkenliğin de arttığı bildirilmiştir (Guidi and Hall 1983).

15-30 cm toprak derinliğindeki bazı özellikleri düzeltmek amacıyla yürütülen bir çalışmada, kentsel atıklar ile arıtma çamurları kullanılmıştır. Atık bileşimini, bitki-toprak ilişkilerini, toprak verimliliğini ve su tutma faktörlerini inceleyen araştırmacılar toprağın su tutma kapasitesinin iyileştiğini, daha iri bitkilerin yetiştiğini ve kimyasal gübrelere olan gereksinimin azaldığını belirtmişlerdir (Stanford and Donohue 1983).

Hornick *et al.* (1984), arıtma çamurlarının topraklara en önemli yararlarının, su tutma kapasitesi, havalanma, geçirgenlik ve infiltrasyon, penetrasyon direnci ve kütle yoğunluğu özelliklerinde görüldüğünü vurgulamışlardır. Yine aynı araştırmacılar, yıllık olarak ve düşük uygulama oranlarında (1-2 t/da) arıtma çamuru uygulamasının daha yararlı ve ekonomik olacağını bildirmişlerdir.

Vigerust (1984), Norveç'te yeşil sahaların iyileştirilmesi için yaptığı bir çalışmada arıtma çamurunu direkt olarak ve çeşitli oranlarda kum ve ağaç kabukları ile karıştırarak, yeşil sahaların üst 4-10 cm'lik kısmına uygulamış ve arıtma çamurunun toprakların fiziksel özelliklerine olumlu yönde etki ettiğini gözlemlemiştir.

Wei *et al.* (1985), geçirgenliği zayıf ve arzu edilmeyen diğer fiziksel özelliklere sahip siltli killi bir toprağa 1,12-2,24-4,48 ve 11,2 t/da düzeylerinde arıtma çamuru uygulamışlar ve uygulamadan 5 yıl sonra artan uygulama düzeylerine paralel olarak toprağın kütle yoğunluğunun azaldığını ve hidrolik iletkenlik ile agregat stabilitesinin arttığını belirtmişlerdir. 5 yıl sonunda düşük uygulama düzeylerinin etkilerinin görülmediğini, bunun ise düşük uygulama düzeylerinin yıllık etkide bulunmuş olabileceğinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Dolgu topraklarının uygun olmayan fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi, dolgu materyalinin stabilizasyonu, erozyona karşı korunması ve bitki örtüsü oluşturmak amacıyla yürütülen bir çalışmada dolgu topraklarına yüksek oranlarda arıtma çamuru uygulanmış ve toprak özelliklerinin bu şekilde iyileştirilmesi önerilmiştir (Wilson *et al.* 1985).

Parr *et al.* (1986), gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki sürdürülebilir tarımı kalkındırmak amacıyla organik atıklar için bir takım yeni değerlendirmeler ve stratejiler ortaya koymuşlardır.

Arıtma çamurlarının ormanlık arazilerdeki toprak özelliklerine ve ağaç büyümesine olan

etkilerini inceleyen Berry (1987), arıtma çamuru uygulanmış parsellerdeki ağaç büyüme hızının gübre ve kireç uygulanmış parsellere oranla daha fazla olduğunu saptamış, toprak iyileştirici maddelerin derin sürüm ile daha yararlı olacağını vurgulamıştır.

Üst toprak kazıları sonucu özelliklerini kısmen kaybetmiş toprakların iyileştirilmesinde kireç, ahır gübresi ve arıtma çamurlarının etkilerini inceleyen Hornick and Parr (1987), bu materyallerin uygun bir şekilde kullanımı ile istenmeyen özelliklere sahip toprakların 3 yıl içerisinde tekrar verimli bir düzeye geldiğini belirtmişlerdir.

Yapılan bir çalışmada arıtma çamuru uygulamasının toprakların 0,05-2,0 mm arasındaki agregatların stabilitesini %45'ten %85'e yükselttiği ve kütle yoğunluğunu düşürdüğü vurgulanmıştır (Glauser *et al.* 1988).

Olson and Jones (1988), yaptıkları bir sera denemesinde arıtma çamurlarının üst toprak tabakası agregasyonuna ve porozitesine olan etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, tüm uygulama düzeylerinde arıtma çamurlarının agregasyonu azalttığını ve poroziteyi artırdığını belirtmişlerdir.

Canbolat (1990), Iğdır ovası toprakları üzerine yaptığı bir araştırmada, ahır gübresi ve buğday samanını çeşitli oranlarda topraklara karıştırmış ve belirli bir inkübasyon süresi sonunda toprakların kütle yoğunluğunun azaldığını, agregat stabilitesinin arttığını ve kaymak tabakasının kırılma dirençlerinde düşüşler olduğunu bulmuştur.

Çöp kompostu ve ahır gübresi uygulamasının toprakların kıvam limitleri ile bazı strüktür stabilite indekslerine olan etkisini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, topraklara artan miktarlarda uygulanan çöp kompostunun plastik ve likit limit değerlerini artırdığı saptanmıştır. Ayrıca limit değerlerindeki bu artışın, toprakların işlenebilmeleri için gerekli nem miktarını da yükselttiği belirtilmiştir (Hanay 1992).

Hanay ve Yardımcı (1992), artan miktarlarda uygulanan çöp kompostunun toprakların

fiziksel ve kimyasal özellikleri ile toprak-su ilişkilerinde olumlu değişimler meydana getirdiğini belirtmişlerdir. Özellikle ince bünyeli topraklarda, çöp kompostunun içerdiği inorganik materyaller nedeniyle hidrolik iletkenlik değerini ve infiltrasyon hızını ahır gübresine oranla daha fazla artırdığını saptamışlardır.

Arıtma çamuru uygulamasının pamuk bitkisinin gelişimi ve ürün miktarı üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, topraklara artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurunun pamuk bitkisinin gelişimini ve ürün miktarını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Ancak bu değişimin geçici olduğu, uygulamadan bir yıl sonra arıtma çamuru uygulamasının etkinliğini kaybettiği bildirilmiştir (Shiralipour and Epstein 1996).

Arıtma çamurlarının toprak sıkışması üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen bir çalışmada, Stone and Ekwue (1996), farklı oranlarda arıtma çamuru uygulanmış toprakları 0, 10, 100, 600 ve 1000 kPa'lık sıkıştırma kuvveti etkisi altında incelemişlerdir. Çalışma sonucu, artan miktarlarda arıtma çamuru uygulamasının aynı seviyedeki sıkıştırma kuvveti altında gözenek miktarını artırdığı belirtilmiştir.

Çöp kompostunun ve arıtma çamurlarının yetiştirme ortamı olarak kullanımını belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, çöp kompostu ve arıtma çamuru uygulamalarının vejetasyonu daha hızlı artırdığı saptanmıştır (Ingelmo *et al.* 1998).

Sort and Alcañiz (1999a), arıtma çamuru uygulanan topraklardaki porozite değişimini 28 ay süre ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, toprak mikro porozitesinin ($<50 \mu\text{m}$) ve makro porozitesinin ($>50 \mu\text{m}$) arttığını saptamışlardır. Ancak bu değişimin geçici olduğunu, arıtma çamuru uygulamasından bir yıl sonra kontrol parseli ile deneme parseli arasında porozite ile ilgili önemli bir farklılığın olmadığını belirtmişlerdir.

Sort and Alcañiz (1999b), arıtma çamuru uygulanan topraklardaki toprak agregasyonunu 28 ay süre ile incelemişlerdir. Çalışma sonucu, artan miktarlarda arıtma

çamuru uygulamasının agregat stabilitesini artırdığını saptamışlardır. Ancak bu değişimin geçici olduğunu, arıtma çamuru uygulamasından bir yıl sonra agregat stabilitesinin azaldığını bildirmişlerdir.

Aggelides and Londra (2000), yarı kurak bir bölgede tın ve kil bünyeye sahip toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek amacıyla hacim olarak %62 kent atıklarından, %21 arıtma çamurundan ve %17 talaştan oluşan organik gübreyi 0, 75, 150 ve 300 m³/ha uygulama miktarlarında incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, toprakların kimyasal özelliklerinin uygulama miktarından doğrudan etkilendiği saptanmıştır. Ayrıca doymuş ve doymamış koşullardaki hidrolik iletkenliğin, su tutma kapasitesinin, tane yoğunluğunun, toplam porozitenin, gözenek dağılımının, penetrasyon direncinin, agregasyonun ve agregat stabilitesinin iyileştiğini de vurgulamışlardır. Sonuç olarak, topraklarda oluşan iyileşmenin uygulama miktarı ile orantılı olduğu ve bu iyileşmenin tınlı bünyeye sahip toprakta daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Kurak iklime sahip bir bölgede özelliklerini kaybetmiş toprakların bazı fiziksel ve fizikokimyasal özelliklerini iyileştirmek amacıyla yürütülen bir çalışmada, yeşil gübre, yeşil gübre-arıtma çamuru karışımı ve arıtma çamuru uygulamalarının etkinlikleri araştırılmıştır. Çalışma sonucu, suya dayanıklı agregat miktarında herhangi bir değişimin olmadığı, ancak toprak organik madde içeriğinin önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir (Holz *et al.* 2000).

Albiach *et al.* (2001a), organik düzenleyiciler üzerine yaptıkları bir çalışmada yıllık 24'er t/ha çöp kompostu, arıtma çamuru ve koyun gübresi ile 2,4 t/ha ticari kompost ve 100 l/ha ticari hümitik asit solüsyonu uygulama miktarlarının toprakların organik madde, ayrışmaya uğramış organik materyal, hümitik asit, karbonhidrat ve mikrobiyal salgı içerikleri ile agregatların strüktürel yapısına olan etkilerini incelemişlerdir. Çalışmanın 4. ve 5. yılında organik atıkların uygulandığı parsellerde incelenen bütün parametrelerin önemli derecede arttığı, ticari düzenleyicilerin uygulandığı parsellerde ise önemli bir değişimin olmadığı saptanmıştır. Bunun uygulama miktarından kaynaklanabileceğini

vurgulamışlardır. Ayrıca çöp kompostundan elde edilen ürün miktarının en yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Yeşil gübre, yeşil gübre-arıtma çamuru karışımı ve arıtma çamuru uygulamalarının toprakların hidrolik iletkenliği ve agregasyonu üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir araştırmada, yeşil gübre-arıtma çamuru karışımının toprakların hidrolik iletkenliğini ve agregasyonunu diğer uygulamalara göre daha çok artırdığı saptanmıştır (Harris and Megharaj 2001).

Quemada and Menacho (2001), arıtma çamurlarının toprak havalanması üzerine olan etkilerini kontrol, 4 ve 8 t/da uygulama düzeylerinde 1 yıl süre ile incelemişlerdir. Çalışma sonucu, 8 t/da uygulamasının toprak havalanmasını artırdığı ve bu artışın uygulama düzeyi ile doğrudan ilişkili olduğu bildirilmiştir.

Arıtma çamurlarının toprakların 0-30 ile 30-60 cm derinliklerindeki kadmiyum ve nikel içeriklerine olan etkilerini belirlemek amacıyla Sastre *et al.* (2001), yıllık 50 ve 100 t/ha uygulama miktarlarını 8 yıl süre ile incelemişlerdir. Çalışma sonucu, kadmiyum ve nikel içeriklerinin uygulama miktarlarına bağlı olarak arttığı vurgulanmıştır. Bununla birlikte, kadmiyumun organik madde ile bileşikler oluşturduğu ve nikelin demir ve mangan oksitler ile bağlandığı saptanmıştır.

Debosz *et al.* (2002), kumlu tın tekstüre sahip bir toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde olan değişimleri incelemek amacıyla, anaerobik çürümeye uğramış arıtma çamurları ile uğramamış arıtma çamurlarını 4,2 t/ha, çöp kompostunu ise 17 t/ha uygulama düzeyinde topraklara karıştırmışlar ve bu karışımları 11 ay süreyle tarla ve 10°C sıcaklıkta laboratuvar koşullarında inkübasyona bırakmışlardır. Araştırma sonucu, arıtma çamuru ve çöp kompostu uygulamalarının hem laboratuvar hem de tarla koşullarında toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde olumlu değişimler yaptığı bildirilmiştir.

Bozkurt ve Yarılgaç (2003), Van ili kuru koşullarında elma ağaçlarının meyve verimine, gelişimine, beslenme durumuna ve ağır metal birikimine arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulamalarının etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada arıtma çamurunu 0, 10, 20, 40 ve 60 kg/ağaç, ahır gübresini ise 25 kg/ağaç düzeyinde uygulamışlardır. Araştırmacılar kireçli toprağa arıtma çamuru uygulamasının meyve verimini, kümülatif verim etkinliğini, sürgün gelişimini ve elma yapraklarının N, Mg, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonlarını önemli düzeyde artırdığını belirtmişlerdir. Ancak bu artışların genel olarak ahır gübresi uygulamasından daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Önal vd (2003), farklı özelliklere sahip iki kentsel arıtma çamurunun domates bitkisinin kuru madde, meyve ürün miktarları ve bazı meyve kalite özellikleri ile mineral içerikleri üzerine etkilerini sera koşulları altında araştırmışlardır. Araştırma sonucu, toprağa artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının domates bitkisinin kuru maddesini, meyve ürün miktarlarını ve meyvede N, P, K, Mg ve Fe, içeriklerini artırdığını belirlemişlerdir.

Topcuoğlu vd (2003), farklı özelliklere sahip iki kentsel arıtma çamurunun, domates bitkisinin bitki besin elementleri ve ağır metal içerikleri üzerine etkilerini sera koşullarında incelemişlerdir. Araştırmacılar toprağa artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının domates bitkisinin N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Ni ve Cd içeriklerini artırdığını, düşük düzeylerde arıtma çamuru uygulamalarının bitki gelişimini olumlu yönde etkilediğini, bununla birlikte yüksek uygulama düzeylerinde fitotoksiste ve ağır metal içeriğinde artış olduğunu saptamışlardır.

Veeresh *et al.* (2003), arıtma çamuru ve uçucu kül uygulamalarının toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkilerini belirlemek amacıyla, çeşitli oranlardaki arıtma çamuru ve uçucu kül karışımını 52 t/ha uygulama düzeyinde incelemişlerdir. Araştırmacılar yalnız arıtma çamuru uygulamasının toprakların elverişli azotunu, organik karbonunu, tuzluluğunu, su tutma kapasitesini, makro besin elementlerini ve ağır metal içeriğini artırdığını ve pH'sını düşürdüğünü saptamışlardır. Uçucu kül uygulamasının ise toprak özelliklerinde çok az bir değişime neden olduğunu bildirmişlerdir.

Hernández-Apaolaza *et al.* (2005), çam kabuğu, Hindistan cevizi lifi ve arıtma çamurları gibi atık maddelerin süs bitkisi yetiştiriciliğinde kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Araştırmada çam kabuğu, çam kabuğu-%15 arıtma çamuru, çam kabuğu-%30 arıtma çamuru, Hindistan cevizi lifi, Hindistan cevizi lifi-%15 arıtma çamuru ve Hindistan cevizi lifi-%30 arıtma çamuru karışımlarının fıstık çamı, mavi servi ve piramit servi bitkilerinin gelişimi üzerine olan etkileri belirlenmiştir. Araştırma sonucuna göre, yetiştiricilik açısından en uygun karışımın %30 arıtma çamuru içeren karışımlar olduğu saptanmıştır.

Mantovi *et al.* (2005), sıvı, susuzlaştırılmış ve buğday samanı ile karıştırılmış arıtma çamuru uygulamalarının, toprakların ve bitkilerin bazı özelliklerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yıllık 5 ve 10 t/ha uygulama düzeylerini 12 yıl süre ile incelemişlerdir. Çalışma sonucu, sıvı ve susuzlaştırılmış arıtma çamuru kullanımının yüksek azot içerikleri nedeniyle şekerpancarı bitkisinin kalitesini düşürdüğü ve buğdayda yatmaya neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıca arıtma çamuru uygulamalarının toprakların organik madde, toplam azot ve elverişli fosfor içeriklerini artırdığı, toprak alkalinitesini ise düşürdüğü saptanmıştır.

Iğdır İli Aralık İlçesi rüzgar erozyonu alanı topraklarının bazı fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla yürütülen bir çalışmada Canbolat vd (1996), çöp kompostu ve ahır gübresini %2, %4 ve %6 uygulama düzeylerinde incelemişlerdir. Çalışma sonucu, organik atık materyal uygulamasının toprakların organik madde miktarını, kütle yoğunluğunu, porozitesini ve su tutma kapasitesini artırdığını, buna karşılık agregat stabilitesini ise değiştirmedığını saptamışlardır. Sonuç olarak, aynı oranlarda uygulanan çiftlik gübresinin çöp kompostundan daha etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Hanay *et al.* (2004), çöp kompostunun tuzlu-alkali toprakların ıslahı üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla 5, 10 ve 15 t/da uygulama düzeylerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, jips uygulamasının ardından artan düzeylerde çöp kompostu uygulamasının, tuzlu-alkali toprakların kütle yoğunluğunu düşürdüğünü, bununla birlikte poroziteyi, hidrolik iletkenliği, suya dayanıklı agregatları, doyma kapasitesini,

tarla kapasitesini, solma noktasını, higroskopik nem sabitesini, organik madde miktarını, pH'yı, elektriki iletkenliği ve değişebilir sodyum yüzdesini artırdığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar yalnızca jips uygulamasının toprakların kimyasal özelliklerini iyileştirdiğini, fiziksel ve biyolojik özelliklerinde ise herhangi bir değişim meydana getirmediğini vurgulamışlardır. Sonuç olarak, yalnızca jips uygulamasının tuzlu-alkali toprakların ıslahı için yeterli olmadığı, jips uygulamasının ardından çöp kompostu uygulamasının toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine olumlu etkilerde bulunacağı belirtilmiştir.

Ojeda *et al.* (2003), %16 eğim derecesindeki tın ve kum tekstüre sahip toprakların yüzey akış değerlerini ve erozyon kayıplarını azaltmak amacıyla sıvı, kompost ve termal olarak kurutulmuş arıtma çamurlarını 10 t/ha kuru madde içeriğini sağlamak üzere, sırasıyla 11,3, 13,8 ve 50 t/ha uygulama düzeyinde incelemiştir. Araştırmacılar termal olarak kurutulmuş arıtma çamuru uygulamasının her iki toprağın yüzey akış değerlerini ve erozyon kayıplarını düşürdüğünü saptamışlardır. Ayrıca bütün arıtma çamuru uygulamalarının toprakların sediment miktarını düşürdüğünü vurgulamışlardır. Araştırma sonucu, termal olarak kurutulmuş arıtma çamuru uygulamasının sıvı ve kompost arıtma çamuru uygulamalarına göre toprakların yüzey akış değerlerini ve erozyon kayıplarını önemli derecede düşürdüğü ve infiltrasyon değerlerini artırdığı belirtilmiştir.

2.1. Arıtma Çamurlarının Oluşum Mekanizmaları

Atık suların işlendiği arıtma tesislerinde, kendiliğinden çöken, sıvı veya yarı katı halde, kokulu, uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ağırlıkça %0,25 ile %12 katı madde içeren atıklar “ham arıtma çamuru” olarak isimlendirilmektedir. Ham çamurlar stabilize edilerek ekolojik yönden kullanıma uygun hale getirildikten sonra “işlenmiş arıtma çamuru” veya “arıtma çamuru” olarak tanımlanmaktadır (Anonymous 1996b; Bilgin vd 2002).

2.1.1. Çamur kaynakları

Atık su arıtımında genellikle üç temel arıtım aşaması mevcuttur (Uslu ve Türkman 1987; Filibeli 1998; Bilgin vd 2002). Bu aşamalar;

- Birincil arıtım,
- İkincil arıtım,
- Üçüncül arıtım (Fiziksel-Kimyasal Arıtma)'dır.

Ön arıtma olarak da ifade edilen birincil arıtım, daha çok fiziksel müdahaleleri kapsar. Yaygın olarak kullanılan bu arıtma yönteminde inorganik karakterli katı maddeler ızgara ve kum tutucu filtrelerde toplandıktan sonra bertaraf sahasına iletilir. Çökeltim havuzu tabanında toplanan maddeler “ham ön çökeltim çamuru” olarak tanımlanır. Su içeriği çok yüksek olan bu çamurun stabilizasyonunda genellikle anaerobik çürütme yöntemi kullanılmaktadır (Bilgin vd 2002; Epstein 2003).

İkincil arıtmada esas, çözünebilir organik maddelerin biyokimyasal oksidasyonu (BOİ) giderimidir. En yaygın şekilde kullanılan ikincil arıtım sistemleri, aktif çamur ve damlatmalı filtrelerdir.

Aktif çamur; süspanse bir yapı içerisine yerleştirilmiş çeşitli bakteri türlerinden ve aynı yapı içerisindeki protozoalardan oluşmaktadır. Bu sistemde son çökeltme havuzunda toplanan atık aktif çamurun sadece bir kısmı stabilize edilmek üzere sistemden uzaklaştırılmakta, diğer kısmı ise geri dönüş çamuru olarak sisteme gönderilmektedir (Bilgin vd 2002).

Damlatmalı filtre sisteminde biyolojik süreçler mekanik bir filtre olarak çalışmazlar. Filtre yataklarından kopan katı partiküller son çökeltim havuzunda arıtılmış sudan ayrılır ve bu çamur filtre humusu olarak adlandırılır ancak miktarı oldukça azdır. Filtre humusu genellikle, ham ön çökeltim çamuru ile karıştırılmakta ve genellikle anaerobik olarak çürütülmektedir (Bilgin vd 2002).

İkincil arıtmıdan daha yüksek kalitede arıtım sağlamak üzere uygulanan ileri arıtım kademesi üçüncül arıtım veya fiziksel-kimyasal arıtım olarak adlandırılır. Üçüncül arıtım, atık suda azot ve fosfor giderimi ile dezenfeksiyon işlemlerini kapsamaktadır. Üçüncül arıtım, atık su içerisinde bulunan azot ve fosfor elementlerini giderdiğinden dolayı tarımsal üretimde kullanım açısından uygun değildir.

2.1.2. Çamur stabilizasyon yöntemleri

Çamurların stabilizasyonundan amaç; koku giderimi, patojenlerin ve potansiyel bozunmanın azaltılmasını sağlamaktır (Anonymous 1996b; Bilgin vd 2002). Başlıca stabilizasyon yöntemleri;

- Kireçleme,
- Isıl işlem,
- Anaerobik çürütme,
- Aerobik stabilizasyon,
- Kompostlama'dır.

Kireçle stabilizasyon da iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; sıvı çamura kireç ilavesi ve suyu alınmış çamura kireç ilavesidir. Sıvı çamura kireç ilavesinde, sıvı çamura sönmüş kireç $[Ca(OH)_2]$ karıştırılmakta, bu sayede çamurun pH'sı ve katı madde içeriği artmaktadır. Suyu alınmış çamura kireç ilavesinde ise susuzlaştırılmış çamura sönmemiş kireç (CaO) ilave edilmekte ve ortam sıcaklığında artış sağlanmaktadır (Bilgin vd 2002).

Isıl işlem, çamurun yüksek sıcaklık ve basınç altında suyunun alınmasıdır. Bu yöntemde çamurun stabilizasyonu ve dezenfeksiyonu bir arada sağlanmaktadır (Bilgin vd 2002).

Anaerobik çürütme, çamur stabilizasyonu için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Organik maddenin anaerobik ortamda bozunması işlemi olarak tanımlanan bu yöntem, çamur stabilizasyonunu sağlamada kullanıldığı gibi bazı endüstriyel atık

suların doğrudan arıtımında da kullanılmaktadır. Anaerobik çürütme iki aşamada gerçekleşir ve bu süreçte iki tür bakteri etkilidir. Birinci aşamada organik maddeler organik asitlere, ikinci aşamada ise organik asitler zorunlu anaerob metan bakterileri tarafından metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2)'e dönüştürülerek biyogaz oluşmaktadır (Bilgin vd 2002).

Aerobik stabilizasyon, çeşitli arıtma işlemleri sonucu oluşan çamurların, yeterli oksijenin sağlandığı koşullarda biyolojik stabilizasyonu için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ile elde edilen arıtma çamurunda inorganik azot daha çok nitrat formundadır, bu nedenle gübreleme değeri daha yüksektir. Ancak bu yöntemin en büyük dezavantajı biyogaz gibi bir son ürünün elde edilememesidir (Bilgin vd 2002).

Kompostlama aerobik biyolojik bir işlemdir. Kompostlamada; gözenekli malzeme kullanılarak yığın oluşturma, gözenekli yığınların havalandırılması, mekanik kompostlama gibi teknikler kullanılmaktadır. Kompostlama yöntemi ile stabilizasyon, arıtma çamurunun özellikle park-bahçelerde ve çiçekçilikte kullanılması durumunda tercih edilmektedir (Epstein 2003).

2.2. Arıtma Çamurlarının Arazide Kullanım Esasları

Atık su arıtma tesislerinden elde edilen ham çamurların halk sağlığı açısından güvenle kullanılabilirliğini sağlamak üzere stabilizasyon ve dezenfeksiyon yöntemleri uygulanmaktadır. Stabilizasyon yöntemlerinin bazıları beraberinde ham çamurun dezenfeksiyonunu sağlarken, bazıları ham çamurun dezenfeksiyonunu tam olarak sağlayamamaktadır.

Arıtma çamurlarının arazide kullanımında, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) Yönetmeliği ile Avrupa Birliği Ülkeleri tarafından 2000 yılında hazırlanmış olan Taslak Yönetmelik esas alınmaktadır. USEPA yönetmeliğine göre arıtma çamurları “A Sınıfı (Doğrudan temas için güvenli)” ve “B Sınıfı (Arazide ve

bitkisel üretimde kısıtlı kullanım)” olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır (EPA 1994; Epstein 2003) (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı’na (USEPA) göre arıtma çamurlarının arazide kullanım esasları

	A Sınıfı Arıtma Çamuru	B Sınıfı Arıtma Çamuru
Arıtma çamuruna veya toprağa temas eden gıda ürünlerinin yetiştirildiği alanlar	Kullanılır	Arıtma çamuru uygulaması ile hasat arasında en az 14 aylık bir süre olmalıdır.
Kök bitkilerinin yetiştirildiği alanlar	Kullanılır	Arıtma çamuru toprağa karıştırılmadan önce, toprak yüzeyinde 4 ay ve daha fazla kalıyorsa, arıtma çamurunun toprağa uygulanması ile bitkinin hasadı arasında en az 20 aylık bir süre olmalıdır. Arıtma çamuru toprağa karıştırılmadan önce, toprak yüzeyinde 3 ay veya daha az kalıyorsa, arıtma çamurunun toprağa uygulanması ile bitkinin hasadı arasında en az 38 aylık bir süre olmalıdır.
Yenen kısımları toprağa temas etmeyen diğer gıda, lif ve yem bitkilerinin yetiştirildiği alanlar	Kullanılır	Arıtma çamuru uygulaması ile bu bitkilerin hasadı arasında en az 30 günlük bir süre olmalıdır.
Otlatma alanları	Kullanılır	Arıtma çamuru uygulamasını takip eden ilk 30 günde otlatma yapılmamalıdır.
Halkla temasın yüksek olduğu yeşil alanlar	Kullanılır	Uygulanan alanın kullanımı için 1 yıl beklenmelidir.
Halkla temasın düşük olduğu yeşil alanlar	Kullanılır	Uygulanan alanın kullanımı için 30 gün beklenmelidir.

Avrupa Birliği Ülkeleri tarafından 2000 yılında hazırlanmış olan Taslak yönetmeliğine göre ise arıtma çamurları “Yüksek Standart” ve “Geleneksel Standart” olarak iki grup altında değerlendirilmektedir (Anonymous 2000c) (Çizelge 2.2).

Ülkemizde 10 Aralık 2001 tarih ve 24609 sayılı resmi gazetede yayınlanan Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde (TKKY), evsel ve evsel nitelikli endüstriyel atık suların arıtılması sonucu ortaya çıkan arıtma çamurlarının kullanımı ile ilgili bazı esaslar belirtilmektedir. Bu yönetmeliğe göre, stabilize edilmemiş çamurların her şekilde kullanımı yasak olduğu, arıtma çamurlarının ise toprakla temas eden ve çiğ olarak tüketilen sebze ve meyvelerin yetiştirilmesi haricinde kullanılabileceği ifade

edilmektedir (Anonim, 2001). Diğer arazi kullanım izinlerinin ve kısıtlamalarının neler olduğu, arıtma çamurlarına uygulanması gereken stabilizasyon yöntemlerinin hangi standartları sağlaması gerektiği gibi konular ise yer almamaktadır.

Çizelge 2.2. Avrupa Birliği Ülkeleri Taslak Yönetmeliğine göre arıtma çamurlarının arazide kullanım esasları

	Yüksek Standart Arıtma Çamuru	Geleneksel Standart Arıtma Çamuru
Mer'a Alanları	Kullanılır	Kullanılır, ancak toprağa derin enjekte edilmeli ve arıtma çamuru uygulaması ile otlatma arasında en az 6 haftalık bir süre olmalıdır.
Yem Bitkileri Yetiştirilen Alanlar	Kullanılır	Kullanılır ancak arıtma çamuru uygulanmasından sonra 6 hafta geçmeden hasat yapılmamalıdır.
Tarım Alanları	Kullanılır	Kullanılır, ancak derine enjekte edilmeli veya derhal sürülerek toprak altına karıştırılmalıdır.
Toprakla Temas Eden Sebze ve Meyvelerin Yetiştirildiği Alanlar	Kullanılır	Kullanılamaz veya arıtma çamuru uygulamasından sonra 12 ay geçmeden hasat yapılmamalıdır.
Toprakla Temas Eden ve Çiğ Olarak Yenilen Sebze/Meyvelerin Yetiştirildiği Alanlar	Kullanılır	Kullanılamaz veya arıtma çamuru uygulamasından sonra 30 ay geçmeden hasat yapılmamalıdır.
Meyve Ağaçları, Bağlar, Ağaçlandırma Alanları ve Ormanların Yeniden Ağaçlandırılması	Kullanılır	Kullanılır ancak toprağa derin enjekte edilmeli ve uygulamadan sonra 10 ay boyunca halkla temas olmamalıdır.
Halkla Temasın Yüksek Olduğu Yeşil Alanlar	Kullanılır ancak iyi stabilize olmalı ve koku yaratmamalıdır	Kullanılamaz
Doğal Ormanlar	Kullanılamaz	Kullanılamaz

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde; araştırmada kullanılan arıtma çamuruna ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler ile bunların uygulandığı araştırma alanlarındaki toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ve arpa bitkisinin biyolojik ve tane veriminin saptanmasında kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

3.1. Materyal

3.1.1. Arıtma çamuru

Araştırmada, ASKİ Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisinden alınan anaerobik arıtma çamuru kullanılmıştır. Kullanılan arıtma çamuru USEPA yönetmeliğine göre “B Sınıfı Arıtma Çamuru”, Avrupa Birliği Ülkeleri Taslak Yönetmeliğine göre ise “Geleneksel Standart Arıtma Çamuru” olarak tanımlanmaktadır (Bilgin vd 2002; Epstein 2003). Araştırmada kullanılan arıtma çamuruna ait görünüm Şekil 3.1’de, bazı özellikler ise Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Araştırmada kullanılan arıtma çamuru

Çizelge 3.1. Araştırmada kullanılan arıtma çamuruna ait bazı özellikler

Parametreler (Birim) (Kuru Madde)	Arıtma Çamurlarının Ortalama Değerleri (Bilgin vd 2002)	Araştırmada Kullanılan Arıtma Çamuru
Organik Madde (%)	50	34
Toplam N (%)	3,0	4,46
Toplam P (%)	1,5	1,1
KDK (me/100 gr)	-	62,43
Ca (%)	4,0	7,4
Mg (%)	0,4	1,9
Na (%)	0,7	0,2
K (%)	0,3	2,1
Fe (%)	1,7	0,10
Zn (ppm)	1200	873,53
Cu (ppm)	750	239,90
Mn (ppm)	250	903,99
pH	6-7	6,82
Elektriki İletkenlik (EC) (dS/m)	-	6,54
Kütle yoğunluğu (g/cm ³)	-	0,676
Kireç (%)	-	17,3
Salmonella (25 gr)	-	Yok
Helmint yumurtası (gr)	-	Yok

3.1.2. Araştırma alanının toprak özellikleri

Araştırmanın yürütüldüğü arazilere ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.2’de, toprak-su ilişkileri ise Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Araştırma alanı 39°52.160'-39°56.643' enlem ve 44°02.856'-44°30.343' boylamlarında yer almakta olup ortalama rakımı 833 m’dir. Bu alan içerisinde toprak işlemeli tarım yapılan araziler, drenaj tesisi kurulmuş ve kısmen ıslah edilmiş tuzlu-alkali araziler ile rüzgar erozyonuna maruz araziler bulunmaktadır.

Çizelge 3.2. Araştırma öncesi arazilere ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler

Toprak Derinliği (0-25 cm)			Araştırma Alanı		
			Toprak İşlemeli Tarım Yapılan Arazi	Tuzlu-Alkali Arazi	Rüzgar Erozyonuna Maruz Arazi
Fiziksel Özellikler	Tekstür	%Kum	41,16	43,56	69,39
		%Silt	23,30	27,32	19,42
		%Kil	35,54	29,12	11,19
	Tekstür Sınıfı		Killi tın	Killi tın	Kumlu tın
	Kütle Yoğunluğu (g/cm ³)		1,31	1,28	1,32 ^ε
	Tane Yoğunluğu		2,59	2,57	2,48
	Porozite (%)		49,40	50,40	46,73
	Agregat Stabilitesi (%)		47,82	2,69	-
Kimyasal Özellikler	pH [§]		8,27	9,25*	8,18
	Elektriki İletkenlik [§] (dS/m)		0,76	16,04	0,56
	Kireç İçeriği (%)		10,98	13,72	2,83
	Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP) (%)		2,73	50,70	2,92
	Organik Madde (%)		1,71	0,63	0,12
	Kasyon Değişim Kapasitesi (KDK) (me/100 gr)		35,19	42,78	22,58
	Değişebilir Na (me/100gr)		1,07	34,44	1,06
	Değişebilir K (me/100gr)		3,66	2,00	2,19
	Değişebilir Ca (me/100gr)		32,08	17,44	4,44
	Değişebilir Mg (me/100gr)		1,96	0,96	3,10
	Toplam N (%)		0,11	0,13	0,09
	Fe (ppm)		4,95	14,11	9,18
	Zn (ppm)		0,51	2,77	1,47
	Cu (ppm)		2,07	2,20	0,67
	Mn (ppm)		5,87	10,29	4,87

[§] : Satürasyon ekstraktında belirlenmiştir.

^ε : Hafif bünyeye sahip toprakların kütle yoğunluğunun 1,40-1,70 arasında değiştiği belirtilmektedir (Rowell 1994), ancak söz konusu alanın tüflü yapıda olmasından dolayı kütle yoğunluğu değeri bildirilen bu değerin altında belirlenmiştir.

* : Tuzlu-alkali toprakların sınıflandırılmasında, satürasyon ekstraktındaki pH değerinin 8,5'tan küçük olduğu belirtilmektedir, ancak yoğun tuz içeriğine sahip alanlarda bu değerin 8,5'tan daha büyük olabileceği de bildirilmiştir (USSL 1954; Anapalı 1991).

Çizelge 3.3. Araştırma öncesi arazilerin toprak-su ilişkileri

		Araştırma Alanı		
		Toprak İşlemeli Tarım Yapılan Arazi	Tuzlu-Alkali Arazi	Rüzgar Erozyonuna Maruz Arazi
Tarla Kapasitesi (P _w)	0-30 cm	20,67	25,23	15,31
	30-60 cm	20,21	26,29	15,25
	60-90 cm	21,09	26,47	15,18
Solma Noktası (P _w)	0-30 cm	13,25	19,04	5,35
	30-60 cm	13,32	19,10	5,38
	60-90 cm	13,33	19,08	5,38
Yarayışlı Su Miktarı (P _w)	0-30 cm	7,42	6,19	9,96
	30-60 cm	6,89	7,19	9,87
	60-90 cm	7,76	7,39	9,80
Permeabilite Katsayısı (cm/h)		2,016	0,030	3,965

Iğdır Ovası toprakları, azonal topraklar sınıfı içerisinde yer alan alüviyal ve kollüviyal büyük toprak gruplarından meydana gelmiştir. Ova topraklarının büyük bir kısmında derinlik 150 cm'den daha fazla olup batıdan doğuya gittikçe toprak kalınlığı artmaktadır. Toprak derinliğini sınırlayan, çakıl ve kum katmanlarıdır. Bu katmanlar Aras nehrinin geçmiş devirlerde yatak değiştirmesi sonucu oluşmuştur. Aras nehrinin yatak değiştirmesine bağlı olarak her çeşit bünyeye rastlanılmaktadır (Anonim 2002). Bu topraklarda, horizonlar bulunmaz veya bulunsa bile çok zayıf gelişmiştir. Buna karşılık, değişik özellikte mineral katmanlar bulunur (Dizdar 1983).

Farklı özellikler gösteren ova topraklarında, kilden kaba kum ve çakıla kadar değişen her çeşit bünyeye rastlanmaktadır (Oruç 1970, Kırımhan 1974). Ovada tuzluluk, alkalilik ve drenaj gibi toprak sorunları ile rüzgar erozyonuna rastlanılmaktadır. Ovanın hemen her tarafında tuzlu, alkali ve borlu topraklara rastlanılmaktadır. 83.211 ha'lık yüzölçümüne sahip olan Iğdır Ovasının 36.476 hektarı (%43,8) tuzlu-alkali ve borlu araziler olup, tarıma uygun değildir (Anonim 2006). Ova topraklarının kireç değerleri %10-15 arasında olmakla birlikte bazı arazilerde bu değerler %21-37 arasında değişmektedir.

3.1.3. Araştırmada kullanılan arpa bitkisi

Arıtma çamurunun arpa bitkisinin biyolojik ve tane verimine olan etkisini incelemek amacıyla, araştırma alanlarına yörede yaygın olarak kullanılan Tokak 157/37 arpa tohum çeşidi ekimi yapılmıştır.

3.1.4. Araştırma alanının jeolojik ve coğrafik özellikleri

Iğdır Ovası güneyindeki Ağrı dağının püskürttüğü lavlardan oluşan bazaltlarla örtülmüştür. Bu bazaltların üzeri, Aras nehrinin taşıdığı alüviyal materyal ile kaplanmıştır. Geçirimsiz kil tabakalarından dolayı ovanın güneydoğusunda bataklıklar görülmektedir. Iğdır Ovasının batısında kumtaşı, marn, şeyl ve çakıl gibi üniteleri

kapsayan pliyosen ile güneyinde özellikle kireç taşları ve üzerinde yeşilimsi, grimsi, yeşilimsi ve siyahımsı marnlı serilerden oluşan denizel miyosen bulunmaktadır (Çağlar ve Hızalan 1956). Bütün bu genç oluşumları çevreleyen neojen ve kuaternedeki volkanizmaların eseri olan andezit, bazalt, dolomit ve tüflü dış püskürtük malzemeleri yükseltileri görülmektedir (Anonim 1976).

Rüzgar erozyonu sahasının (13.542 ha) jeolojik yapısında, Büyük ve Küçük Ağrı dağları gibi iki büyük volkanik kaynağın meydana getirdiği tortul ve magmatik seri oluşumlar hakimdir. Tortul serilerden paleozoik yapı sahanın kuzeydoğusunda Ortaköy ile Yukarı Çiftlik köyleri arasında az bir yerde görülür. Kireç taşlarından oluşmuş bu yapılar sert, ince kristalli, düzgün tabakalanmalı ve gri renklidir. Yine senozoik ve kuaterner (alüvyon) yapılar yaygın şekilde birbiri üzerinde oluşmuşlardır. (Anonim 1970). Rüzgar erozyonu sahasında, Büyük ve Küçük Ağrı dağlarından inen sellerin gevşek piroklastik kayalar üzerinden akarken sürükledikleri erozyon malzemeleri geniş birikinti konileri oluşturmuşlardır. Bu koniler çok yaygın ve birbirleriyle birleşik durumdadırlar. Rüzgar erozyonu bu birikinti koniler üzerinde büyük ölçüde etkili olmaktadır.

3.1.5. Araştırma alanının iklim özellikleri

Iğdır Ovası Doğu Anadolu Bölgesi içerisinde, yükseltinin düşük ve etrafının yüksek dağlarla çevrili olması nedeniyle, özel bir mikroklima karakter gösterir. Ovada yazlar sıcak, kışlar ılıman geçer. Çok yıllık ortalama yağış miktarı 259,1 mm olup en fazla yağış ilkbaharda gerçekleşmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık 12,1°C olup en soğuk ay Ocak, en sıcak ay ise Temmuz'dur. Bağıl nemin en düşük düzeyine Temmuz ayında, en yüksek düzeyine ise Aralık ayında rastlanılmakta olup yıllık bağıl nem ortalaması %55'tir. Yıllık ortalama buharlaşma miktarı 1339,4 mm'dir (Anonim 2007).

Iğdır Ovasına ait uzun yıllara ilişkin ortalama aylık sıcaklık, bağıl nem ve toplam yağış miktarı Çizelge 3.4'de, araştırmanın yürütüldüğü yıllara ait değerler ise Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Iğdır ovasına ait uzun yıllara ilişkin iklim verileri

Meteorolojik Elemanlar	Aylar												Yıllık
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ort. Sic. (°C)	-2,9	-0,1	6,4	13,4	17,5	22,2	26,0	25,3	19,9	12,6	5,5	-0,3	12,1
Ort. Bağıl Nem (%)	66	60	51	50	51	46	44	46	51	62	65	68	55
Ort. Top. Yağ. (mm)	13,3	15,9	21,5	37,1	48,9	33,8	13,1	8,5	9,8	26,5	18,4	12,3	259,1
Ort. Buh. (mm)	-	-	-	118,6	154,8	228,8	278,0	259,6	187,6	100,8	11,2	-	1339,4

Çizelge 3.5. Araştırmanın yürütüldüğü yıllara ilişkin iklim verileri

Aylar	Meteorolojik Elemanlar								
	Ort. Sıcaklık (°C)			Ort. Bağıl Nem (%)			Ort. Top. Yağ. (mm)		
	2005	2006	2007	2005	2006	2007	2005	2006	2007
Ocak	-4,0	-3,9	-9,4	60,3	61,4	70,0	20,7	28,2	14,8
Şubat	-0,9	-0,9	-1,2	54,2	65,5	62,3	12,9	29,8	8,4
Mart	6,8	9,1	7,2	49,2	45,1	51,1	49,0	3,6	51,3
Nisan	15,2	14,3	10,7	44,4	54,8	50,2	29,5	96,9	67,4
Mayıs	18,5	19,5	19,4	49,6	48,4	48,3	38,7	47,5	28,2
Haziran	22,4	26,9	23,3	43,1	36,7	42,9	48,2	19,5	35,3
Temmuz	28,5	26,3	26,0	36,7	40,8	43,3	10,3	25,8	32,3
Ağustos	27,2	28,8	25,6	42,3	36,5	45,0	23,1	2,5	41,7
Eylül	21,0	21,8	23,1	45,4	41,4	44,4	11,8	3,4	0,0
Ekim	13,3	14,8	15,4	54,8	66,9	57,7	6,6	52,2	41,5
Kasım	6,1	6,1	6,0	57,0	51,4	56,8	2,3	8,0	40,8
Aralık	-0,4	-4,4	-	74,0	63,0	-	14,3	18,0	-
Yıllık	12,8	13,2	13,3	50,9	51	52	267,4	335,4	361,7

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme planı ve parsellerin hazırlanması

Araştırma şansa bağlı deneme blokları planına göre (Yıldız ve Bircan 1994) 3 paralelli olarak planlanmış olup, her bir deneme parselinin boyutu 300 cmx300 cm alınmıştır. Parseller arasında 100 cm genişliğinde servis banketleri bırakılmıştır. Ayrıca düşen yağışı parselde tutabilmek ve yüzey akışa engel olabilmek amacıyla parseller tesviye edilmiş ve etrafına 1/1 şevli ve 25 cm yüksekliğinde seddeler yapılmıştır (Şekil 3.2).



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.2. Deneme alanlarına ait bir görünüm (a – Toprak işlemeli tarım yapılan arazi, b- Tuzlu-alkali arazi, c- Rüzgar erozyonuna maruz arazi)

Parsellerin etrafı, insan ve/veya hayvan girmesini önlemek amacıyla, dikenli tel ile çevrilmiştir. Rüzgar erozyonu sahasının etrafı tel örgü ile çevrildiğinden dolayı bu alana dikenli tel çekilmemiştir.

Aritma çamuru uygulamasının toprakların yapısal özellikleri üzerine olan etkilerini daha açık bir şekilde ortaya koyabilmek ve parsellerde yapıyı homojen bir hale getirmek amacıyla araştırmanın kurulacağı arazilerde öncelikle pullukla sürüm yapılmış (25 cm), ardından agregatlar kombikürümle kırılmış ve toprağın yapısı bozulmuştur.

Parseller işlendikten sonra her bir parsel verilmesi gereken materyal tartılmış ve parsel yüzeyine homojen bir şekilde serilmiştir. Kürek ve bel gibi basit işleme aletleri ile toprağın üst 0-20 cm'lik kısmı işlendikten sonra derin dişli tırmıklar ile iyice karıştırılmış ve parsel yüzeyleri küçük dişli tırmık ile düzeltilmiştir.

Araştırmada çoğunlukla sebze tarımında kullanılan toprak işlemeli tarım yapılan arazi, drenaj tesisi kurulmuş ve kısmen ıslah edilmiş üzerinde uzun yıllardan beri tarım yapılamayan tuzlu-alkali arazi ve rüzgar erozyonuna maruz arazi üzerine kurulan deneme parsellerine kontrol (0), 4, 8 ve 12 t/da düzeylerinde arıtma çamuru uygulaması yapılmıştır.

Aritma çamuru uygulama düzeyinin toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkilerini belirlemek amacıyla 2004 yılında uygulama yapılan arazilerden 2005 yılında arpa ekimi öncesi, 2006 ve 2007 yıllarında ise arpa hasadı sonrası bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Arıtma çamuru uygulanan bu arazilerde 2005, 2006 ve 2007 yıllarında arpa yetiştirilmiştir.

3.2.2. Fiziksel özelliklere ait analizler

Toprak örneklerinin mekanik analizi “Bouyoucus Hidrometre” yöntemi ile (Gee and Bauder 1986) belirlenmiştir.

Toprakların kütle yoğunlukları Blake'e (1965a) göre, hacmi 100 cm³ olan paslanmaz çelik silindirlerle alınan bozulmamış toprak örneklerinin, etüvde 105°C'de kurutulup, kuru toprak ağırlıklarının silindir iç hacmine bölünmesiyle elde edilmiştir.

Tane yoğunluğu piknometre yöntemiyle Blake (1965b)'in belirttiği esaslara göre saptanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Piknometre yöntemiyle tane yoğunluğu tayini

Toprakların porozitesi Bower'e (1965) göre, özgül ağırlık ve kütle yoğunlukları değerlerinden yararlanılarak $\{n = [1 - (\gamma_t / (G_s \cdot \gamma_w))] * 100\}$ belirlenmiştir.

Eşitlikte;

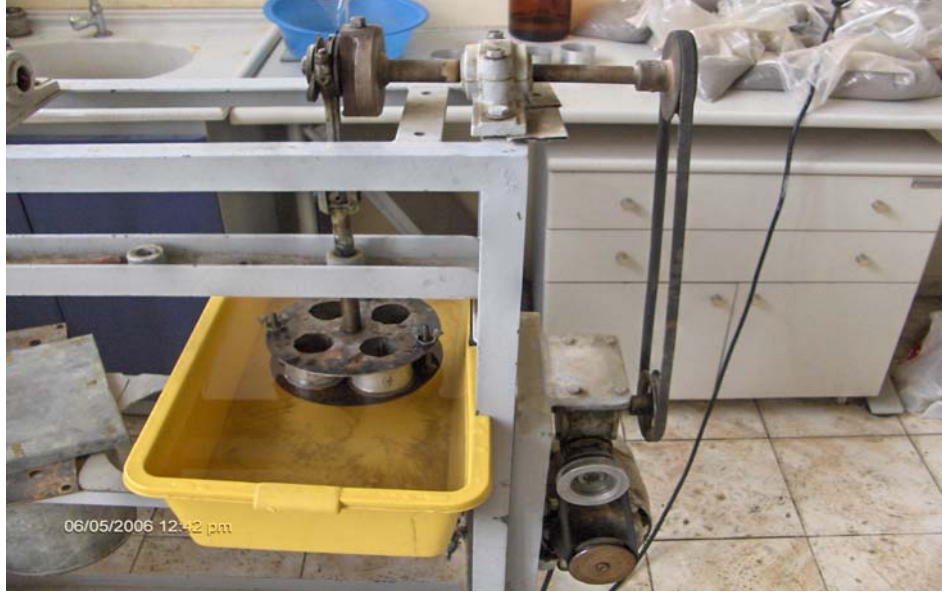
n : Poroziteyi (%),

γ_t : Kütle yoğunluğunu (gr/cm³),

G_s : Özgül ağırlık,

γ_w : + 4°C'daki saf suyun yoğunluğunu (gr/cm³) göstermektedir.

Toprakların agregat stabilitesi değerleri hava kurusu 4 gr. 1-2 mm. büyüklüğündeki agregat fraksiyonunun 0,25 mm. elek açıklığında, 12,7 mm darbe uzunluğu ve 42 devir/dakika darbe frekansına sahip Yoder tipi ıslak eleme makinesi kullanılarak belirlenmiştir (Kemper and Rosenau 1986) (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Yoder tipi ıslak eleme makinesi ile agregat stabilitesi tayini

Tarla kapasitesi, bozulmamış toprak örneklerinde $1/3$ atm, solma noktası ise bozulmuş toprak örneklerinde 15 atm basınç altında basınç makinesinde saptanmıştır (Richards 1948; Aran 1985) (Şekil 3.5). Yarayışlı su miktarı, toprakların tarla kapasitesi değerlerinden solma noktası değerlerinin çıkartılmasıyla elde edilmiştir (Richards 1949).



Şekil 3.5. Tarla kapasitesi ve solma noktasının belirlenmesi

Permeabilite katsayısı (k), Darcy eşitliği kullanılarak sabit seviyeli ICW laboratuvar permeametrosu ile bozulmamış toprak örnekleri üzerinde ve doymuş koşullarda tayin edilmiştir (Hanay vd 1996; Yağanoğlu 2000) (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. ICW laboratuvar permeametrosu ile permeabilite katsayısı (k) tayini

3.2.3. Kimyasal özelliklere ait analizler

Toprakların pH ve elektriksel iletkenlikleri saturasyon macunundan sağlanan ekstraktta pH-elektriksel iletkenlik aygıtı ile belirlenmiştir (Demiralay 1993).

Toprakların kireç içerikleri “Scheibler Kalsimetresi” ile volümetrik olarak (Nelson 1982) ve organik madde içerikleri de “Smith-Weldon” yöntemiyle belirlenmiştir (Nelson and Sommers 1982).

Toprakların kation değişim kapasiteleri (KDK), örneklerde sodyum asetatla (1 N, pH=8,2) sodyum adsorpsiyonu sağlandıktan sonra, amonyum asetatla (1 N, pH=7,0) ekstrakte edilen solüsyonlarda “Alev Fotometre”siyle Na^+ okuması yapılarak

(Rhoades 1982a), değişebilir katyonları da amonyum asetatla (1 N, pH=7,0) alkalanıp ekstrakte edildikten sonra Na^+ ve K^+ , “Alev Fotometre”’sinde okunarak, $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ ise EDTA yöntemiyle titrasyonla tespit edilmiştir (Rhoades 1982b).

Toprakların değişebilir sodyum yüzdesi (ESP), amonyum asetatla belirlenen değişebilir Na^+ miktarından, satürasyon ekstraktında belirlenen Na^+ miktarının çıkartılıp, KDK’ya bölünmesiyle elde edilmiştir (Sezen 1995).

DTPA yöntemine göre ekstrakte edilen szklerde atomik adsorbsiyon spektrofotometresinde okuma yapmak sureti ile bitki tarafından alınabilir mikro elementler (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} ve Cu^{2+}) belirlenmiştir (Lindsay and Norwell 1969).

Toprak rneklerinin azot içeriği sülfürik asit-tuz karışımı ile yaş yakmaya tabi tutulduktan sonra “Mikrokjheldahl” yöntemiyle belirlenmiştir (Bremner and Mulvaney 1982).

3.2.4. Arpa bitkisinin verimine ait analizler

Araştırmada arıtma çamuru uygulama düzeyinin arpa bitkisinin biyolojik ve tane verimine olan etkileri incelemek amacıyla deneme parsellerine m^2 ’ye 450 tohum sıklığı kullanılmıştır (Akten ve Akkaya 1986). 300 cmx300 cm boyutlarındaki deneme parsellerine el mibzeri ile 14 sıra ekim yapılmıştır. Ekim birinci yıl 15-17 Nisan 2005, ikinci yıl 12-15 Nisan 2006 ve nc yıl ise 16-17 Nisan 2007 tarihlerinde yapılmıştır. Sulama suyu uygulaması Evren (1995)’in belirttiği esaslara göre ekimde, sapa kalkma döneminde ve başaklanma döneminde birer olmak üzere toplam üç su olarak gerçekleştirilmiştir. Ancak rüzgar erozyonuna maruz arazide toprak tekstürünün kumlu yapıda olmasından dolayı bu alanda altı su uygulaması yapılmıştır. Bitkiler tam olgunluk döneminde geldiklerinde, birinci yılda 13 Temmuz 2005, ikinci yılda 24 Temmuz 2006 ve nc yılda ise 24 Temmuz 2007 tarihlerinde, parsel başlarından 100’er cm kenar tesiri atıldıktan sonra, geri kalan sıralar orakla hasat edilmiştir. Verim

parametresi olarak biyolojik (sap+tane) verim ile tane verimi incelenmiştir.

Biyolojik (sap+tane) verim, hasat edilen ürünlerin 5 gün süreyle kurumaya terk edilerek tartılmasıyla belirlenmiş ve kg/da'a çevrilmiştir. Hasat edilen parsellerden alınan tane ürünlerinin tartımının kg/da'a çevrilmesi ile tane verimi hesaplanmıştır (Akdeniz vd 2004).

3.2.5. İstatistik analizler

Şansa bağlı bloklar deneme planında yürütülen bu araştırmadan elde edilen sonuçlar tekrarlı ölçüm düzeninde varyans analizine (General Linear Model Repeated Measures) tabi tutulmuştur. Araştırmada blok ve uygulama düzeyi muameleler arası ana faktör, yıl faktörü ise muamele içi alt faktör olarak değerlendirilmiştir. Varyans homojenliği Levene testiyle kontrol edilmiş, verilere transformasyon uygulanmamıştır. Önemli bulunan ortalamalar arasındaki farklar 0,05 önem düzeyinde Duncan çoklu karşılaştırma testiyle belirlenmiştir (SPSS Inc. 2004).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Arıtma çamurlarının toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile arpa bitkisinin biyolojik ve tane verimine olan etkilerini incelemek amacıyla yürütülen bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, denemenin yürütüldüğü 3 farklı arazi grubuna göre ayrı ayrı aşağıda değerlendirilmiştir. Söz konusu değerlendirmelerin yıllara göre toplu sonuçları ise EK 1-9'da verilmiştir.

4.1. Arıtma Çamuru Uygulamasının Toprak İşlemeli Tarım Yapılan Arazi Üzerine Etkisi

Arıtma çamuru uygulama düzeylerinin (kontrol, 4, 8 ve 12 t/da) toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite, agregat stabilitesi, permeabilite katsayısı, tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su miktarı gibi fiziksel özellikleri ile pH, EC, organik madde, toplam azot, kireç, KDK, değişebilir katyonlar ve mikro elementler gibi kimyasal özelliklerine olan etkilerini belirlemek amacıyla, 2004 yılında uygulama yapılan arazilerden sırasıyla 2005 yılında arpa ekimi öncesi, 2006 ve 2007 yıllarında ise arpa hasadı sonrası bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Arıtma çamuru uygulama düzeyinin arpa bitkisinin biyolojik ve tane verimi üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla da, bu arazide 2005, 2006 ve 2007 yıllarında arpa bitkisi ekimi yapılmıştır.

4.1.1. Toprak fiziksel özellikleri üzerine etkisi

Arıtma çamuru uygulamasının toprak kütle yoğunluğu üzerine etkisi, Çizelge 4.1'de verilmiştir. Kültivasyon işlemlerinin yapıldığı söz konusu arazide kütle yoğunluğu, arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak bir azalış göstermiş olup söz konusu etki ilk örnekleme yılı olan 2005 yılında en yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Uygulamalara bağlı olarak elde edilen en düşük kütle yoğunluğu değerleri, yıllara bağlı olarak azalmakla birlikte, denemenin yürütüldüğü her üç yılda da 12 t/da düzeyinden elde

edilmiştir. Arıtma çamurunun en yüksek uygulama düzeyi kontrol parseli ile karşılaştırıldığında, kütle yoğunluğunu 0-30 cm toprak derinliğinde 2005 yılında %9,16 oranında azaltırken, 2006 ve 2007 yıllarında bu değişim eser miktarlarda meydana gelmiştir. Yıllar ortalaması dikkate alındığında, 8 ve 12 t/da uygulamalarının kontrol parseline göre daha etkin ve önemli olduğu saptanmıştır. Kütle yoğunluğundaki bu azalış, arıtma çamurunun kütle yoğunluğunun düşük olmasından ($0,676 \text{ g/cm}^3$) ve toprak agregasyonunda oluşan olumlu etkiden kaynaklanabilir. Organik madde içeriği yüksek olan maddelerin topraklara uygulanmasına bağlı olarak kütle yoğunluğunda meydana gelen azalışlar Aggelides and Londra (2000), Tsadilas *et al.* (2005), Cheng *et al.* (2007) ve Tejada and Gonzalez (2007) tarafından yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4.1. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin kütle ve tane yoğunluğu ile toplam porozitesi üzerine olan etkileri

Kütle Yoğunluğu (gr/cm ³)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	1,31±0,04aA ^t	1,28±0,01aA	1,27±0,02aA	1,28±0,02a
4	1,22±0,05bA	1,27±0,01aA	1,26±0,01aA	1,25±0,02ab
8	1,20±0,02bA	1,26±0,01aA	1,24±0,00aA	1,23±0,01b
12	1,19±0,01bB	1,26±0,01aA	1,23±0,01aAB	1,23±0,01b
Tane Yoğunluğu				
Kontrol	2,588±0,007aA	2,567±0,005aB	2,548±0,009aC	2,568±0,005a
4	2,585±0,008aA	2,567±0,008aB	2,544±0,005aC	2,565±0,005a
8	2,580±0,006aA	2,567±0,009aA	2,544±0,013aB	2,564±0,006a
12	2,566±0,010bA	2,566±0,002aA	2,525±0,004bB	2,552±0,005b
Porozite (%)				
Kontrol	49,50±1,57bA	50,32±0,25aA	50,34±0,60aA	50,05±0,55b
4	52,84±1,78aA	50,61±0,40aB	50,34±0,56aB	51,26±0,65ab
8	53,42±0,81aA	51,09±0,42aB	51,12±0,30aB	51,88±0,38a
12	53,80±0,31aA	50,97±0,26aB	51,20±0,46aB	51,99±0,32a

^t : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort $\pm$ SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Arıtma çamuru uygulamasının toprak tane yoğunluğu üzerine etkisi, Çizelge 4.1’de görülmektedir. Toprak tane yoğunluğu, arıtma çamuru ilavesine bağlı olarak bir azalış

göstermiştir. Söz konusu azalış daha çok 8 ve 12 t/da gibi yüksek uygulama düzeylerinde kendisini göstermiş olup bu etki yıllar itibariyle de farklılıklar sergilemiştir. Ancak bu etki, üç yılın ortalaması dikkate alındığında yalnızca 12 t/da uygulama düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tane yoğunluğunda belirlenen bu azalış, yüksek düzeylerde arıtma çamuru uygulanan toprakların organik madde içeriğinde meydana gelen değişim ile açıklanabilir. Hanay (1990) organik kökenli materyal uygulamasının toprakların tane yoğunluğunda azalışa neden olduğunu belirtmiştir.

Arıtma çamuru uygulamasının toplam porozitede meydana getirdiği değişim Çizelge 4.1’de verilmiştir. Arıtma çamuru uygulamasının toprak kütle ve tane yoğunluğunda oluşturduğu olumlu etkiler, toplam porozite de gözlemlenmiştir. Söz konusu değişim, ilk örnekleme yılı olan 2005 yılında en yüksek düzeyde tespit edilirken, 2006 ve 2007 yıllarında azalan düzeylerde etkisini göstermiştir. Porozitede meydana gelen bu değişim, arıtma çamuru uygulamasının agregat oluşumu üzerine yaptığı olumlu etkiden kaynaklanmış olabilir (Çizelge 4.2). Araştırmanın yürütüldüğü üç yılın ortalaması dikkate alındığında bu değişimler 4, 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinde kontrol parseline göre sırası ile %2,42, %3,66 ve %3,88 oranında gerçekleşmiştir. Çizelge 4.1’de de görüldüğü üzere, yıllar ortalamasında uygulamalar arasında istatistiksel olarak bir farklılık tespit edilmemiştir. Söz konusu durum, toprağın sahip olduğu tekstürel yapıdan (CL) kaynaklanmış olabilir. Benzer sonuçlar birçok araştırmacı tarafından da saptanmıştır (Guidi and Hall 1983; Olson and Jones 1988; Weber *et al.* 2007). Sort and Alcañiz (1999a) arıtma çamuru uygulamasının toprakların toplam porozitesini artırdığını, ancak bu değişimin geçici olduğunu, çünkü arıtma çamuru uygulamasından bir yıl sonra kontrol parseli ile deneme parseli arasında porozite ile ilgili önemli bir farklılığın olmadığını belirtmişlerdir.

Çizelge 4.2’de de görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulaması örnekleme yapılan tüm yıllarda agregat stabilitesini önemli düzeyde artırmıştır. Arıtma çamurunun en yüksek uygulama düzeyi (12 t/da) agregat stabilitesini 2005 yılında kontrol parseline göre %21,62 oranında artırırken, bu değişim diğer yıllarda (2006 ve 2007) sırası ile %5,00 ve

%12,79 oranında gerçekleşmiştir. Yıllara bağlı olarak meydana gelen bu azalış, arıtma çamurunun etkinliğini kaybetmesinden ve organik madde içeriğinin azalmasından kaynaklanmış olabilir (Sort and Alcañiz 1999b; Holz *et al.* 2000).

Çevre kalitesinin korunması ve tarımsal üretimin devamlılığı için tercih edilen toprak karakteristiği toprak strüktürüdür. Agregatlar arasındaki porların büyüklüğü ve dağılımı, toprakta suyun depolanması ve hareketi, havalanma, erozyon, biyolojik aktivite ve bitkilerin büyümesi iyi bir stabiliteye bağlıdır. Agregat stabilitesini yükseltmek için uygulanan yönetimin toprak üretkenliğini korunması, erozyonu ve degradasyonu minimize etmesi önemli bir zorunluluktur (Amezketta 1999).

Çizelge 4.2. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin agregat stabilitesinde ve permeabilite katsayısı değerlerinde meydana getirdiği değişimler

Agregat Stabilitesi (%)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	42,56±1,90cB [†]	56,25±2,02aA	54,49±1,07cA	51,10±1,53d
4	43,57±0,48cB	58,40±0,77aA	55,58±0,93cA	52,52±1,33c
8	48,26±1,42bB	58,70±2,72aA	58,62±0,66bA	55,19±1,39b
12	51,76±0,93aB	59,06±1,49aA	61,46±0,60aA	57,43±1,00a
Permeabilite Katsayısı (cm/h)				
Kontrol	2,113±0,115cB	2,388±0,054cAB	2,710±0,110aA	2,403±0,072c
4	2,343±0,110cB	2,779±0,123cAB	2,922±0,148aA	2,681±0,086c
8	3,524±0,179bA	3,367±0,082bAB	2,997±0,096aB	3,296±0,082b
12	5,742±0,311aA	5,556±0,322aA	3,070±0,232aB	4,789±0,288a

[†] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere, arıtma çamuru uygulaması agregat stabilitesinde olduğu gibi, permeabilite katsayısı değerlerinde de önemli bir artışa neden olmuştur. Artan uygulama düzeyine bağlı olarak permeabilite katsayılarında artış saptanmıştır. Ancak bu artış iki yıl süreli olmuştur. 2007 yılında uygulamalar arasında istatistiksel olarak herhangi bir farklılık çıkmamıştır. Söz konusu durum, arıtma çamurunun etkinliğini kaybetmesi ile açıklanabilir. Permeabilite katsayısında meydana gelen bu artışın, agregasyonun iyileşmesi ve kütle yoğunluğundaki azalış ile ilişkili olduğu

Kelling *et al.* (1977), Harris and Megharaj (2001) ve Hati *et al.* (2007) tarafından bildirilmiştir. Her ne kadar arıtma çamuru ilavesi ile permeabilite katsayısında önemli artışlar sağlanmışsa da, bu artışlar toprak permeabilite sınıfında (Klute 1965) herhangi bir sınıf değişimine neden olacak seviyeye ulaşmamıştır. Toprak permeabilite sınıfı orta sınıfta (2,00-6,25 cm/h) yer almıştır.

Sızan su ile tutulan su arasındaki kritik değeri oluşturan tarla kapasitesi, organik karakterli arıtma çamurunun uygulanması ile birlikte bir artış göstermiştir (Çizelge 4.3). Tarla kapasitesinde meydana gelen bu artış, denemenin yürütüldüğü her üç yılda, her üç uygulama düzeyinde etkisini göstermiştir. En yüksek artış, organik madde içeriğinin artmasından dolayı 12 t/da uygulama düzeyinden elde edilmiştir. Tüm uygulama düzeylerinde görülen bu artış 2005 yılında en yüksek düzeyde tespit edilirken, 2006 ve 2007 yıllarında azalan bir seyir takip etmiştir. Arıtma çamuru uygulamasının toprakların tarla kapasitesi değerini artırdığı birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Navas *et al.* 1998; Holz *et al.* 2000; Veeresh *et al.* 2003; Hati *et al.* 2007).

Çizelge 4.3. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su miktarı değerleri üzerine olan etkileri

Tarla Kapasitesi (P_w)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	21,16±1,33cA [†]	20,38±0,48bA	19,90±0,22bA	20,48±0,47c
4	23,58±1,75bA	22,76±0,85aA	21,01±0,28aB	22,45±0,66b
8	25,13±1,27abA	23,39±0,36aA	21,36±0,49aA	23,29±0,54ab
12	27,64±1,46aA	23,78±0,44aB	21,56±0,23aC	24,33±0,70a
Solma Noktası (P_w)				
Kontrol	13,22±0,04dB	13,28±0,06dB	13,60±0,52bA	13,36±0,17d
4	15,21±0,21cA	14,43±0,05cB	13,62±0,50bC	14,42±0,22c
8	15,75±0,04bA	14,82±0,05bB	13,74±0,56abC	14,77±0,24b
12	16,38±0,16aA	15,39±0,11aB	13,97±0,71aC	15,25±0,31a
Yarayışlı Su Miktarı (P_w)				
Kontrol	7,94±1,33aA	7,11±0,47aA	6,31±0,51bA	7,12±0,50b
4	8,37±1,69aA	8,32±0,85aA	7,39±0,34aA	8,03±0,62ab
8	9,38±1,27aA	8,56±0,39aA	7,62±0,45aA	8,52±0,47ab
12	11,26±1,47aA	8,39±0,48aB	7,59±0,81aB	9,08±0,64a

[†] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Solma noktası değerleri, tıpkı tarla kapasitesinde olduğu gibi, artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bir artış göstermiştir (Çizelge 4.3). Arıtma çamurunun solma noktası üzerine olan etkisi yıllar itibariyle farklılıklar göstermiş olup en yüksek etki ilk örnekleme yılından (2005) elde edilmiştir. Son örnekleme yılında istatistiksel anlamda bir farklılık bulunmasına rağmen, tutulan su bakımından çok önemli bir değişim saptanmamıştır. Toprak solma noktasında meydana gelen bu artış, toprak organik madde içeriğinde meydana gelen değişim ile ilişkilendirilebilir (Epstein 1975; Tsadilas *et al.* 2005).

Arıtma çamuru uygulamasının yarayışlı su miktarında meydana getirdiği değişim Çizelge 4.3’de verilmiştir. Tarla kapasitesi ile solma noktası arasında tutulan su olarak tanımlanan yarayışlı su miktarı, arıtma çamuru uygulama düzeyine bağlı olarak değişim göstermiştir. Söz konusu değişim, tarla kapasitesinde meydana gelen artışın solma noktasından daha yüksek bir oranda gerçekleşmesinden kaynaklanmıştır. Elde edilen bu bulgu, birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalar ile uyum göstermektedir (Kelling *et al.* 1977; Aggelides and Londra 2000; Cheng *et al.* 2007). Yarayışlı su miktarında meydana gelen bu değişim uygulamayı takip eden ilk yılda etkisini göstermiştir. Diğer yıllarda istatistiksel olarak bir farklılık tespit edilmesine karşın, bu etki bitki su ihtiyacının karşılanmasında çok büyük bir değişime neden olacak boyutlara ulaşmamıştır.

4.1.2. Toprak kimyasal özellikleri üzerine etkisi

Arıtma çamuru uygulamasının toprak pH’sında meydana getirdiği değişim Çizelge 4.4’de verilmiştir. Arıtma çamuru uygulamasının toprak pH’sı üzerine olan etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş olup söz konusu etki yıllar itibariyle de değişiklikler göstermiştir. Ancak üç yılın ortalaması değerlendirildiğinde yalnızca 12 t/da uygulama düzeyinin diğer düzeylere göre daha etkili olduğu saptanmıştır. Arıtma çamurunun 4 ve 8 t/da uygulama düzeyleri ile kontrol parseli arasında pH değişimi açısından fark çıkmamıştır. Bu değişim, mineralizasyon süreci ile meydana gelen asitlik unsurlarının hem toprağın sahip olduğu yüksek tamponluk kapasitesi ile nötralizasyonu,

hem de arıtma çamurunun sahip olduğu değişebilir iyonlarla tamponlanması ile açıklanabilir (Wong *et al.* 1996; Stamatiadis *et al.* 1999). Söz konusu tamponluk gücü sadece 12 t/da uygulama düzeyi ile aşılmıştır. Bu durum pH değişimi sağlanmak istenen yüksek tamponluk kapasitesine sahip topraklara daha yüksek miktarlarda arıtma çamuru uygulamasını gerektirebilir.

Çizelge 4.4. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin pH ve elektriki iletkenliğinde (EC) meydana getirdiği değişimler

	pH			
Uygulama	Yıllar			Ortalama
Düzeyi (t/da)	2005	2006	2007	
Kontrol	8,42±0,01bA [‡]	7,45±0,02aC	7,89±0,01aB	7,92±0,08a
4	8,50±0,02aA	7,44±0,02aC	7,86±0,01bB	7,93±0,09a
8	8,48±0,01aA	7,44±0,01aC	7,86±0,01bB	7,93±0,08a
12	8,40±0,01bA	7,39±0,00bC	7,86±0,01bB	7,88±0,08b
	EC (dS/m)			
Kontrol	0,90±0,01cB	1,01±0,02cA	0,74±0,02cC	0,88±0,02d
4	1,00±0,02bB	1,11±0,01bA	0,84±0,01bC	0,98±0,02c
8	1,18±0,05aA	1,14±0,03abA	0,87±0,01bB	1,06±0,03b
12	1,21±0,04aA	1,15±0,01aA	0,93±0,02aB	1,10±0,03a

[‡] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Çizelge 4.4’de görüldüğü üzere, toprak elektriki iletkenliği (EC) uygulanan arıtma çamuru düzeyine bağlı olarak istatistiksel açıdan önemli değişiklikler göstermiştir. Yıllara bağlı olarak meydana gelen değişim birbirinden farklılık göstermiş olup 2005 yılında en yüksek EC değeri 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinde saptanmıştır. Ancak bu etki daha sonraki yıllarda (2006 ve 2007) azalarak devam etmiştir. Denemenin yürütüldüğü her üç yılın ortalaması dikkate alındığında, istatistiksel olarak bir artış saptanmışsa da, bu artış bitki yetiştiriciliği için kısıtlayıcı bir tuz stresi düzeyine ulaşmamıştır. Söz konusu etkinin zamanla azalması, arıtma çamurunun etkinliğini kaybetmesi ve sulama uygulamasına bağlı olarak tuzun bitki kök bölgesinden uzaklaşması ile ilişkilendirilebilir (Aşık ve Katkat 2004; Perez-Murcia *et al.* 2006; Gascó and Lobo, 2007).

Aritma çamuru uygulamasının toprak kireç içeriğinde meydana getirdiği değişim Çizelge 4.5’de verilmiştir. Orta düzeyde (%5-15 CaCO_3) kirece sahip toprağa fazla düzeyde kireçli (%17,3 CaCO_3) arıtma çamuru ilavesi toprak kireç içeriğinde istatistiksel olarak bir değişime neden olmasına karşın, kireç içeriği sınıfında (Lindsay and Norwell 1969; FAO 1990) herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır. Toprak kireç içeriği, artan uygulama düzeyine bağlı olarak artış göstermiştir. En yüksek artış 2006 yılında 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinden elde edilmiştir. En düşük kireç içeriği pH değişiminde olduğu gibi 2007 yılından elde edilmiştir. Söz konusu yıldaki bu azalış, pH’da meydana gelen azalışla ilişkili olarak CaCO_3 içeriğinin çözünürlüğünün artmasına bağlanabilir (Kacar ve Katkat 2006).

Çizelge 4.5. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin kireç, organik madde ve azot içeriğine olan etkileri

Uygulama Düzeyi (t/da)	Kireç (%)			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	11,39±0,14cB [†]	12,21±0,21bA	8,71±0,07bC	10,77±0,31c
4	12,20±0,31bA	12,49±0,09bA	9,22±0,04aB	11,31±0,31b
8	12,35±0,22bB	13,20±0,22aA	9,25±0,05aC	11,60±0,35a
12	12,89±0,21aA	13,21±0,17aA	9,26±0,14aB	11,79±0,36a
Uygulama Düzeyi (t/da)	Organik Madde (%)			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	1,33±0,07dC	1,64±0,07bA	1,45±0,03cB	1,47±0,04d
4	2,21±0,07cA	1,77±0,02bB	1,73±0,05bB	1,91±0,05c
8	2,87±0,06bA	2,09±0,12aB	1,82±0,05bC	2,26±0,10b
12	3,45±0,11aA	2,26±0,03aB	1,96±0,08aC	2,56±0,13a
Uygulama Düzeyi (t/da)	Azot (%)			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	0,13±0,01cA	0,09±0,00dB	0,08±0,00dC	0,10±0,01d
4	0,19±0,01bA	0,12±0,00cB	0,09±0,00cC	0,13±0,01c
8	0,19±0,01bA	0,13±0,00bB	0,10±0,00bC	0,14±0,01b
12	0,26±0,02aA	0,16±0,00aB	0,11±0,00aC	0,18±0,01a

[†] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Çizelge 4.5’de de görüldüğü gibi, organik madde içeriği yüksek arıtma çamurunun (%34) az düzeyde organik madde içeren toprağa uygulanması toprak organik madde içeriğini önemli düzeyde artırmıştır. Aynı etki birçok araştırmacı tarafından da ortaya

konmuştur (Hernández-Apaolaza *et al.* 2005; Tsadilas *et al.* 2005; Cheng *et al.* 2007). Toprak organik maddesi, uygulanan doz artışına paralel olarak her üç yılda da istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Toprak organik madde içeriği uygulanan dozlara bağlı olarak 4 ve 8 t/da uygulamalarında az düzeyden orta düzeye, 12 t/da uygulamasında ise iyi düzeye gelmesine neden olmuştur (Lindsay and Norwell 1969). Ancak bu seviyeler organik atığın mineralizasyonuna bağlı olarak zamanla azalmıştır (Ajwa and Tabatabai 1994). Atık uygulamasının toprak organik madde içeriğine yaptığı bu katkı, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı üzerine olumlu etkiler yapmasında oldukça önemli bir paya sahiptir.

Arıtma çamuru uygulamasının toprak organik madde içeriğinde meydana getirdiği değişimin bir benzeri de toprak azot içeriğinde belirlenmiştir (Çizelge 4.5). Yıllar ortalaması dikkate alındığında, tüm uygulama düzeyleri kontrol parseline göre önemli düzeyde değişiklikler göstermiş olup en yüksek etki 12 t/da, en düşük etki ise 4 t/da uygulamasında elde edilmiştir. Söz konusu etki, toplam azot içeriği %4,46 olan arıtma çamuru ilavesinden kaynaklanmıştır (Navas *et al.* 1998; Wong *et al.* 1998; Veeresh *et al.* 2003). Ancak arıtma çamurunun toprakların azot içeriğe yaptığı bu olumlu etki yalnızca 2 yıl süreli olmuştur. Bitkilerin azot ihtiyacının arıtma çamuru ile giderilmesinin düşüldüğü durumlarda bu madde her iki yılsonunda uygulanmalıdır.

Arıtma çamuru uygulamasının katyon değişim kapasitesinde meydana getirdiği değişim Çizelge 4.6'da verilmiştir. Topraklardaki negatif yük kaynaklarını oluşturan kil ve organik madde, katyon değişim kapasitesini (KDK) etkileyen en önemli parametrelerdendir. Killi tın tekstüre sahip toprağa değişen düzeylerde arıtma çamuru ilavesi KDK değerini her üç yılda da istatistiksel düzeyde etkilemiştir. Söz konusu farklılık, toprak organik madde içeriğinde meydana gelen olumlu değişimden kaynaklanmıştır. Organik maddenin toprak KDK'sı üzerine sağladığı olumlu etki birçok araştırmacı tarafından da ortaya konulmuştur (Saviozzi *et al.* 1999; Bergkvist *et al.* 2003; Antolín *et al.* 2005). En yüksek KDK değerleri, uygulamayı takip eden ilk yıl (2005) 12 t/da uygulama düzeyinden elde edilmiştir. Ancak bu seviyeler organik atığın mineralizasyonuna bağlı olarak zamanla azalmıştır (Ajwa and Tabatabai 1994). Bu

durum yıllar ortalamasının değerlendirilmesinden de anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.6. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin katyon değişim kapasitesi (KDK) ve değişebilir katyonları üzerine olan etkisi

Katyon Değişim Kapasitesi (me/100 gr)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	35,00±0,20cB [‡]	34,50±0,35bB	36,94±0,39bA	35,48±0,27d
4	38,31±0,16bA	34,67±0,27bC	37,46±0,63bB	36,81±0,38c
8	38,74±0,30bA	35,04±0,56abB	38,38±0,36aA	37,39±0,40b
12	42,05±0,17aA	35,96±0,53aC	39,02±0,23aB	39,01±0,52a
Na (me/100 gr)				
Kontrol	0,93±0,02aA	0,79±0,00bB	0,68±0,02bC	0,80±0,02a
4	0,94±0,05aA	0,80±0,00aB	0,74±0,02aC	0,83±0,02a
8	0,92±0,03aA	0,80±0,00aB	0,74±0,01aC	0,82±0,02a
12	0,89±0,01aA	0,81±0,00aB	0,77±0,01aC	0,82±0,01a
K (me/100 gr)				
Kontrol	3,88±0,03bA	1,19±0,02bB	0,71±0,01dC	1,93±0,27c
4	3,86±0,07bA	1,20±0,01bB	0,78±0,02cC	1,95±0,27c
8	4,03±0,08bA	1,24±0,02aB	0,87±0,02bC	2,05±0,28b
12	4,34±0,12aA	1,26±0,01aB	0,95±0,02aC	2,18±0,30a
Ca (me/100 gr)				
Kontrol	28,39±0,44aA	12,66±0,07bB	9,28±0,04aC	16,78±1,64a
4	27,51±0,78bA	12,61±0,05bB	9,34±0,04aC	16,49±1,57ab
8	26,37±0,51cA	12,89±0,06aB	9,32±0,03aC	16,20±1,45b
12	25,23±0,45dA	13,00±0,05aB	9,38±0,04aC	15,87±1,34c
Mg (me/100 gr)				
Kontrol	2,09±0,24dC	2,97±0,02bA	2,91±0,02cB	2,65±0,11d
4	6,00±0,83cA	3,00±0,01abB	2,90±0,02cC	3,97±0,39c
8	7,41±0,63bA	3,00±0,02abB	2,99±0,02bB	4,47±0,46b
12	11,60±0,55aA	3,03±0,02aB	3,06±0,02aB	5,89±0,81a

[‡] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Arıtma çamuru uygulamasının değişebilir katyonlar üzerine olan etkisi Çizelge 4.6'da verilmiştir. Arıtma çamuru uygulama düzeyi, toprak değişebilir Na⁺ içeriğinde araştırmanın yapıldığı yıllar itibariyle bir değişime neden olurken, bu değişim bitki büyümesini ve toprak tuzluluğunu etkileyecek oranlarda gerçekleşmemiştir. Elde edilen bulgular yapılan pek çok çalışma ile benzerlik göstermektedir (Veeresh *et al.* 2003; Weber *et al.* 2007). Söz konusu etkinin çok düşük düzeylerde gerçekleşmesi yıllar

ortalamasında da açıkça görülmektedir (Çizelge 4.6). Tarım yapılan alanlarda kültür bitkilerinin ihtiyaç duyduğu değişebilir K^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} içeriğine fazlasıyla sahip olan toprağa arıtma çamuru uygulaması bu elementlerin bitkiye yararışlı dilimlerinde ilave katkılar sağlamıştır. Ancak toprağın sahip olduğu her üç elementin içeriği yıllara bağlı olarak bir azalış göstermiştir. Söz konusu alanda üç yıl boyunca bitki yetiştiriciliği yapılmasına rağmen, üç yılın sonunda toprakta bulunan söz konusu elementler bitkiler için gerekli olan kritik seviyelerini muhafaza etmişlerdir.

Fiziksel bakımdan üretkenlik parametrelerini sınırlandıran tarımsal alanların ıslahı için uygulanan organik girdiler aynı zamanda bitkiler için gerekli olan bazı besin elementlerini de sağlaması açısından önemli bir kaynaktır. Bu uygulamalar içerisinde önemli bir paya sahip olan arıtma çamurları özel yapılarından dolayı diğer organik kaynaklardan bazı farklılıklar göstermektedir. Arıtma çamurları, yapılarında bulundurduğu yüksek ağır metal içeriğinden dolayı uzun süreli uygulamalar sonunda topraklarda istenmeyen bazı olumsuzluklara neden olabilmektedir (Kelly *et al.* 1999). Bu olumsuz etkiler, stabilizasyon alanında meydana gelen teknolojik gelişmelere bağlı olarak minimum düzeye indirilebilmektedir (Epstein 2003). Araştırmada kullanılan arıtma çamuru elde edilmesi sırasında uygulanan stabilizasyon işlemlerinden dolayı, bu parametreler göz önüne alındığında risk oluşturmayacak ağır metal kompozisyonuna sahiptir.

Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere, arıtma çamuru tüm uygulama düzeylerinde her ne kadar toprak Fe^{+2} , Mn^{+2} , Zn^{+2} ve Cu^{+2} içeriklerinde bitkilerin ihtiyaç duyduğu kritik konsantrasyonlardan daha yüksek düzeylerde bir artış sağlamışsa da, bu artış yetiştirilen arpa bitkisinin veriminde herhangi ters bir etkiye neden olmamıştır. Yukarıda ifade edildiği gibi stabilizasyon işlemlerine maruz bırakılmamış arıtma çamurlarının aynı alana uzun yıllar boyunca uygulanması, toprak ağır metal içeriğinin artmasına neden olabilir (Richards *et al.* 1998; Cerezo *et al.* 1999; Bhogal *et al.* 2003; Mantovi *et al.* 2005). Arıtma çamurunun kolay ve ucuz temin edildiği alanlarda bu maddenin bilinçsizce kullanımı, uzun vadede geri dönüşümü zor olan bazı olumsuzlukların ortaya çıkmasına da neden olabilir. Bu nedenle tarımsal alanlara uygulanacak arıtma

çamurlarının seçiminde bu faktörlerin göz önünde bulundurulması bir zorunluluktur.

Çizelge 4.7. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan arazilerin mikro element içeriğine olan etkisi

Fe (ppm)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	4,95±0,19dA [†]	4,85±0,16cAB	3,50±0,58cB	4,43±0,24d
4	8,82±0,39cA	6,03±0,38cB	5,74±0,33bB	6,86±0,34c
8	13,66±0,49bA	8,71±0,73bB	5,65±0,36bC	9,34±0,72b
12	16,96±0,58aA	10,93±0,67aB	7,50±0,67aC	11,80±0,85a
Mn (ppm)				
Kontrol	5,31±0,25cA	2,64±0,10dB	2,00±0,08aC	3,32±0,30d
4	7,75±0,46bA	4,13±0,08cB	2,00±0,06aC	4,63±0,49c
8	7,16±0,19bA	5,97±0,32bB	2,11±0,06aC	5,08±0,44b
12	10,29±0,27aA	7,12±0,10aB	2,16±0,08aC	6,52±0,66a
Cu (ppm)				
Kontrol	1,71±0,14dA	1,73±0,08dA	1,65±0,07cA	1,70±0,06d
4	5,82±0,23cB	4,45±0,12cC	7,37±0,11bA	5,88±0,25c
8	9,27±0,16bA	6,91±0,15bC	7,42±0,18bB	7,86±0,22b
12	11,38±0,19aA	11,49±0,23aA	8,74±0,19aB	10,54±0,27a
Zn (ppm)				
Kontrol	0,80±0,06dB	3,62±0,12dA	1,19±0,09dB	1,87±0,25d
4	6,58±0,18cA	6,91±0,69cA	5,34±0,41cB	6,28±0,30c
8	12,60±0,24bA	12,69±0,31bA	7,17±0,07bB	10,82±0,52b
12	19,87±0,32aA	16,13±1,04aB	13,51±0,55aC	16,50±0,64a

[†] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

4.1.3. Arpa bitkisinin verimi üzerine etkisi

Hasat edilen ürünlerin 5 gün süreyle kurumaya terk edilerek tartılmasıyla belirlenmiş olan biyolojik (sap+tane) verim, artan arıtma çamuru uygulama düzeyine bağlı olarak bir artış göstermiştir (Çizelge 4.8). Yıllar ortalaması dikkate alındığında kontrol, 4, 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinde biyolojik verim sırası ile 517,99, 658,34, 697,31 ve 768,46 kg/da elde edilmiştir. Biyolojik verimde saptanan bu değişimler 4, 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinde kontrol parseline göre sırası ile %27,10, %34,62 ve %48,35 oranında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.8. Arıtma çamuru uygulamasının arpa bitkisinin biyolojik ve tane verimi üzerine olan etkisi

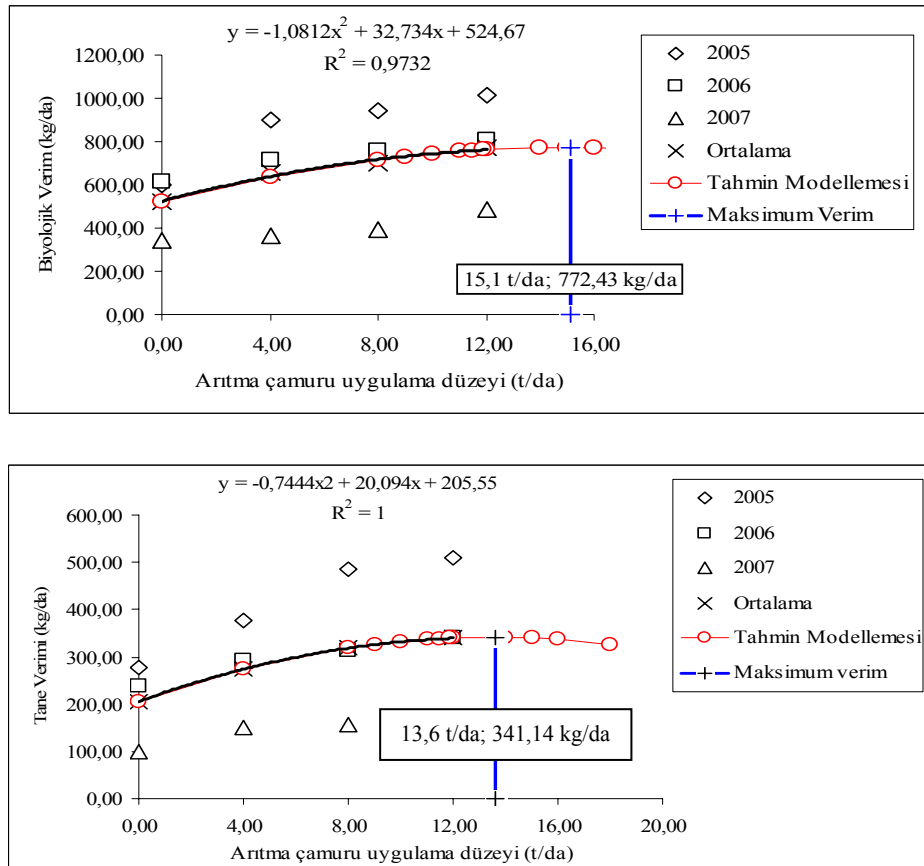
Biyolojik (Sap+Tane) Verim (kg/da)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	598,09±20,77cA [£]	611,69±2,87dA	344,20±25,43bB	517,99±44,52c
4	900,78±7,59bA	712,01±5,36cB	362,23±2,63bC	658,34±78,93b
8	941,96±6,16bA	756,60±2,39bB	393,37±31,54bC	697,31±81,09b
12	1011,84±23,04aA	807,31±17,88aB	486,22±13,05aC	768,46±77,04a
Tane Verimi (kg/da)				
Kontrol	278,39±9,55dA	239,18±14,78bA	99,12±5,64cB	205,56±27,72d
4	377,39±4,70cA	293,47±5,59aB	151,14±5,50bC	274,00±33,12c
8	485,05±2,98bA	314,36±17,58aB	156,64±4,08abC	318,68±47,71b
12	508,41±3,11aA	341,17±20,66aB	168,87±6,01aC	339,48±49,41a

[£] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=3). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Çizelge 4.8’de görüldüğü üzere 4 ve 8 t/da uygulama düzeylerinin yıllar ortalamasında istatistiksel olarak herhangi bir farklılığına neden olmadığı belirlenmiştir. Söz konusu bu benzerlik, toprak organik madde ve azot içeriğinde meydana gelen değişim ile uyum göstermiştir (Çizelge 4.5). Arıtma çamuru gibi organik madde içeriği yüksek olan maddelerin topraklara uygulanmasına bağlı olarak verimde meydana gelen artışlar Cunningham *et al.* (1975), Zhang *et al.* (2000), Antolín *et al.* (2005), Wei and Liu (2005) tarafından yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Yıllar dikkate alındığında ise en yüksek biyolojik verim arıtma çamuru ilavesini takip eden ilk yılda (2005) saptanırken, bu etki diğer yıllarda arıtma çamurunun etkinliğini kaybetmesinden dolayı azalan oranlarda gerçekleşmiştir. Tüm yıllarda en yüksek biyolojik verim, en yüksek uygulama düzeyi olan 12 t/da uygulamasından elde edilmiştir. Arıtma çamurunun biyolojik verim üzerine olan etkisinin zamanla azalması, toprak organik madde ve azot içeriğinin zamanla azalması (Çizelge 4.5) ile ilişkilendirilebilir. Biyolojik verimde görülen artışın bir benzeri tane veriminde de belirlenmiştir (Çizelge 4.8). Artan uygulama düzeyine bağlı olarak tane veriminde düzenli artışlar gözlemlenmiştir. Arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak saptanan artış Iğdır Ovası ortalama arpa veriminden (287,32 kg/da) oldukça yüksek bulunmuştur (Anonim 2002). Ancak söz konusu etki arıtma çamurunun etkinliğini kaybetmesinden, destekleyici gübre ilave edilmemesinden

ve bölgede yaygın olarak yapılan münavebe (şekerpancarı-arpa-bostan) sisteminin takip edilmemesinden dolayı yıllara bağlı olarak azalış göstermiştir. Yıllar ortalaması dikkate alındığında kontrol, 4, 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinde tane verimi sırası ile 205,56, 274,00, 318,68 ve 339,48 kg/da elde edilmiştir. Tane verimde saptanan bu değişimler 4, 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinde kontrol parseline göre sırası ile %33,29, %55,03 ve %65,15 oranında gerçekleşmiştir.

Söz konusu alanda sürdürülebilir arpa bitkisi yetiştiriciliği için en uygun arıtma çamuru uygulama dozu, çalışmadan elde edilen verilerin regresyon analizine tabii tutulması ile biyolojik (sap+tane) verim için 15,1 t/da, tane verimi için ise 13,6 t/da olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1). Bu dozların uygulanması ile sağlanacak olan biyolojik ve tane veriminin sırasıyla 772,43 ve 341,14 kg/da olması tahmin edilmektedir.



Şekil 4.1. Toprak işlemeli tarım yapılan alandan maksimum arpa verimi eldesi için en uygun arıtma çamuru uygulama düzeyinin belirlenmesi

4.2. Arıtma Çamuru Uygulamasının Tuzlu-Alkali Arazi Üzerine Etkisi

Arıtma çamuru uygulama düzeylerinin (kontrol, 4, 8 ve 12 t/da) tuzlu-alkali arazilerin kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite, agregat stabilitesi, permeabilite katsayısı, tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su miktarı gibi fiziksel özellikleri ile pH, EC, organik madde, toplam azot, kireç, KDK, değişebilir katyonlar, ESP ve mikro elementler gibi kimyasal özelliklerine olan etkilerini belirlemek amacıyla, 2004 yılında uygulama yapılan alanlardan sırasıyla 2005 yılında arpa ekimi öncesi, 2006 ve 2007 yıllarında ise arpa hasadı sonrası bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Arıtma çamuru uygulama düzeyinin arpa bitkisinin biyolojik ve tane verimi üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla da, bu arazide 2005, 2006 ve 2007 yıllarında arpa bitkisi ekimi yapılmıştır.

4.2.1. Toprak fiziksel özellikleri üzerine etkisi

Arıtma çamuru uygulamasının toprak kütle yoğunluğu üzerine etkisi, Çizelge 4.9'da verilmiştir. Toprak kütle yoğunluğu; tekstür, strüktür, organik madde miktarı ve toprak işleme işlemlerine bağlı olarak topraktan toprağa göre değişen bir özelliktir (Demiralay 1993). Araştırma alanındaki toprak kütle yoğunluğu, artan arıtma çamuru uygulama düzeyine bağlı olarak azalmıştır. Uygulamalara bağlı olarak elde edilen en düşük kütle yoğunluğu değerleri yıllara bağlı olarak azalmakla birlikte, denemenin yürütüldüğü her üç yılda da 12 t/da düzeyinden elde edilmiştir. Arıtma çamurunun en yüksek uygulama düzeyi, kontrol parseline göre kütle yoğunluğunu 0-30 cm toprak derinliğinde 2005 yılında %3,94 oranında azaltırken, 2006 ve 2007 yıllarında sırası ile %2,24 ve %1,56 düzeyinde azaltmıştır. Kütle yoğunluğundaki bu azalış, arıtma çamurunun kütle yoğunluğunun düşük olmasından ve toprak agregasyonunda oluşan olumlu etkiden kaynaklanabilir. Arıtma çamuru gibi organik madde içeriği yüksek olan maddelerin topraklara uygulanmasına bağlı olarak kütle yoğunluğunda meydana gelen azalışlar Haynes and Naidu (1998), Celik *et al.* (2004) ve Hati *et al.* (2007) tarafından yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4.9. Arıtma çamuru uygulamasının tuzlu-alkali arazilerin kütle ve tane yoğunluğu ile toplam porozitesi üzerine olan etkileri

Kütle Yoğunluğu (gr/cm³)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	1,27±0,02aA [‡]	1,34±0,02aA	1,28±0,01aB	1,30±0,01a
4	1,25±0,02aB	1,31±0,01aA	1,27±0,01abB	1,28±0,01ab
8	1,24±0,02aB	1,31±0,01aA	1,25±0,01bB	1,27±0,01b
12	1,22±0,02aC	1,31±0,02aA	1,26±0,01abB	1,26±0,01b
Tane Yoğunluğu				
Kontrol	2,575±0,005aA	2,575±0,002aA	2,562±0,008aA	2,571±0,003a
4	2,546±0,009bB	2,573±0,006aA	2,544±0,004aB	2,554±0,004b
8	2,524±0,014bB	2,556±0,006bA	2,540±0,006aB	2,540±0,006c
12	2,464±0,012cA	2,482±0,002cA	2,475±0,013bA	2,474±0,006d
Porozite (%)				
Kontrol	50,81±0,75aA	48,06±0,84abB	49,95±0,26abA	49,61±0,43ab
4	50,77±0,69aA	49,04±0,24aA	50,26±0,31aA	50,02±0,29a
8	50,70±1,08aA	48,79±0,42aB	50,57±0,53aA	50,02±0,44a
12	50,66±0,94aA	47,18±0,61bC	48,91±0,43bB	48,92±0,48b

[‡] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Ergene (1993), mineral toprakların tane yoğunluklarının 2,60-2,75 arasında değişmekle birlikte ortalama 2,65 olarak sabit kabul edilebileceğini bildirmiştir. Bu dar aralıktaki değişimin toprağın yapısında yüksek oranda bulunan kuvars, feldispat ve kolloid silikatlarının yoğunluğuna büyük oranda bağlı olduğunu belirtmiştir. Çizelge 4.9’da görüldüğü üzere, arıtma çamuru uygulaması tane yoğunluğunda istatistiksel anlamda farklılıklar göstermesine rağmen bu değişim çok belirgin olmamıştır. Kütle yoğunluğunda olduğu gibi en yüksek değişim, yine en yüksek uygulama düzeyi olan 12 t/da’dan elde edilmiştir. Bu durum, arıtma çamuru uygulanan toprakların organik madde içeriğinde meydana gelen değişim ile açıklanabilir. Nakaya and Motomura (1984) organik ve mineral kökenli gübre uygulamalarının toprakların bazı fiziksel özellikleri üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yaptıkları bir çalışmada, organik gübre uygulamalarının toprakların tane yoğunluğunda azalışa neden olduğunu belirtmişlerdir.

Arıtma çamuru uygulamasının toplam porozitede meydana getirdiği değişim Çizelge

4.9’da verilmiştir. Arıtma çamuru uygulamasının toprak kütle ve tane yoğunluğunda oluşturduğu olumlu etkilerin toplam porozitede de görülmesi beklenmektedir. Ancak, artan uygulama düzeylerine bağlı olarak toprak porozitesinde ilk örnekleme yılı olan 2005 yılında çok önemli bir değişim görülmemiştir. Bu etki kendisini 2006 ve 2007 yılında düşük düzeylerde de olsa göstermiştir (Çizelge 4.9). Porozitede meydana gelen değişimin düşük düzeylerde kendisini göstermesi toprağın sahip olduğu tekstürel yapıdan (CL) ileri gelmektedir. Yıllar ortalaması dikkate alındığında en yüksek etki 12 t/da uygulama düzeyinde %1,39 olarak saptanmıştır ki, bu da oldukça düşük bir değer olarak kabul edilmektedir. Aggelides and Londra (2000), 75, 150 ve 300 m³/ha oranlarında uyguladıkları kompostların tın tekstüre sahip toprakların toplam porozitesini sırası ile %11, %27 ve %32,8 oranında artırdığını buna karşılık kil bünyeye sahip topraklarda bu artışın %5,4, %8,5 ve %9,9 oranında olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, Sort and Alcañiz (1999a) arıtma çamuru uygulamasının toprakların toplam porozitesini artırdığını, ancak bu değişimin geçici olduğunu, çünkü arıtma çamuru uygulamasından bir yıl sonra kontrol parseli ile deneme parseli arasında porozite ile ilgili önemli bir farklılığın olmadığını belirtmişlerdir.

Agregat stabilitesi, toprağın su erozyonuna dayanımını, infiltrasyon ve hidrolik iletkenlik ilişkilerinin zamanla değişimini ve toprak gözenek hacminin kararlılık derecesini etkilemesi bakımından oldukça önemlidir. Topraklarda agregatların suya karşı stabilitesini artıran faktörlerin başlıcaları; organik madde içeriği, değişebilir katyonların cinsi, toprak bünyesi, kil minerallerinin tipi, agregatların büyüklüğü ve toprağın ıslanılabilirliği (Demiralay 1993). Mevcut yapısı ile başlangıçta çok düşük stabilite değerine sahip olan tuzlu-alkali toprağa arıtma çamuru ilavesi, tüm yıllarda bütün uygulama düzeylerinde agregat stabilitesi değerini önemli düzeyde artırmıştır (Çizelge 4.10). Ancak bu artış, yıllar ortalaması dikkate alındığında, yalnızca 8 ve 12 t/da düzeyinde önemli bulunmuştur. Garcia-Orenes *et al.* (2005), arıtma çamuru uygulamasının normal ve tuzlu toprakların agregat stabilitesi değerlerinde bir artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Tuzlu topraklarda meydana gelen bu değişimin toprak karbonat içeriğinin artmasından ve ESP’nin azalmasından kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir. Arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak elde edilen bu önemli etki,

belirli düzeylerde geçirgenlik problemine sahip bu tip topraklarda hava ve su düzeninin sağlanması bakımından oldukça önemli olmaktadır. Böylece tarımsal üretimin yapıldığı bu tür alanlarda üretkenliği sınırlandıran bazı faktörlerin olumsuz etkileri kısmen giderilebilir.

Çizelge 4.10. Arıtma çamuru uygulamasının tuzlu-alkali arazilerin agregat stabilitesinde ve permeabilite katsayısı değerlerinde meydana getirdiği değişimler

Agregat Stabilitesi (%)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	3,48±0,44cA [‡]	4,00±0,83cA	2,17±0,22dA	3,22±0,35c
4	6,01±0,65cA	7,14±1,45cA	3,75±0,36cB	5,64±0,59c
8	19,57±1,60bA	13,52±2,46bB	4,47±0,34bC	12,52±1,54b
12	30,50±1,28aA	32,73±4,70aA	12,90±0,13aB	25,38±2,34a
Permeabilite Katsayısı (cm/h)				
Kontrol	0,034±0,005bA	0,035±0,001dA	0,034±0,004aA	0,034±0,002c
4	0,047±0,011bAB	0,057±0,003cA	0,035±0,001aB	0,046±0,004b
8	0,052±0,003bAB	0,068±0,002bA	0,037±0,002aB	0,052±0,003b
12	0,096±0,009aA	0,103±0,004aA	0,037±0,002aB	0,079±0,007a

[‡] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Çizelge 4.10’da görüldüğü üzere, yetersiz düzeyde agregat oluşumuna ve stabilitesine sahip tuzlu-alkali alana artan düzeylerde arıtma çamuru uygulaması, agregat stabilitesinde olduğu gibi, permeabilite katsayısı değerlerinde de önemli bir artışa neden olmuştur. Permeabilite katsayısı değerlerinde meydana gelen bu artışın, agregasyonun iyileşmesi ve kütle yoğunluğundaki azalış ile ilişkili olduğu Hati *et al.* (2007) tarafından bildirilmiştir. Ancak bu artış permeabilite katsayısı sınıfında (Klute 1965) herhangi bir değişime neden olmamıştır. Toprak permeabilite katsayısı sınıfı, çok yavaş sınıfında (0,125 cm/h) yer almıştır. Permeabilite katsayısı sınıfında herhangi bir değişimin gözlenmemesi, toprağın sahip olduğu tuzlu-alkali karakter ile açıklanabilir. Söz konusu etkinin zamanla azalması, taban suyu ile yukarı doğru hareket eden tuzun değişim yüzeylerini doyurmasına ve toprağın Na⁺ içeriğinin artmasına bağlanabilir (Sezen 1995).

Topraklarda faydalı nem kapasitesinin üst sınırını oluşturan tarla kapasitesi değerini etkileyen faktörlerin en önemlileri toprak bünyesi, organik madde miktarı ve toprak strüktürüdür (Ergene 1993). Evaporasyonun yüksek olduğu tuzlu-alkali karaktere sahip alanlarda en önemli faktör, bitki yetiştirme periyodu boyunca bitkinin kolaylıkla yararlanabileceği su miktarının azlığıdır. Bu olumsuz etki, topraklara uygulanacak organik ve/veya inorganik maddeler ile kısmen giderilebilir. Organik karakterli arıtma çamurunun tuzlu-alkali araziye uygulanması tarla kapasitesi değerlerini her üç yılda ve her üç uygulama düzeyinde artırmıştır (Çizelge 4.11). Arıtma çamuru uygulamasının toprakların tarla kapasitesini değerini artırdığı birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Epstein 1975; Cheng *et al.* 2007; Weber *et al.* 2007). Bu artış, artan uygulama düzeylerine bağlı olarak değişim göstermiştir.

Çizelge 4.11. Arıtma çamuru uygulamasının tuzlu-alkali toprakların tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su miktarı değerleri üzerine olan etkileri

Tarla Kapasitesi (P_w)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	26,05±0,31bA [±]	27,25±0,48bA	24,05±0,52aB	25,78±0,36b
4	27,52±0,68bA	27,92±0,48abA	24,10±0,25aB	26,51±0,44b
8	30,27±0,55aA	28,29±0,49abB	24,14±0,27aC	27,57±0,56a
12	31,29±0,66aA	28,87±0,63aB	24,26±0,51aC	28,14±0,66a
Solma Noktası (P_w)				
Kontrol	19,71±0,28cA	19,28±0,27cA	19,22±0,14cA	19,40±0,14d
4	21,93±0,50bA	20,23±0,52bB	19,60±0,16bC	20,59±0,31c
8	23,16±0,15aA	20,67±0,08bB	19,65±0,11bC	21,16±0,30b
12	23,73±0,07aA	21,68±0,12aB	20,87±0,04aC	22,09±0,24a
Yarayışlı Su Miktarı (P_w)				
Kontrol	6,34±0,37abB	7,97±0,61aA	4,83±0,60aC	6,38±0,39a
4	5,59±0,90bB	7,69±0,65aA	4,50±0,34aB	5,93±0,45a
8	7,11±0,58abA	7,62±0,53aA	4,49±0,20aB	6,40±0,38a
12	7,56±0,63aA	7,19±0,69aA	3,39±0,51bB	6,04±0,50a

[±] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi, solma noktası değerleri tarla kapasitesi değerlerinde olduğu gibi artan uygulama düzeylerine bağlı olarak bir artış göstermiştir. Bu artış,

yukarıda belirtildiği gibi, toprağın organik madde içeriğinde meydana gelen değişim ile ilişkilendirilebilir (Epstein 1975; Tsadilas *et al.* 2005). Ancak söz konusu bu iyileştirme etkileri üç yılın ortalaması dikkate alındığında, bitkiye yansıyacak olan yarayışlı su miktarında istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bu değişim, arıtma çamuru uygulamasının solma noktasında meydana getirdiği artıştan ileri gelmektedir. Klasik su elverişliliği yaklaşımında, bitkilere yarayışlı su miktarının topraktaki tutunma enerjisine bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir. Bu yüzden, hacimsel olarak toprağın su içeriğinde meydana gelen değişimin bitkiler için yarayışlı olmayacağı Epstein (1975) tarafından ortaya konmuştur. Yarayışlı su miktarının artırılması amacıyla topraklara uygulanacak olan organik karakterli materyallerin ilavesinde, toprağın tekstürel yapısının dikkate alınması bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm bu nedenler, arıtma çamurunun uygulandığı bu tip alanlarda sulama aralığının artırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

4.2.2. Toprak kimyasal özellikleri üzerine etkisi

Arıtma çamuru uygulamasının toprak pH'sı üzerine olan etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş olup söz konusu etki yıllar itibarıyla da değişiklikler göstermiştir (Çizelge 4.12). Uygulamalara bağlı olarak elde edilen en yüksek pH değişimi, denemenin yürütüldüğü her üç yılda da 12 t/da düzeyinden elde edilmiştir. Bu değişim, kontrole göre 2005 yılında %9,55 olurken, 2006 ve 2007 yıllarında sırasıyla %16,72 ve %7,88 olarak tespit edilmiştir. Yıllar itibarıyla uygulama düzeyleri göz önüne alındığında, 4 t/da uygulama düzeyi 2005 yılında etkili olurken, 2006 ve 2007 yıllarında önemli düzeyde etkiye sahip olmamıştır. Ancak 8 ve 12 t/da uygulamaları 2005 yılına ilaveten 2006 yılında da etkisini göstermiş olup en yüksek düzeyde pH değişimine neden olmuşlardır. Yıllara bağlı olarak meydana gelen bu değişimin, toprağa ilave edilen arıtma çamurunun miktarı ve mineralizasyon süreci ile yakından ilişkili olduğu saptanmıştır (Wong *et al.* 1998; Bergkvist *et al.* 2003; Veeresh *et al.* 2003). Yıllar ortalaması dikkate alındığında, tüm uygulama düzeyleri kontrol parseline göre önemli düzeyde değişiklikler göstermiş olup en yüksek etki 12 t/da uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.12. Arıtma çamuru uygulamasının tuzlu-alkali arazilerin pH ve elektriki iletkenliğinde (EC) meydana getirdiği değişimler

	pH			
Uygulama	Yıllar			Ortalama
Düzeyi (t/da)	2005	2006	2007	
Kontrol	9,11±0,01aA [‡]	9,09±0,05aA	9,13±0,02aA	9,11±0,02a
4	8,82±0,06bB	8,97±0,09aAB	9,11±0,02aA	8,97±0,04b
8	8,56±0,03cB	8,34±0,14bC	8,63±0,01bA	8,51±0,05c
12	8,24±0,02dB	7,57±0,10cC	8,41±0,03cA	8,07±0,08d
	EC (dS/m)			
Kontrol	16,61±0,31bB	25,97±0,72aA	27,59±0,33aA	23,39±0,99a
4	18,45±0,31aC	25,83±2,33aA	23,16±0,74bB	22,48±0,99a
8	6,28±0,29dC	19,33±1,26bA	16,82±0,31cB	14,14±1,19b
12	7,77±0,21cC	15,69±1,20cA	11,18±0,21dB	11,55±0,75c

[±] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Arıtma çamuru uygulamasının toprak elektriki iletkenliğinde meydana getirdiği değişim Çizelge 4.12’de görülmektedir. Elektriki iletkenlik (EC), uygulanan arıtma çamuru düzeyine bağlı olarak istatistiksel açıdan önemli değişiklikler göstermiştir. Yıllara bağlı olarak meydana gelen değişim birbirinden farklılık göstermiş olup 2005 yılında en düşük EC değeri 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinde saptanmıştır. Söz konusu uygulama düzeylerinde saptanan düşük EC değerleri araştırma alanında kendiliğinden yetişen *Suaeda altissima* (L.) Pall. yabancı otunun tuzu bünyesine almasından kaynaklanmış olabilir. Ravindran *et al.* (2007), 120 günlük yetiştirme periyodu sonrası *Suaeda maritima* ekili tuzlu alandaki elektriki iletkenlik değerinin 4,9 dS/m’den 1.4 dS/m’ye düştüğünü bildirmiştir. Ancak bu etki, denemenin yürütüldüğü diğer yıllarda azalarak devam etmiştir. Söz konusu etkinin azalması, topraktaki su hareketinin uygulanan arıtma çamuru düzeyinin tamponluk kapasitesini aşması ile ilişkilendirilebilir (Hati *et al.* 2007). Buna göre, tuzluluk problemi bulunan alanlarda, tuzluluğun etkisini azaltıcı arıtma çamuru uygulama düzeyinin ve etki süresinin belirlenmesi çok önemli olmaktadır. Bu tip alanlarda tuza dayanımlı kültür bitkileri için 8 dS/m kritik EC değeridir (Rhoades *et al.* 1992). Bu değer göz önüne alındığında, en uygun uygulama dozunun 8 ve 12 t/da olduğu ve bu etkinin en fazla 2 yıl sürdürülebildiği belirlenmiştir. Tuz stresinin yoğun olarak görüldüğü bu gibi alanlarda arıtma çamuru etkinliğinin

artırılarak toprağın bitki yetiştiriciliği için uygun hale getirilmesi, topraktaki tuz hareketinin drenaj kanallarıyla kontrol altına alınması ile mümkün olabilir.

Çizelge 4.13’de görüldüğü gibi orta düzeyde (%5-15 CaCO_3) kirece sahip tuzlu-alkali toprağa %17,3 düzeyinde CaCO_3 içeren arıtma çamuru ilavesi, toprak kireç içeriğinde istatistiksel olarak bir değişime neden olmasına karşın, kireç içeriği sınıfında (Lindsay and Norwell 1969; FAO 1990) herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır. Bu da tuzlu-alkali toprakların ıslahında kullanılan kalsiyum kaynaklarının dolaylı olarak toprağa ilave edilmesine katkıda bulunarak geçirgenlik probleminin azaltılmasına neden olmaktadır. Söz konusu etki, permeabilite katsayısının artmasından da anlaşılmaktadır (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.13. Arıtma çamuru uygulamasının tuzlu-alkali arazilerin kireç, organik madde ve azot içeriğine olan etkileri

	Kireç (%)			
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	14,39±0,52cB [£]	16,42±0,12cA	12,19±0,03dC	14,34±0,38d
4	16,47±0,30bA	16,84±0,13cA	12,83±0,15cB	15,38±0,37c
8	17,83±0,18aA	17,46±0,10bA	13,49±0,03bB	16,26±0,39b
12	17,95±0,16aA	18,38±0,28aA	14,24±0,12aB	16,86±0,38a
	Organik Madde (%)			
Kontrol	0,61±0,03dB	1,08±0,06dA	0,87±0,03dA	0,85±0,04d
4	1,85±0,08cA	1,76±0,04cA	1,20±0,07cB	1,60±0,07c
8	3,79±0,10bA	2,63±0,11bB	1,55±0,02bC	2,66±0,19b
12	4,88±0,11aA	4,05±0,06aB	3,39±0,07aC	4,11±0,13a
	Azot (%)			
Kontrol	0,12±0,01dA	0,04±0,00dB	0,04±0,00dB	0,07±0,01d
4	0,18±0,01cA	0,10±0,01cB	0,06±0,00cC	0,11±0,01c
8	0,30±0,01bA	0,17±0,00bB	0,12±0,01bC	0,19±0,02b
12	0,42±0,01aA	0,40±0,02aA	0,19±0,00aB	0,34±0,02a

[†] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Organik madde içeriği yüksek (%34) arıtma çamurunun çok az düzeyde organik madde içeren tuzlu-alkali toprağa uygulanması, organik madde içeriğini önemli düzeyde

artırmıştır (Çizelge 4.13). Aynı etki birçok araştırmacı tarafından da bildirilmiştir (Holz *et al.* 2000; Albiach *et al.* 2001b; Tsadilas *et al.* 2005; Cheng *et al.* 2007). Toprak organik maddesi, uygulanan doz artışına paralel olarak her üç yılda da istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Toprak organik madde içeriği uygulanan dozlara bağlı olarak 4 t/da uygulamasında çok az düzeyden az düzeye, 8 t/da uygulamasında orta düzeye ve 12 t/da uygulamasında ise yeterli düzeye gelmesine neden olmuştur (Lindsay and Norwell 1969). Ancak bu seviyeler, organik atığın mineralizasyonuna bağlı olarak zamanla azalmıştır (Smernik *et al.* 2004). Atık uygulamasının toprak organik madde içeriğine yaptığı bu katkı, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı üzerine olumlu etkiler yapmasında oldukça önemli bir paya sahiptir. Bu gibi alanların ıslahından sonra sürdürülebilir bir toprak yönetimi için organik karakterli materyallerin ilavesi oldukça önemlidir (Parat *et al.* 2005). Islah sonrasında tercihen kullanılan ahır gübresi gibi organik karakterli materyallerin kısıtlı olduğu durumlarda, bu tip atıkların alternatif olarak değerlendirilmesi bu sorunu kısmen giderebilir.

Arıtma çamuru uygulamasının toprak azot içeriğine olan etkisi, toprak organik madde içeriğinde meydana getirdiği değişime benzerlik göstermiştir (Çizelge 4.13). Yıllar ortalaması dikkate alındığında, tüm uygulama düzeyleri kontrol parseline göre önemli düzeyde değişiklikler göstermiş olup en yüksek etki 12 t/da en düşük etki ise 4 t/da uygulamasında elde edilmiştir. Söz konusu etki, toplam azot içeriği %4,46 olan arıtma çamuru ilavesinden kaynaklanmıştır (Kocaer vd 2003; López-Tercero *et al.* 2003; Veeresh *et al.* 2003). Bitki yetiştiriciliğinde optimum verim elde edilmesi için önemli bir girdi olarak kullanılan azotlu gübreler, bu tip atıkların kullanımı ile daha etkin bir hale getirilebilir. Bu da, birim alanda kullanılacak olan azotlu mineral gübrenin daha düşük düzeyde uygulanmasına ve girdi maliyetinin azalmasına katkıda bulunacaktır.

Arıtma çamuru uygulamasının katyon değişim kapasitesinde meydana getirdiği değişim, Çizelge 4.14’de verilmiştir. Katyon değişim kapasitesi (KDK) en önemli verimlilik parametrelerinden biri olup toprağın kil içeriği ve organik madde miktarı ile yakından ilişkilidir. Killi tın tekstüre sahip tuzlu-alkali topraklara değişen düzeylerde arıtma çamuru ilavesi, toprak KDK’sını her üç yılda da istatistiksel olarak etkilemiş olup bu

etki yıllara bağlı olarak değişiklikler göstermiştir. Organik maddenin toprak KDK'sı üzerine sağladığı olumlu etki birçok araştırmacı tarafından da ortaya konulmuştur (Kelly *et al.* 1999; Bergkvist *et al.* 2003; Antolín *et al.* 2005). En yüksek KDK değeri 12 t/da uygulama düzeyinde 2005 yılında belirlenmesine karşın, kontrole göre en yüksek artış 2006 yılında yine bu dozda saptanmıştır.

Çizelge 4.14. Arıtma çamuru uygulamasının tuzlu-alkali arazilerin katyon değişim kapasitesi (KDK), değişebilir katyonlar ve değişebilir sodyum içeriğine (ESP) olan etkisi

Uygulama Düzeyi (t/da)	Katyon Değişim Kapasitesi (me/100 gr)			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	44,98±0,28dB [±]	39,45±0,61cC	46,60±0,39bA	43,68±0,65d
4	46,11±0,23cA	40,83±0,33bB	46,75±0,30bA	44,57±0,55c
8	48,10±0,18bA	44,92±0,72aC	47,12±0,30bB	46,71±0,37b
12	51,29±0,28aA	45,68±0,25aC	49,42±0,30aB	48,80±0,48a
Na (me/100 gr)				
Kontrol	29,35±0,20aB	35,68±0,16aA	29,10±0,83aB	31,38±0,66a
4	27,75±0,22bB	33,42±0,18bA	27,86±0,46aB	29,68±0,55b
8	19,38±0,54cC	30,39±0,53cA	27,43±0,46aB	25,73±0,96c
12	17,26±0,27dC	27,74±0,44dA	23,15±0,48bB	22,72±0,87d
K (me/100 gr)				
Kontrol	2,01±0,03cA	1,77±0,01aB	1,54±0,01bC	1,77±0,04b
4	2,18±0,04bA	1,71±0,02bB	1,57±0,04bC	1,82±0,05b
8	2,34±0,03aA	1,77±0,01aB	1,59±0,02bC	1,90±0,06a
12	2,24±0,06abA	1,77±0,01aB	1,67±0,02aC	1,89±0,05a
Ca (me/100 gr)				
Kontrol	22,16±0,21cA	12,32±0,04bB	9,23±0,06aC	14,57±1,08d
4	23,36±0,94cA	12,41±0,06bB	9,32±0,04aC	15,03±1,22c
8	26,89±0,19aA	12,67±0,05aB	9,27±0,05aC	16,28±1,50a
12	24,71±0,33bA	12,73±0,08aB	9,34±0,04aC	15,59±1,30b
Mg (me/100 gr)				
Kontrol	0,97±0,01cB	2,58±0,02cA	2,54±0,02cA	2,03±0,15d
4	0,99±0,01bC	2,75±0,02bA	2,64±0,04bB	2,13±0,16c
8	1,01±0,01abC	2,79±0,01bA	2,71±0,02bB	2,17±0,16b
12	1,02±0,00aB	2,88±0,03aA	2,83±0,01aA	2,24±0,17a
Değişebilir Sodyum Yüzdesi (%)				
Kontrol	36,90±2,07bB	58,08±1,47cA	35,22±2,69aB	43,40±2,36a
4	33,15±0,51bB	51,34±0,55bA	32,97±1,11aB	39,16±1,74b
8	18,80±1,30aC	44,83±2,06aA	36,28±1,36aB	33,30±2,30c
12	18,72±1,21aC	44,01±0,57aA	31,39±1,56aB	31,37±2,13c

[±] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Toprak tuzlanması, arazi degradasyonunun en başta gelen sebeplerinden birisidir. Yetersiz drenaj koşullarına ve yüksek evaporasyon miktarına sahip bölgelerde, özellikle düşük kalitede sulama sularının kullanılması bu degradasyonu daha da artırmaktadır. Çalışmanın yürütüldüğü Iğdır Ovasının hemen her tarafında tuzlu, alkali ve bor içeriği yüksek topraklara rastlamak mümkündür. Söz konusu alanlar 83.211 ha yüzölçümüne sahip olan Iğdır Ovasının 36.476 hektarını (%43,8) oluşturmaktadır (Anonim 2006). Çalışmanın yürütüldüğü söz konusu alanda en yüksek miktara sahip değişebilir katyon Na^+ olup bunu sırası ile Ca^{+2} , K^+ ve Mg^{+2} izlemektedir. Arıtma çamuru uygulama düzeyi toprakların değişebilir Na^+ içeriğinde önemli azalmalara neden olurken, diğer değişebilir katyonların içeriğinde önemli bir artışa neden olmuştur (Çizelge 4.14). Arıtma çamuru uygulama düzeyine bağlı olarak toprakların değişebilir Na^+ içeriğinde meydana gelen bu azalış, iyon değişiminin gerçekleştiği koloidal yüzeylerde tamamlayıcı iyon etkisi gösteren K^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} içeriğinde meydana gelen artış ile yakından ilişkilidir (Lax *et al.* 1994; García-Orenes *et al.* 2005). Arıtma çamurunun sağladığı bu olumlu etki, gerek yapısında yüksek miktarlarda bulundurduğu Ca^{+2} (%7,4), K^+ (%2,1) ve Mg^{+2} (%1,9) içeriğine, gerekse de pH'nın düşüşü ile sağladığı Ca^{+2} elverişliliğine bağlanabilir (Antolín *et al.* 2005). Sağlanan bu olumlu değişim 2005 yılında en yüksek düzeyde elde edilirken, 2006 ve 2007 yıllarında azalan oranlarda gerçekleşmiştir. Söz konusu etkinin zamanla azalması taban suyu ile hareket eden tuzun değişim yüzeylerini doyurması ve tamamlayıcı iyonların sodyum konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak etkisini kaybetmesi ile açıklanabilir (Sezen 1995; Munsuz vd 2001). Aynı etki değişebilir sodyum yüzdesinde de (ESP) görülmektedir (Çizelge 4.14).

Tuzlu-alkali alanların ıslah edilmesinde uygulanan temel yaklaşım, bitki kök bölgesinde bulunan aşırı tuzun topraktan yıkanarak uzaklaştırılmasıdır. Arıtma çamuru uygulaması söz konusu etkiye doğrudan ve dolaylı katkılar sağlamakla birlikte, bu sürece ters düşen bir takım olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Bunlardan en önemlisi, arıtma çamurunun tuzlu-alkali topraklarda problem oluşturan Na^+ iyonunu yıkama süreçleriyle ortadan kaldırması yerine, bünyesinde adsorbe ederek belli bir dönem iyileştirme sağlamasıdır. Bu nedenle bitki kök bölgesindeki tuz hareketinin yoğun olarak değişim gösterdiği bu tip alanlarda, arıtma çamuru ilavesinin etkinliğinin daha uzun yıllar devam

ettirilebilmesi için drenaj koşullarının ihmal edilmemesi oldukça önemlidir.

Tarımsal alanların ıslah edilmesi amacıyla uygulanan arıtma çamurları, toprakların fiziksel özellikleri üzerine olumlu katkıları yanında bitkiler için gerekli olan bazı besin elementlerini de sağlanması açısından önemli bir kaynaktır. Ancak, bu uygulamalar yapılırken, arıtma çamurunun bünyesinde bulundurduğu bitki besin elementlerinin konsantrasyonları da dikkate alınmalıdır. Özellikle yüksek konsantrasyonlarda ağır metal içeriğine sahip arıtma çamurlarının tarımsal alanlarda kullanımı yukarıda bahsedilen olumlu etkilerinin yanında, arzu edilmeyen bazı yan etkiler de oluşturabilmektedir (Epstein 2003). Araştırmada kullanılan arıtma çamuru elde edilmesi sırasında uygulanan stabilizasyon işlemlerinden dolayı, bu parametreler göz önüne alındığında, risk oluşturmayacak ağır metal kompozisyonuna sahiptir.

Uygulanan arıtma çamuru tüm uygulama düzeylerinde her ne kadar toprak Fe^{+2} , Mn^{+2} , Zn^{+2} ve Cu^{+2} içeriklerinde bitkilerin ihtiyaç duyduğu kritik konsantrasyonlardan daha yüksek düzeylerde bir artış sağlamışsa da (Çizelge 4.15), bu artış aynı uygulamanın yapıldığı diğer alanlarda yetiştirilen arpa bitkisinde herhangi bir ters etkiye neden olmamıştır. Ancak yüksek ağır metal içeriğine sahip arıtma çamurlarının aynı alana uzun yıllar boyunca uygulanması, bu elementlerin topraklardaki hareket kabiliyetlerinin sınırlı olmasından dolayı, toprak ağır metal içeriğinin artmasına neden olabilen önemli bir risk faktörüdür (Ingelmo *et al.* 1998; Cerezo *et al.* 1999; Saviozzi *et al.* 1999). Bu nedenle tarımsal alanlara uygulanacak arıtma çamurlarının seçiminde bu faktörün göz önünde bulundurulması, sürdürülebilir yönetim için oldukça önemlidir.

Çizelge 4.15. Arıtma çamuru uygulamasının tuzlu-alkali arazilerin mikro element içeriğine olan etkisi

Fe (ppm)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	13,03±0,83dA [‡]	12,32±0,68dA	8,96±0,35dB	11,43±0,50d
4	16,22±0,38cA	16,19±0,27cA	13,53±0,46cB	15,31±0,33c
8	27,14±0,39bA	27,12±0,64bA	19,08±0,48bB	24,45±0,80b
12	33,18±0,25aA	33,00±0,36aA	23,85±0,58aB	30,01±0,89a
Mn (ppm)				
Kontrol	13,39±0,18dA	8,91±0,50dB	5,16±0,17dC	9,15±0,68d
4	17,41±1,19cA	18,19±1,09cA	10,31±0,73cB	15,30±0,90c
8	29,25±1,39bA	24,45±0,20bB	15,87±0,48bC	23,19±1,19b
12	34,93±0,52aA	33,59±1,85aA	19,93±0,19aB	29,49±1,47a
Cu (ppm)				
Kontrol	2,09±0,04dA	2,50±0,05dA	2,59±0,09dA	2,39±0,06d
4	13,93±0,31cA	13,12±0,64cA	11,38±0,38cB	12,81±0,33c
8	22,90±0,43bA	22,73±0,20bA	13,12±0,26bB	19,58±0,91b
12	27,16±0,57aA	26,58±0,29aA	15,26±0,24aB	23,00±1,10a
Zn (ppm)				
Kontrol	3,03±0,09dA	3,13±0,09dA	1,32±0,13dB	2,49±0,17d
4	14,69±0,15cB	16,00±0,83cA	13,81±0,90cB	14,83±0,43c
8	29,95±0,37bA	29,17±0,37bA	26,05±0,33bB	28,39±0,39b
12	39,31±0,30aA	38,95±0,42aA	32,96±0,54aB	37,07±0,62a

[‡] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

4.2.3. Arpa bitkisinin verimi üzerine etkisi

Elektriki iletkenlik (EC) değerinin ve Na⁺ içeriğinin yüksek olmasından ötürü tuzlu-alkali alanda bitki büyümesi görülmemiş olup her üç yılda da verim alınamamıştır. Ancak artan uygulama düzeyine paralel olarak alanda tuzluluğa ve alkaliliğe dayanıklı olan *Suaeda altissima* (L.) Pall. yabancı otu kendiliğinden yetişmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Tuzlu-alkali arazide kendiliğinden yetişen *Suaeda altissima* (L.) Pall. yabancı otuna ait bir görünüm

4.3. Arıtma Çamuru Uygulamasının Rüzgar Erozyonuna Maruz Arazi Üzerine Etkisi

Arıtma çamuru uygulama düzeylerinin (kontrol, 4, 8 ve 12 t/da) rüzgar erozyonuna maruz arazilerin kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite, permeabilite katsayısı, tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su miktarı gibi fiziksel özellikleri ile pH, EC, organik madde, toplam azot, kireç, KDK, değişebilir katyonlar ve mikro elementler gibi kimyasal özelliklerine olan etkilerini belirlemek amacıyla, 2004 yılında uygulama yapılan arazilerden sırasıyla 2005 yılında arpa ekimi öncesi, 2006 ve 2007 yıllarında ise arpa hasadı sonrası bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Arıtma çamuru uygulama düzeyinin arpa bitkisinin biyolojik ve tane verimi üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla da, bu arazide 2005, 2006 ve 2007 yıllarında arpa bitkisi ekimi yapılmıştır.

4.3.1. Toprak fiziksel özellikleri üzerine etkisi

Çizelge 4.16’da görüldüğü üzere arıtma çamuru uygulaması tüm uygulama düzeylerinde toprak kütle yoğunluğunu azaltmış olup bu etki istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Uygulamalara bağlı olarak elde edilen en düşük kütle yoğunluğu değerleri yıllara bağlı olarak azalmakla birlikte, denemenin yürütüldüğü her üç yılda da 12 t/da düzeyinden

elde edilmiştir. Söz konusu etkinin azalması, arıtma çamurunun etkinliğini kaybetmesi ile açıklanabilir (Wong *et al.* 1998). Arıtma çamurunun en yüksek uygulama düzeyi (12 t/da) kontrol parseli ile karşılaştırıldığında kütle yoğunluğunu 0-30 cm toprak derinliğinde 2005 yılında %8,89 oranında azaltırken, 2006 ve 2007 yıllarında sırası ile %7,91 ve %6,02 düzeyinde azaltmıştır. Yıllar ortalaması dikkate alındığında, 8 ve 12 t/da uygulamalarının kontrol parseline göre daha etkin ve önemli olduğu saptanmıştır. Kütle yoğunluğundaki bu azalış, arıtma çamurunun kütle yoğunluğunun düşük olmasından ($0,676 \text{ g/cm}^3$) kaynaklanabilir. Organik madde içeriği yüksek olan maddelerin topraklara uygulanmasına bağlı olarak kütle yoğunluğunda meydana gelen azalışlar Saviozzi *et al.* (1999), Bergkvist *et al.* (2003), Cheng *et al.* (2007) ve Tejada and Gonzalez (2007) tarafından yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4.16. Arıtma çamuru uygulamasının rüzgar erozyonuna maruz arazilerin kütle ve tane yoğunluğu ile toplam porozitesi üzerine olan etkileri

Kütle Yoğunluğu (gr/cm ³)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	1,35±0,02aAB ^t	1,39±0,02aA	1,33±0,01aB	1,35±0,01a
4	1,33±0,01aA	1,31±0,01bAB	1,28±0,01bB	1,31±0,01b
8	1,28±0,03abA	1,29±0,01bA	1,26±0,01bA	1,28±0,01bc
12	1,23±0,04bB	1,28±0,01bA	1,25±0,01bB	1,25±0,01c
Tane Yoğunluğu				
Kontrol	2,480±0,01aB	2,507±0,00aA	2,519±0,00aA	2,502±0,01a
4	2,464±0,01aB	2,490±0,01bA	2,491±0,01bA	2,482±0,00b
8	2,432±0,01bB	2,472±0,00cA	2,472±0,01cA	2,459±0,01c
12	2,402±0,02bB	2,450±0,01dA	2,450±0,01dA	2,434±0,01d
Porozite (%)				
Kontrol	45,75±0,74aAB	44,74±0,54bB	47,24±0,50bA	45,91±0,39b
4	46,07±0,43aB	47,52±0,41aAB	48,65±0,30aA	47,41±0,30a
8	47,47±1,32aA	47,94±0,54aA	48,85±0,43aA	48,09±0,49a
12	48,65±1,78aAB	47,57±0,34aB	49,12±0,24aA	48,45±0,60a

^t : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort $\pm$ SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Büyük ve Küçük Ağrı dağları gibi iki büyük volkanik kaynağın oluşturduğu tortul ve magmatik serilerden meydana gelen rüzgar erozyonuna maruz alana arıtma çamuru

ilavesi, toprak tane yoğunluğunda önemli azalışlara neden olmuştur (Çizelge 4.16). Mineral toprakların tane yoğunlukları 2,60-2,75 arasında değişmekle birlikte ortalama 2,65 olarak sabit kabul edilmektedir (Ergene 1993). Ancak, söz konusu alandaki jeolojik yapıdan dolayı toprakların kütle yoğunluğu bildirilen bu değerlerin oldukça altındadır. Uygulamalara bağlı olarak elde edilen en düşük kütle yoğunluğu değerleri, ilk örnekleme yılı olan 2005 yılında elde edilmiştir. Ancak bu etki daha sonraki yıllarda azalarak devam etmiştir. Organik kökenli materyal uygulamasının toprakların tane yoğunluğunda azalışa neden olduğu Hanay (1990) tarafından da belirtilmiştir.

Arıtma çamuru ilavesinin toprak kütle ve tane yoğunluğunda oluşturduğu olumlu etkiler, toplam porozite de gözlemlenmiş olup bu değişimler eser miktarlarda gerçekleşmiştir (Çizelge 4.16). Değişimin düşük düzeylerde gerçekleşmesi, toprağı oluşturan mineral fraksiyonların poroz yapısından kaynaklanabilir. Araştırmanın yürütüldüğü 3 yılın ortalaması dikkate alındığında, bu değişimler 4, 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinde kontrole göre sırası ile %3,27, %4,75 ve %5,53 oranında gerçekleşmiştir. Arıtma çamuru uygulamasının toprakların toplam porozitesi üzerinde meydana getirdiği olumlu değişiklikler birçok araştırmacı tarafından da bildirilmiştir (Olson and Jones 1988; Sort and Alcañiz 1999a; Weber *et al.* 2007).

Arıtma çamuru uygulamasının permeabilite katsayısında meydana getirdiği değişim Çizelge 4.17'de verilmiştir. Arıtma çamuru uygulaması toprak permeabilite katsayısı değerlerinde önemli artışlara neden olmuştur. Permeabilite katsayısı, artan uygulama düzeyine bağlı olarak artış göstermiştir. Permeabilite katsayısında görülen bu artış 2005 ve 2006 yılında önemli olurken, 2007 yılında istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Permeabilite katsayısında meydana gelen bu artış, agregasyonun iyileşmesi ve kütle yoğunluğundaki azalış ile yakından ilişkilidir (Aggelides and Londra 2000; Tsadilas *et al.* 2005; Hati *et al.* 2007). Arıtma çamuru ilavesi toprak permeabilite katsayısında önemli artışlar sağlanmışsa da, bu artışlar permeabilite sınıfında (Klute 1965) herhangi bir değişimine neden olacak seviyeye ulaşmamıştır. Bunun temel nedeni toprağın sahip olduğu tekstürel yapıdan (SL) ileri gelmektedir. Toprak permeabilite sınıfı orta sınıfta (2,00-6,25 cm/h) yer almıştır.

Rüzgar erozyonuna maruz alandaki toprağın agregatlaşmadan yoksun tekssel stürüktüre sahip olmasından dolayı, bu alanda ıslak eleme yöntemi kullanılarak agregat stabilitesi yapılmamıştır. Nitekim, yapılan araştırmalar bu gibi alanlarda kuru eleme yönteminin daha doğru sonuçlar vereceğini bildirmiştir (İstanbuluoğlu 1995).

Çizelge 4.17. Arıtma çamuru uygulamasının rüzgar erozyonuna maruz arazilerin permeabilite katsayısı değerlerinde meydana getirdiği değişimler

Uygulama Düzeyi (t/da)	Permeabilite Katsayısı (cm/h)			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	4,097±0,205cA [†]	4,608±0,215cA	4,149±0,195aA	4,285±0,122c
4	4,816±0,314bAB	5,217±0,072bA	4,201±0,461aB	4,745±0,198bc
8	5,353±0,290abAB	5,704±0,297abA	4,524±0,339aB	5,193±0,197ab
12	5,862±0,394aA	6,270±0,479aA	4,634±0,527aB	5,589±0,294a

[†] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Kumlu yapıya sahip tarım alanlarının en büyük problemlerinden bir tanesi de, düşük tarla kapasitesi değerleridir. Kum tekstüre sahip alanların yarayışlı su miktarını artırmak için organik karakterli materyal uygulaması oldukça önemlidir. Rüzgar erozyonuna maruz arazilere arıtma çamuru uygulaması, tarla kapasitesi değerlerinde oldukça yüksek değişimlere neden olmuştur (Çizelge 4.18). Tarla kapasitesinde tutulan su miktarı artan uygulama düzeyine paralel olarak artış göstermiştir. Söz konusu bu artış, denemenin yürütüldüğü her üç yılda da saptanmıştır. Kontrol parseline göre belirlenen en yüksek artış, toprak organik madde içeriğinin artmasından dolayı 12 t/da uygulama düzeyinden elde edilmiştir. Araştırmanın yürütüldüğü üç yılın ortalaması dikkate alındığında, tarla kapasitesinde görülen bu artış miktarı 4, 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinde kontrole göre sırası ile %26,42, %30,59 ve %34,47 oranında gerçekleşmiştir. Arıtma çamurunun bu olumlu etkisi birçok araştırmacı tarafından yürütülen çalışmalar ile de ortaya konmuştur (Navas *et al.* 1998; Holz *et al.* 2000; Veeresh *et al.* 2003; Hati *et al.* 2007).

Çizelge 4.18. Arıtma çamuru uygulamasının rüzgar erozyonuna maruz arazilerin tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su miktarı değerleri üzerine olan etkileri

Tarla Kapasitesi (P_w)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	15,32±1,11bB [‡]	17,46±0,36cA	17,53±0,48bA	16,77±0,45c
4	22,72±1,13aB	20,59±0,22bA	20,30±0,67aA	21,20±0,48b
8	22,87±1,33aA	22,10±0,53aA	20,72±0,33aB	21,90±0,50ab
12	23,65±0,79aA	23,00±0,38aA	21,00±0,19aB	22,55±0,36a
Solma Noktası (P_w)				
Kontrol	5,53±0,22dA	5,47±0,08dA	5,00±0,30cA	5,33±0,13d
4	7,92±0,15cA	6,58±0,10cB	5,82±0,15bC	6,77±0,19c
8	10,44±0,48bA	7,86±0,14bB	6,67±0,15aC	8,33±0,35b
12	12,21±0,93aA	9,17±0,20aB	6,83±0,27aC	9,40±0,54a
Yarayışlı Su Miktarı (P_w)				
Kontrol	9,80±0,95bB	11,99±0,37bAB	12,53±0,35bA	11,44±0,42b
4	14,80±1,15aA	14,02±0,28aA	14,47±0,74aA	14,43±0,45a
8	12,43±1,61abA	14,24±0,55aA	14,04±0,30aA	13,57±0,57a
12	11,44±1,40bB	13,83±0,51aA	14,17±0,33aA	13,15±0,55a

[‡] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Arıtma çamuru uygulamasının tarla kapasitesi değerlerinde meydana getirdiği artışın bir benzeri de solma noktası değerlerinde gözlemlenmiştir (Çizelge 4.18). Artan arıtma çamuru uygulama düzeyi toprak organik madde içeriğinin artmasından dolayı solma noktasını artırmıştır. En yüksek artış, beklenildiği gibi, 12 t/da uygulama düzeyinde belirlenmiştir. Söz konusu bu etki örnekleme yapılan yıllarda olduğu gibi yıllar ortalamasında da benzer bir değişim göstermiştir. Solma noktasında meydana gelen bu artış, toprak organik madde içeriğinde meydana gelen değişim ile ilişkilendirilebilir (Epstein 1975; Tsadilas *et al.* 2005).

Tarla kapasitesi ile solma noktası arasında tutulan su olarak tanımlanan yarayışlı su miktarı, arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak değişim göstermiştir (Çizelge 4.18). Bu değişimin derecesi arıtma çamurunun tarla kapasitesi ile solma noktasında oluşturduğu etkinin mutlak bir sonucudur. Kumlu topraklarda pF eğrisinin oldukça dar bir aralıkta değişim göstermesi, yarayışlı su miktarının sürekli desteklenmesini

gerektirmektedir. Bu da, daha sık aralıklarla suyun toprağa uygulanması anlamına gelmektedir. Bu tip alanlarda yarayışlı su miktarının artırılması için en uygun yönetim sistemi, toprağa organik karakterli materyal ilavesidir. Ancak ilave edilecek organik materyal düzeyinin tespit edilmesi, yarayışlı su miktarının artırılması açısından son derece önemlidir. Yarayışlı su miktarının artırılmasında her ne kadar tarla kapasitesinin artırılması önemli bir rol oynasa da, solma noktasında meydana gelen artış bu etkiyi belli ölçütlere kadar minimize edebilir. Arıtma çamuru ilavesi toprak yarayışlı su miktarını tüm uygulama düzeylerinde artırmıştır (Çizelge 4.18). Söz konusu artış, en yüksek 12 t/da uygulama düzeyinde beklenirken 4 t/da düzeyinde saptanmıştır. Bu durum, arıtma çamurunun tarla kapasitesi yanında solma noktasında meydana getirdiği artıştan kaynaklanmıştır (Epstein 1975).

4.3.2. Toprak kimyasal özellikleri üzerine etkisi

Arıtma çamuru uygulamasının toprak pH'sında meydana getirdiği değişim Çizelge 4.19'da görülmektedir. Arıtma çamuru uygulamasının toprak pH'sı üzerine olan etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş olup söz konusu etki yıllar ortalamasında da farklılıklar göstermiştir. Arıtma çamuru ilavesi tüm uygulama düzeylerinde toprak pH'sında bir azalışa neden olmuştur. En yüksek azalış değeri 12 t/da uygulama seviyesinde belirlenmiştir. Söz konusu azalış, hem arıtma çamurunun sahip olduğu düşük pH değerinden (6,82) hem de organik maddenin mineralizasyonuna bağlı olarak ortaya çıkan organik asitlerden kaynaklanmış olabilir (Veeresh *et al.* 2003; Aşık ve Katkat 2004).

Toprak elektriki iletkenliği (EC), uygulanan arıtma çamuru düzeyine bağlı olarak istatistiksel açıdan önemli değişiklikler göstermiştir (Çizelge 4.19). Yıllara bağlı olarak meydana gelen değişim birbirinden farklılık göstermiş olup 2005 yılında en yüksek EC değeri 12 t/da uygulama düzeyinde saptanmıştır. Ancak bu etki, denemenin yürütüldüğü daha sonraki yıllarda (2006 ve 2007) azalarak devam etmiştir. Denemenin yürütüldüğü her üç yılın ortalaması dikkate alındığında, istatistiksel olarak bir artış saptanmışsa da, bu artış bitki yetiştiriciliği için kısıtlayıcı bir tuz stresi düzeyine ulaşmamıştır. Söz

konusu etkinin zamanla azalması, arıtma çamurunun etkinliğini kaybetmesi ve sulama uygulamasına bağlı olarak tuzun bitki kök bölgesinden uzaklaşması ile ilişkilendirilebilir (Perez-Murcia *et al.* 2006; Gascó and Lobo, 2007).

Çizelge 4.19. Arıtma çamuru uygulamasının rüzgar erozyonuna maruz arazilerin pH ve elektriksel iletkenliğinde (EC) meydana getirdiği değişimler

pH				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	8,22±0,01aA [‡]	7,42±0,02aC	7,63±0,01aB	7,76±0,07a
4	7,85±0,04bA	7,26±0,03bC	7,49±0,02bB	7,53±0,05b
8	7,59±0,02cA	7,12±0,03cC	7,34±0,01cB	7,35±0,04c
12	7,43±0,01dA	6,84±0,03dC	7,16±0,01dB	7,15±0,05d
EC (dS/m)				
Kontrol	0,62±0,01dC	2,96±0,15aA	0,85±0,03cB	1,48±0,21d
4	1,67±0,04cB	2,59±0,04bA	1,73±0,04bB	2,00±0,09c
8	2,65±0,04bA	2,41±0,08bB	1,75±0,06bC	2,27±0,08b
12	3,75±0,03aA	1,58±0,04cC	1,96±0,07aB	2,43±0,19a

[‡] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Çizelge 4.20’de görüldüğü gibi kireçli sınıfında (%1-5 CaCO₃) yer alan rüzgar erozyonuna maruz alanlara fazla düzeyde kireçli (%17,3 CaCO₃) arıtma çamuru ilavesi, toprak kireç içeriğinde istatistiksel olarak bir artışa neden olmuştur. Toprak kireç içeriği, artan uygulama düzeyine bağlı olarak artış göstermiştir. Söz konusu artış, denemenin yürütüldüğü her üç yılda da gözlemlenmiştir. Yıllar ortalaması dikkate alındığında, bu artışlar 4, 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinde kontrol parseline göre sırası ile %23,95, %52,09 ve %66,92 oranlarında gerçekleşmiştir. Toprak kireç içeriğinde meydana gelen bu artış, arıtma çamurunun fazla düzeyde kireç içermesinden kaynaklanmıştır.

Çizelge 4.20’de görüldüğü üzere çok az düzeyde organik madde içeren rüzgar erozyonuna maruz araziye organik madde içeriği yüksek (%34) arıtma çamurunun uygulanması, toprak organik madde içeriğinde önemli artışlara neden olmuştur. Arıtma çamuru ilavesi ile toprak organik madde içeriği sınıfı çok az düzeyden (%0-1) orta düzeye (%2-3) yükselmiştir (Lindsay and Norwell 1969; FAO 1990). Aynı etki birçok araştırmacı tarafında da ortaya konmuştur (Albiach *et al.* 2001b; Hernández-Apaolaza *et al.* 2005; Tsadilas *et al.* 2005; Cheng *et al.* 2007). Toprak organik madde içeriği yıllara bağlı olarak değişiklikler göstermiş olup söz konusu değişim mineralizasyon süreci ile açıklanabilir (Ajwa and Tabatabai 1994). Denemenin yürütüldüğü her üç yılın ortalaması dikkate alındığında, toprak organik madde içeriğinde meydana gelen en yüksek artış 12 t/da uygulama düzeyinden elde edilmiştir.

Çizelge 4.20. Arıtma çamuru uygulamasının rüzgar erozyonuna maruz arazilerin kireç, organik madde ve azot içeriğine olan etkileri

Kireç (%)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	3,17±0,09dB [‡]	3,87±0,10dA	0,85±0,03dC	2,63±0,26d
4	4,12±0,13cB	4,56±0,09cA	1,11±0,08cC	3,26±0,31c
8	5,46±0,23bA	4,84±0,08bB	1,71±0,06bC	4,00±0,33b
12	5,89±0,15aA	5,32±0,08aB	1,97±0,05aC	4,39±0,34a
Organik Madde (%)				
Kontrol	0,16±0,01dB	0,62±0,02dA	0,26±0,02dB	0,35±0,04d
4	1,27±0,03cA	1,23±0,04cA	0,81±0,05cB	1,10±0,05c
8	1,68±0,04bA	1,78±0,05bA	1,20±0,06bB	1,55±0,06b
12	2,38±0,07aB	2,60±0,07aA	1,45±0,04aC	2,14±0,10a
Azot (%)				
Kontrol	0,11±0,00dA	0,03±0,00dB	0,02±0,00dB	0,05±0,01d
4	0,21±0,01cA	0,09±0,00cB	0,05±0,00cC	0,12±0,01c
8	0,29±0,00bA	0,17±0,00bB	0,10±0,01bC	0,19±0,02b
12	0,37±0,01aA	0,22±0,02aB	0,12±0,00aC	0,24±0,02a

[±] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Arıtma çamuru ilavesi ile toprak azot içeriğinde meydana gelen değişim, toprak organik madde içeriğinde sağlanan artış ile benzerlik göstermiştir (Çizelge 4.20). Yıllar

ortalaması dikkate alındığında, tüm uygulama düzeyleri kontrol parseline göre önemli düzeyde değişiklikler göstermiş olup en yüksek etki 12 t/da en düşük etki ise 4 t/da uygulamasında elde edilmiştir. Toplam azot içeriğinde meydana gelen bu artış, arıtma çamuru ilavesinden kaynaklanmıştır (Hernández-Apaolaza *et al.* 2005; Mantovi *et al.* 2005; Weber *et al.* 2007). Ancak arıtma çamurunun toprakların azot içeriğe yaptığı bu olumlu etki, yalnızca 2 yıl süreli olmuştur (Weber *et al.* 2007).

Arıtma çamuru uygulamasının katyon değişim kapasitesi (KDK) üzerine olan etkisi Çizelge 4.21’de verilmiştir. Organik maddenin toprakların KDK’sı üzerine sağladığı olumlu etki birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Kelly *et al.* 1999; Saviozzi *et al.* 1999; Antolín *et al.* 2005). Yüksek KDK değerine sahip arıtma çamurunun (62,43 me/100 gr) kumlu tın bünyeye sahip toprağa uygulanması, toprak KDK’sında önemli artışlara neden olmuştur (Çizelge 4.21). Söz konusu artış, 2005 yılında en yüksek düzeyde tespit edilirken, bu etki diğer yıllarda azalan oranlarda belirlenmiştir. En yüksek KDK değeri, uygulamayı takip eden ilk yıl (2005) 12 t/da uygulama düzeyinden elde edilmiştir.

Arıtma çamuru uygulamasının değişebilir katyon içeriğinde meydana getirdiği değişim Çizelge 4.21’de verilmiştir. Yüksek düzeyleri hem dispersiyonu teşvik etmesi hem de bitkisel üretimi sınırlandırması bakımından problem oluşturan Na^+ arıtma çamuru uygulaması ile bir artış göstermişse de, bu artış söz konusu olumsuz etkileri oluşturacak boyutlara ulaşmamıştır. Değişebilir Na^+ içeriğinde meydana gelen eser değişimler, yıllar ortalamasından da açıkça görülmektedir. Bitkisel üretimde verimliliği sınırlandıran etmenlerin en başlıcaları, K^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi gübre elementlerinin yeterli düzeylerde bulunmamasıdır. Oldukça düşük bitki besin elementi içeriğine sahip rüzgar erozyonuna maruz araziye arıtma çamuru ilavesi, her ne kadar toprak besin elementi içeriğinde bir artış sağlamışsa da, bu artış bitki ihtiyacının karşılanmasında gerek duyulan miktarlara ulaşmamıştır. Bu durum da, organik karakterli materyallerin toprak verimliliği üzerine olan etkisinden daha ziyade üretkenlik parametreleri üzerine olan etkilerini ortaya koymaktadır. Arıtma çamuru uygulamasının toprakların değişebilir katyon içerikleri üzerine olan olumlu etkisi birçok araştırmacı tarafından da bildirilmiştir (Wong *et al.*

1996; Warman and Termeer 2005; Cheng *et al.* 2007).

Çizelge 4.21. Arıtma çamuru uygulamasının rüzgar erozyonuna maruz arazilerin katyon değişim kapasitesi (KDK) ve değişebilir katyonları üzerine olan etkisi

Katyon Değişim Kapasitesi (me/100 gr)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	22,98±0,14dC [‡]	23,57±0,26cB	25,42±0,24aA	23,99±0,24d
4	25,38±0,10cA	24,61±0,09bB	25,42±0,15aA	25,14±0,10c
8	28,02±0,17bA	25,15±0,26abB	25,47±0,24aB	26,21±0,28b
12	29,13±0,16aA	25,76±0,55aB	25,52±0,26aB	26,80±0,38a
Na (me/100 gr)				
Kontrol	1,08±0,06bA	0,80±0,01bB	0,79±0,05aB	0,89±0,04b
4	0,93±0,02cA	0,81±0,00bB	0,75±0,01aC	0,83±0,02c
8	1,20±0,03aA	0,82±0,01abB	0,82±0,01aB	0,94±0,04a
12	1,26±0,06aA	0,83±0,00aB	0,82±0,02aB	0,97±0,05a
K (me/100 gr)				
Kontrol	2,56±0,07cA	0,78±0,03cB	0,56±0,03bC	1,30±0,18c
4	2,68±0,05bA	0,95±0,01bB	0,58±0,02bC	1,40±0,18b
8	2,73±0,04abA	1,08±0,03aB	0,66±0,02aC	1,49±0,18a
12	2,81±0,06aA	1,10±0,03aB	0,64±0,02aC	1,52±0,19a
Ca (me/100 gr)				
Kontrol	4,99±0,17cB	4,47±0,16cB	6,33±0,14cA	5,26±0,18c
4	6,87±0,20bC	8,11±0,29bA	7,62±0,14bB	7,53±0,16b
8	9,65±0,39aA	9,18±0,08aA	8,41±0,05aB	9,08±0,16a
12	9,35±0,30aA	9,38±0,14aA	8,58±0,07aB	9,10±0,13a
Mg (me/100 gr)				
Kontrol	3,25±0,07cA	2,36±0,08cB	2,25±0,05cB	2,62±0,10c
4	3,56±0,05bA	2,91±0,04bB	2,44±0,03bC	2,97±0,09b
8	3,81±0,05aA	3,17±0,10aB	2,57±0,02aC	3,19±0,11a
12	3,66±0,14abA	3,19±0,08aB	2,64±0,03aC	3,16±0,10a

[‡] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

Tarımsal üretimi artırmak amacıyla uygulanan organik girdiler aynı zamanda bitkiler için gerekli olan bazı besin elementlerini de sağlaması açısından önemli bir kaynaktır. Ancak bu organik girdiler, elde edildikleri kaynakların farklılığı nedeniyle bir takım değişik etkiler oluşturabilmektedirler. Arıtma çamurları yapılarında bulundurduğu yüksek ağır metal içeriğinden dolayı, uzun süreli uygulamalar sonunda topraklarda istenmeyen bazı olumsuzluklara neden olabilmektedir (Richards *et al.* 1998; Epstein

2003; Gascó *et al.* 2005). Bu olumsuz etkiler ya stabilizasyon ile ya da farklı uygulama teknikleri ile giderilebilir (Bilgin vd 2002; Epstein 2003).

Uygulanan arıtma çamuru tüm uygulama düzeylerinde toprakların Fe^{+2} , Mn^{+2} , Zn^{+2} ve Cu^{+2} içeriklerinde bitkilerin ihtiyaç duyduğu kritik konsantrasyonlardan daha yüksek düzeylerde bir artış sağlamıştır (Çizelge 4.22). Söz konusu bu artış, denemenin yürütüldüğü her üç yılda da belirlenmiştir. Toprak mikro element içeriğinin yıllar itibariyle benzer düzeylerde tespit edilmesi, arıtma çamurunun toprağa salıverdiği bu maddelerin toprak tarafından adsorbe edilmediğini, dolayısıyla yayayışlı formlarda kaldığını ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.22. Arıtma çamuru uygulamasının rüzgar erozyonuna maruz arazilerin mikro element içeriğine olan etkisi

Fe (ppm)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	9,18±0,13dA [†]	9,64±0,28dA	9,44±0,52cA	9,42±0,20d
4	25,74±0,53cA	22,79±1,29cB	9,73±0,78cC	19,42±1,46c
8	30,14±0,39bA	26,50±0,35bB	15,28±0,88bC	23,97±1,28b
12	33,84±0,31aA	28,82±0,24aB	25,70±1,96aC	29,45±0,92a
Mn (ppm)				
Kontrol	5,90±0,05cA	3,31±0,30dA	1,67±0,09dB	3,63±0,36d
4	11,10±0,61bA	9,60±0,61cA	3,44±0,27cB	8,05±0,71c
8	19,66±1,69aA	17,87±0,31bA	7,49±0,72bB	15,01±1,21b
12	23,02±1,97aA	22,88±0,36aA	12,07±0,20aB	19,32±1,19a
Cu (ppm)				
Kontrol	0,78±0,06dA	0,66±0,06dA	0,66±0,04dA	0,70±0,03d
4	3,40±0,17cA	1,62±0,06cC	2,05±0,14cB	2,36±0,17c
8	6,58±0,78bA	4,92±0,08bB	4,50±0,39bC	5,33±0,33b
12	11,11±0,41aA	7,76±0,07aB	6,67±0,21aC	8,51±0,40a
Zn (ppm)				
Kontrol	1,49±0,29dA	0,51±0,05dB	0,83±0,10dAB	0,94±0,13d
4	16,49±0,27cA	15,47±0,42cB	14,93±0,49cB	15,63±0,26c
8	28,09±0,21bA	28,06±0,28bA	21,78±0,56bB	25,98±0,62b
12	35,60±0,27aA	35,87±0,33aA	34,34±0,85aB	35,27±0,33a

[†] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=9). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

4.3.3. Arpa bitkisinin verimi üzerine etkisi

Arıtma çamuru uygulama düzeyinin arpa bitkisinin biyolojik ve tane verimine olan etkisi Çizelge 4.23’de verilmiştir. Biyolojik (sap+tane) verim, artan arıtma çamuru uygulama düzeyine bağlı olarak bir artış göstermiştir. Yıllar ortalaması dikkate alındığında kontrol, 4, 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinde biyolojik verim sırası ile 92,22, 136,63, 144,58 ve 206,33 kg/da elde edilmiştir. Biyolojik verimde saptanan bu değişimler 4, 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinde kontrol parseline göre sırası ile %48,16, %56,78 ve %123,74 oranında gerçekleşmiştir. Çizelge 4.23’de görüldüğü üzere 4 ve 8 t/da uygulama düzeylerinin yıllar ortalamasında istatistiksel olarak herhangi bir farklılığına neden olmadığı tespit edilmiştir. Söz konusu bu benzerlik, toprak organik madde ve azot içeriğinde meydana gelen değişim ile uyum göstermiştir (Çizelge 4.20). Rüzgar erozyonuna maruz bu alanda biyolojik verimin oldukça düşük çıkması, alanın sahip olduğu tekstürel (SL) yapıdan kaynaklanmaktadır. Organik madde içeriği yüksek olan maddelerin topraklara uygulanmasına bağlı olarak verimde meydana gelen artışlar birçok araştırmacı tarafından da bildirilmiştir (Wong *et al.* 1996; Antolín *et al.* 2005; Perez-Murcia *et al.* 2006; Hati *et al.* 2007). Yıllar dikkate alındığında ise, en yüksek biyolojik verim, arıtma çamuru ilavesini takip eden ilk yılda (2005) saptanırken, bu etki 2006 yılında azalan oranlarda gerçekleşmiştir. 2007 yılında ise söz konusu alanın kontrol, 4 ve 8 t/da uygulama düzeylerinden verim alınamamıştır. Belirtilen uygulama düzeylerinde bitkiler 2007 yılında 5-10 cm yüksekliğe ulaşmış, ancak tane bağlaması yapamamışlardır. Bu durum organik maddenin azalmasından (destekleyici gübre ilavesinin yapılmamasından), toprak kimyasal yapısında meydana gelen değişikliklerden ve münavebe uygulanmamasından kaynaklanmış olabilir. Tüm yıllarda en yüksek biyolojik verim, en yüksek uygulama düzeyi olan 12 t/da seviyesinde elde edilmiştir. Arıtma çamurunun biyolojik verim üzerine olan etkisinin zamanla azalması, toprak organik madde ve azot içeriğinin zamanla azalması (Çizelge 4.20) ile ilişkilendirilebilir.

Biyolojik verimde görülen artışın bir benzeri, tane veriminde de tespit edilmiştir (Çizelge 4.23). Artan uygulama dozuna bağlı olarak tane veriminde düzenli artışlar

gözlemlenmiştir. Yıllar ortalaması dikkate alındığında kontrol, 4, 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinde tane verimi sırası ile 31,34, 46,31, 52,21 ve 79,06 kg/da elde edilmiştir.

Çizelge 4.23. Arıtma çamuru uygulamasının arpa bitkisinin biyolojik ve tane verimi üzerine olan etkisi

Biyolojik (Sap+Tane) Verim (kg/da)				
Uygulama Düzeyi (t/da)	Yıllar			Ortalama
	2005	2006	2007	
Kontrol	134,25±2,53cA [‡]	142,41±4,99cA	-	92,22±23,14c
4	218,96±3,97bA	190,92±9,78bB	-	136,63±34,53b
8	229,24±2,74bA	204,49±4,70bB	-	144,58±36,35b
12	266,92±9,59aA	244,24±12,63aB	107,85±4,23C	206,33±25,29a
Tane Verimi (kg/da)				
Kontrol	55,57±4,78cA	38,44±2,05cB	-	31,34±8,35c
4	80,73±4,92bA	58,19±4,27bB	-	46,31±12,17b
8	88,97±1,38bA	67,65±5,02bB	-	52,21±13,49b
12	105,42±6,98aA	93,01±4,02aA	38,75±0,73B	79,06±10,50a

[‡] : Büyük harfler yıllar arasındaki, küçük harfler ise aynı yıllara ait uygulama düzeyleri arasındaki farkları göstermektedir (Ort±SE, n=3). Ortalamalar arasındaki farklar p<0,05 önem seviyesinde test edilmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzde giderek önem kazanan doğal çevrenin korunması, atıkların büyük ölçüde çevre ile uyumlu hale getirilerek bilinçli bir şekilde ortadan kaldırılması veya arazide kullanımı ile olasıdır. Atıkların yeni kirliliklere yol açmadan değerlendirilmesi, ekosistemin işlevselliğinin ön koşuludur.

Ülkemizde atık su arıtma tesisleri sayısının her geçen gün artması, arıtma çamurlarının nasıl değerlendirileceği konusunu yoğun olarak gündeme getirmektedir. Ancak arıtma çamurlarının kullanımı konusunda yeterli bilgi birikiminin ve araştırma bulgularının olduğu söylenemez. Mevcut uygulama, arıtma çamurlarının ya arıtma tesisi işletmecileri tarafından çöp depolama alanlarına atık olarak dökülmesi, ya da tesis yakınındaki çiftçiler tarafından gübre olarak bilinçsiz bir biçimde tarımsal üretimde kullanılması şeklindedir. Ancak, büyük bir organik gübre kaynağı olan arıtma çamurlarının arazide kullanımında potansiyel çevre kirleticisi olmasına izin verilmemesi konusu önem taşımaktadır.

Gerek ülkemizde, gerekse bölgemizde bu sahada yapılmış olan çalışmaların yetersizliği nedeniyle bu konuyu araştırma gereği duyulmuştur. Bu amaçla birbirlerinden fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından farklılık gösteren üç ayrı alana arıtma çamuru uygulaması yapılmış ve arıtma çamurunun toprakların birtakım fiziksel ve kimyasal özellikleri ile arpa bitkisinin biyolojik ve tane verimi üzerine olan etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Toprak işlemeli tarım yapılan alanlara arıtma çamuru uygulaması, toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinde önemli değişikliklere neden olmuştur. Söz konusu etki denemenin yürütüldüğü yıllara ve seçilen uygulama düzeylerine bağlı olarak farklılıklar göstermiş olup incelenen fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından en yüksek etki en yüksek uygulama düzeyi olan 12 t/da uygulamasından elde edilmiştir. Arıtma çamuru uygulamasının toprak işlemeli tarım yapılan alanların kütle ve tane yoğunluğu, porozite

ve agregat stabilitesi üzerine olan etkileri 1 yıl süreli olurken, permeabilite katsayısına olan etkisi 2 yıl, tarla kapasitesi ve solma noktası üzerine olan etkisi ise 3 yıl süreli olmuştur. Arıtma çamurunun toprak kimyasal özelliklerine olan etkisi ise 3 yıl boyunca etkinliğini korumuştur. Kimyasal yapıda meydana gelen değişimin uzun süreli olması, arıtma çamurunun doğrudan etkisi yanında toprak fiziksel özellikleri üzerinde oluşturduğu olumlu etkiden kaynaklanmıştır. Toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde meydana gelen bu olumlu değişiklikler, arpa bitkisinin veriminde de gözlemlenmiştir. Kültivasyon işlemlerinin yapıldığı bu alanda sürdürülebilir arpa bitkisi yetiştiriciliği için en uygun arıtma çamuru uygulama dozu çalışmadan elde edilen verilerin regresyon analizine tabii tutulması ile biyolojik (sap+tane) verim için 15,1 t/da, tane verimi için ise 13,6 t/da olarak belirlenmiştir. Bu dozların uygulanması ile sağlanacak olan biyolojik ve tane veriminin sırasıyla 772,43 ve 341,14 kg/da olması tahmin edilmektedir.

83.211 ha'lık işlemeli tarım arazisine sahip olan Iğdır Ovası'nın yaklaşık 36.476 hektarı (%43,8) tuzlu-alkali ve borlu arazilerden oluşmaktadır. Söz konusu alanın büyüklüğü ve Iğdır Ovası tarım arazilerinin sınır değerlerine ulaştığı dikkate alındığında, bu alanların ıslah edilerek tarıma kazandırılması hem bölge hem de ülke ekonomisi açısından oldukça büyük önem taşımaktadır. Tarımsal üretim açısından problem oluşturan bu alanların fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek amacıyla söz konusu alana farklı düzeylerde arıtma çamuru uygulaması yapılmıştır. Organik madde içeriği yüksek arıtma çamurunun tuzlu-alkali toprağa uygulanması, hem fiziksel hem de kimyasal toprak özelliklerinde önemli değişikliklere neden olmuştur. Elde edilen etki, araştırmanın yürütüldüğü yıllara ve seçilen uygulama düzeylerine bağlı olarak farklılıklar göstermekle birlikte, incelenen bütün fiziksel ve kimyasal parametreler bakımından en yüksek etki en yüksek uygulama düzeyi olan 12 t/da uygulamasından elde edilmiştir. Arıtma çamuru uygulamasının toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine olan etkisi denemenin yürütüldüğü her üç yılda da belirlenmiştir. Ancak bu olumlu etki, toprak ESP'sinde arzu edilen seviyelere ulaşmamıştır. Elektriki iletkenlik (EC) ve Na^+ içeriğinin dolayısıyla da ESP'nin yüksek olmasından ötürü tuzlu-alkali alanda bitki büyümesi görülmemiş olup her üç yılda da verim alınamamıştır. Tuz stresinin yoğun

olarak görüldüğü bu alanda arıtma çamuru etkinliğinin artırılarak toprağın bitki yetiştiriciliği için uygun hale getirilmesi topraktaki tuz hareketinin drenaj kanallarıyla kontrol altına alınması ile mümkün olabilir. ESP'nin tam düşürülmeden arıtma çamurunun etkili olması mümkün değildir. Dolayısıyla organik karakterli materyallerin bu gibi alanlara uygulanması ıslah sonrası tercih edilmelidir.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de toprak kaybı sürecinin en önemli etkeni erozyondur. İşlenen tarım alanlarımızın %75'inde (20 milyon ha) yoğun erozyon görülmektedir. Diğer bir anlatımla ülkemiz tarım alanlarının 5 milyon hektarlık bölümünde erozyon sorunu yoktur. Su ve rüzgar erozyonu tüm ülke topraklarının %86,5'inde cereyan etmekte, rüzgar erozyonu 506 bin hektarlık bir yayılımla daha çok kurak iklime sahip olan Konya ve Iğdır dolaylarında görülmektedir (Günay 1997). Uygun tarım ve yönetim tekniklerinin planlanmasıyla, bu arazilerin tarıma kazandırılması gerçekleştirilebilir.

Arıtma çamuru uygulaması, rüzgar erozyonuna maruz alanların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde olumlu katkılar sağlamıştır. Diğer alanlarda belirlendiği gibi en yüksek etki yine en yüksek uygulama düzeyi olan 12 t/da uygulamasından elde edilmiştir. Söz konusu olumlu katkı denemenin yürütüldüğü 3 yıl boyunca gözlemlenmiştir. Arıtma çamuru uygulaması yoğun rüzgar erozyonu nedeniyle tarım yapılamayan bu alanda tarımsal üretime düşük düzeylerde de olsa bir katkı sağlamıştır. Ancak elde edilen bu katkı sürdürülebilir üretim açısından yeterli seviyelere ulaşmamıştır. Bu alandan elde edilen veriler değerlendirildiğinde kontrol, 4, 8 ve 12 t/da uygulama düzeylerinde biyolojik verimin sırası ile 92,22, 136,63, 144,58 ve 206,33 kg/da olduğu, tane veriminin ise 31,34, 46,31, 52,21 ve 79,06 kg/da olduğu belirlenmiştir.

Iğdır İl Özel İdaresi Tarım Hizmetleri Müdürlüğüne bağlı rüzgar erozyonu sahasında erozyonunun önlenmesi için yapılan uygulama, söz konusu alanın tel çitlerle çevrilerek doğal vejetasyonun korunması temeline dayanmaktadır. Bu uygulama ile endemik bir bitki türü olan ebu cehil çalısının toprağı muhafaza etmesi sağlanmaktadır. Söz konusu alanın tarıma kazandırılabilmesi, yukarıda bahsedilen kısa vadeli yönetim sistemi yerine, uzun vadeli yönetim programlarının uygulanması ile gerçekleştirilebilir. Bu ise

ancak organik madde ilavesi ile sağlanabilir. Elde edilen bulgulara bu öneriyi destekleyici niteliktedir.

Iğdır İli nüfus yoğunluğu bakımından atık su arıtma tesisi yapılabilecek potansiyele sahip bir ilimizdir. Ayrıca Avrupa Birliği yönetmeliği, yüzey ve/veya yeraltı sularının kirliliğinin önlenmesi için belirli bir nüfus yoğunluğuna sahip bölgelerde atık su arıtma tesislerinin yapımını bir zorunluluk olarak karşımıza çıkarmaktadır. Bu durumda, arıtma çamurlarının üretimi ve kullanımı kaçınılmazdır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, arıtma çamurlarının Iğdır ovasında kullanımının toprak fiziksel özellikleri açısından yararlı olacağını ortaya koymuştur. Ayrıca arıtma çamurlarının kullanımı ile Iğdır ovasında yoğun bir kullanıma sahip olan ticari gübre ihtiyacı da azaltılacak ve üreticilere ekonomik bir katkı da sağlanacaktır. Arıtma çamurları aynı zamanda organik tarım için alternatif bir gübre kaynağı da olabilir. Tüm bu kullanım şekilleri ile arıtma çamurlarının hem potansiyel çevre kirleticisi olmasına izin verilmeyecek hem de tarımsal alanların üretkenliğini artırılacaktır.

Sonuç olarak toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi ve toprak verimliliğinin sağlanması amacıyla kullanılacak olan arıtma çamurlarının önemli bir alternatif kaynağı olduğu ve çevre açısından olumlu katkılar sağlayacağı belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda, toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri ve arpa bitkisi verimi açısından en uygun uygulama düzeyinin 12 t/da olduğu saptanmıştır. Ancak bu dozun 3 yıllık bir dönemde tek seferde uygulanması yerine yıllık 4 t/da olarak kullanılmasının daha etkin olacağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, arıtma çamurlarının yapılarında bulunan yüksek ağır metal içeriğinden dolayı uzun süreli uygulamalar sonunda topraklarda istenmeyen bazı olumsuzluklara neden olabileceği de göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR

- Abrol, I.P., Yadav, J.S.P. and Massoud, F.I., 1988. Salt-affected soils and their management. FAO Soils Bulletin No: 39, Rome.
- Aggelides, S.M. and Londra, P.A., 2000. Effect of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource Technology*, 71: 253-259.
- Ajwa, H.A. and Tabatabai, M.A., 1994. Decomposition of different organic materials in soils. *Biol. Fertil. Soils*, 18: 175-182.
- Akdeniz, H., Keskin, B., Yılmaz, İ. ve Oral, E., 2004. Bazı arpa çeşitlerinin verim ve verim unsurları ile bazı kalite özellikleri üzerinde bir araştırma. *Yüzüncü Yıl Üni. Zir. Fak. Tarım Bilimleri Derg.*, 14(2): 119-125.
- Akten, Ş. ve Akkaya, A., 1986. Kırşehir koşullarında farklı gübre uygulamalarının bazı kışlık arpa çeşitlerinde kışa dayanıklılık ve dane verimi ile bazı verim öğelerine etkisi. *DOĞA, Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi*, 10 (2): 127-140.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F. and Ingelmo, F., 2001a. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technology*, 76: 125-129.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F. and Ingelmo, F., 2001b. Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. *Bioresource Technology*, 77: 109-114.
- Amezket, E., 1999. Soil aggregate stability: A review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14 (2/3): 83-151.
- Anapalı, Ö., 1991. Iğdır ovası tuzlu, sodyumlu ve borlu topraklarının kademeli jips uygulaması ve yıkama ile ıslahı. Köy Hizmetleri Erzurum Araştırma Enstitüsü Müd. Genel Yayın No:31, Seri No: 28, Erzurum.
- Anonim, 1970. Iğdır projesi – Iğdır ovası ıslahı ve sulaması, detaylı arazi tasnifi ve drenaj raporu. D.S.İ. Genel Müdürlüğü Yayınları No: 570, Ankara.
- Anonim, 1976. Iğdır projesi – Iğdır ovası hidrojeolojik etüd raporu. D.S.İ. Genel Müdürlüğü, Ankara. s: 17-18.
- Anonim, 2001. Toprak kirliliğinin kontrolü yönetmeliği. 10.12.2001 tarih ve 24609 sayılı Resmi Gazete.
- Anonim, 2002. Iğdır tarım master planı. İl Tarım ve Kırsal Kalkınma Master Planlarının Hazırlanmasına Destek Projesi. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Iğdır Tarım İl Müdürlüğü, Ankara. 158 s.
- Anonim, 2006. T.C. Iğdır Valiliği. Iğdır İli Coğrafi Durum-Toprak Özellikleri. (<http://www.igdir.gov.tr/meridty.asp?id=23>)
- Anonim, 2007. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonymous, 1996a. Worldwater. Cairo Sludge Reuse Study. Vol.19, 10.
- Anonymous, 1996b. Use of reclaimed water and sludge in food crop production. National Academy Press, Washington, D.C.
- Anonymous, 2000a. Food Production and Security. (<http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/topic1.htm>)
- Anonymous, 2000b. Extent and Causes of Salt-affected Soils in Participating Countries. (<http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/topic2.htm#top>).
- Anonymous, 2000c. Working document on sludge. 3rd Draft. Brussels.

- Anonymous, 2003. State of the World 2003. Worldwatch Institute, Eds: Linda Stark. New York & London.
- Antolín, M.C., Pascual, I., García, C., Polo, A. and Sánchez-Díaz, M., 2005. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 94: 224-237.
- Aran, A., 1985. Çeşitli tarla kapasitesi tayin yöntemlerinin karşılaştırılması. T.O. ve Köy. Bak., Köy Hiz. Gen. Müd., Konya Araştırma Enstitüsü Müd. Yayınları No: 103-85.
- Aşık, B.B. ve Katkat, A.V., 2004. Gıda sanayi arıtma tesisi atığının (arıtma çamuru) tarımsal alanlarda kullanım olanakları. *Uludağ Üni. Zir. Fak. Derg.*, 18 (2): 59-71.
- Bergkvist, P., Jarvis, N., Berggren, D. and Carlgren, K., 2003. Long-term effects of sewage sludge applications on soil properties, cadmium availability and distribution in arable soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 97: 167-179.
- Berry, C.R., 1987. Use of municipal sewage sludge for improvement of forest sites in the southeast. U.S. Dep. Agr., Forest Service, Southeastern Forest Exp. Sta. Research Paper No: SE-266, 1-19.
- Bhogal, A., Nicholson, F.A., Chambers, B.J. and Shepherd, M.A., 2003. Effects of past sewage sludge additions on heavy metal availability in light textured soils: implications for crop yields and metal uptakes. *Environmental Pollution*, 121: 413-423.
- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H. ve Üstün, H., 2002. Biyokatıların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı. ASKİ Arıtma Tesisi Başkanlığı – KHGM Ankara Araştırma Enstitüsü.
- Blake, G.R., 1965a. Bulk density. In: Black, C.A. (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part II*, American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, p: 374-390.
- Blake, G.R., 1965b. Particle density. In: Black, C.A. (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part I*, American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, p: 371-373.
- Bower, L.D., 1965. *Soil Physics (5th Edition)*. John Wiley and Sons Inc., Newyork.
- Bozkurt, M.A. ve Yarılgac, T., 2003. The effects of sewage sludge applications on the yield, growth, nutrition and heavy metal accumulation in apple trees growing in dry conditions. *Turkish J. Agric. For.*, 27: 285-292.
- Bremner, J. M. and Mulvaney C.S., 1982. Nitrogen total. *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. Agronomy. No: 9*, p: 597-622.
- Canbolat, M.Y., 1990. Iğdır yöresi topraklarında kaymak sertliği (kırılma değeri) ile ilgili araştırmalar. Atatürk Üni. Zir. Fak. Toprak İlmi Böl. Doktora Tezi (Yayınlanmamış).
- Canbolat, M.Y., Hanay, A. ve Anapalı, Ö., 1996. Aralık ilçesi rüzgar erozyon alanı sorunlu topraklarına organik atık materyal uygulamasının etkileri. Atatürk Üni. Zir. Fak. Derg., 27(3): 448-460.
- Celik, I., Ortas, I. and Kilic, S., 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. *Soil & Tillage Research*, 78: 59-67.
- Cerezo, M.L.L., Marcos, M.L.F and Rodríguez, E.A., 1999. Heavy metals in mine soils amended with sewage sludge. *Land Degrad. Develop.*, 10: 555-564.

- Cheng, H., Xu, W., Liu, J., Zhao, Q., He, Y. and Chen, G., 2007. Application of composted sewage sludge (CSS) as a soil amendment for turfgrass growth. *Ecological Engineering*, 29: 96-104.
- Cunningham, J.D., Keeney, D.R. and Ryan, J.A., 1975. Yield and metal composition of corn and rye grown on sewage sludge-amended soil. *J. Environ. Qual.*, 4 (4): 448-454.
- Çağlar, K.Ö. ve Hızalan, E., 1956. Iğdır bölgesi toprak etüdleri. Ankara Üni. Zir. Fak. Toprak İlmi Bölümü Yayını, Ankara.
- Debosz, K., Petersen, S.O., Kure, L.K. and Ambus, P., 2002. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. *Applied Soil Ecology*, 19: 237-248.
- Demiralay, İ., 1993. Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üni. Zir. Fak. Yayın No: 143. Erzurum.
- Dizdar, Y., 1983. Toprak sınıflaması. Topraksu Genel Müd. Yayın, Ankara, No:707.
- Doğan, O., 2002. Türkiye’de Erozyon Sorunu ve Çözüm Önerileri. Su Havzalarında Toprak ve Su Kaynaklarının Korunması, Geliştirilmesi ve Yönetimi Sempozyumu. 18-20 Eylül 2002. Antakya-Hatay. s:1-6.
- EPA, 1994. Land Application of Biosolids. Process Design Manual. Cincinnati, Ohio.
- Epstein, E., 1975. Effect of sewage sludge on some soil physical properties. *J. Environ. Qual.*, 4 (1): 139-142.
- Epstein, E., 2003. Land Application of Sewage Sludge and Biosolids. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Epstein, E., Taylor, J.M. and Chaney, R.L., 1976. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil and some soil physical and chemical properties. *J. Environ. Qual.*, 5: 422-426.
- Ergene, A., 1993. Toprak Biliminin Esasları. Atatürk Üni. Zir. Fak. Yayın No: 586. Ziraat Fakültesi Yayın No: 267. Ders Kitapları Serisi No: 42. Erzurum.
- Evren, S., 1995. Iğdır ovası koşullarında buğday su tüketimi ve su verim ilişkileri. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Erzurum Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 55, Rapor Serisi No: 48, Erzurum.
- FAO, 1990. Micronutrient assessment at the country level: An International study. *FAO Soils Bulletin*, No: 63, Rome. 214 p.
- Filibeli, A., 1998. Arıtma çamurlarının işlenmesi. D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, İzmir.
- García-Orenes, F., Guerrero, C., Mataix-Solera, J., Navarro-Pedreño, J., Gómez, I. and Mataix-Beneyto, J., 2005. Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids. *Soil & Tillage Research*, 82 (1): 65-76.
- Gascó, G. and Lobo, M.C., 2007. Composition of a Spanish sewage sludge and effects on treated soil and olive trees. *Waste Management*, 27: 1494-1500.
- Gascó, G., Lobo, M.C. and Guerrero, F., 2005. Land application of sewage sludge: A soil columns study. *Water SA*, 31 (3): 309-318.
- Gee, G. W. and Bauder J.W., 1986. Particle-size analysis. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. Agronomy No: 9*, p: 383-441.
- Glauser, R., Doner, H.E. and Paul, E.A., 1988. Soil aggregate stability as a function of particle size in sludge-treated soils. *Soil Science*, 146 (1): 37-42.
- Guidi, G., Pagliai, M. and Giachetti, M., 1981. Modifications of some physical and

- chemical soil properties following sludge and compost applications. D. Reidel Publishing Company. p:122-130.
- Guidi, G. and Hall, J.E., 1983. Effects of sewage sludge on the physical and chemical properties of soils. Third International Symposium on Processing and Use of Sewage Sludge, 27-29 September 1983. p: 1-11. Brighton, UK.
- Guidi, G., Petruzzelli, G. and Giachetti, M., 1983. Effect of three fractions extracted from an aerobic and an anaerobic sewage sludge on the water stability and surface area of soil aggregates. *Soil Science*, 136 (3): 158-163.
- Günay, T., 1997. Orman, Ormansızlaşma, Toprak, Erozyon. TEMA Vakfı Yayınları No:1. 286 s.
- Hanay, A., 1990. Çöp kompostunun toprakların bazı yapısal özellikleri ve toprak-su ilişkilerine olan etkilerinin ahır gübresiyle karşılaştırılması üzerine bir araştırma Atatürk Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kültürteknik Anabilim Dalı Doktora Tezi (Yayınlanmamış).
- Hanay, A. 1992. Çöp kompostu uygulamasının toprakların kıvam limitleri ile bazı strüktür stabilite indekslerine etkisi üzerine bir araştırma. Atatürk Üni. Zir. Fak. Derg., 23 (1): 29-38.
- Hanay, A. ve Yardımcı, N., 1992. Çöp kompostu ve ahır gübresinin toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile toprak-su ilişkilerine etkileri üzerine bir araştırma. *Doğa-Tr. J. of Agriculture and Forestry.*, 16: 91-102.
- Hanay, A., Şahin, Ü., Canbolat, M. ve Anapalı, Ö., 1996. Sabit seviyeli permeametre yönteminde farklı potansiyometrik yüklerin toprakların hidrolik iletkenliklerine etkisi. Atatürk Üni. Zir. Fak. Derg., 27(2): 272-283.
- Hanay, A., Büyüksönmez, F., Kızıloglu, F.M. and Canbolat, M.Y., 2004. Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW compost. *Compost Science & Utilization*, 12 (2): 175-179.
- Harris, M.A. and Megharaj, M., 2001. The effects of sludge and green manure on hydraulic conductivity and aggregation in pyritic mine tailings materials. *Environmental Geology*, 41: 285-296.
- Hati, K.M., Biswas, A.K., Bandyopadhyay, K.K. and Misra, A.K., 2007. Soil properties and crop yields on a vertisol in India with application of distillery effluent. *Soil & Tillage Research*, 92: 60-68.
- Haynes, R.J. and Naidu, R., 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 51: 123-137.
- Hernández-Apaolaza, L., Gascó, A.M., Gascó, J.M. and Guerrero, F., 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresource Technology*, 96 (1): 125-131.
- Holz, S.C., Ingelmo, F. and Canet, R., 2000. Long term effects of the application of sewage sludge and vegetal cover on some physical and physicochemical properties of a degraded arid soil. *Agrochimica*, 44: 133-139.
- Hornick, S.B. and Parr, J.F., 1987. Restoring the productivity of marginal soils with organic amendments. *American Journal of Alternative Agriculture*, 2 (2): 64-68.
- Hornick, S.B., Sikora, L.J. and Sterret, S.B., 1984. Utilization of sewage sludge compost as a soil conditioner and fertilizer for plant growth. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Information Bulletin. No: 464, 32 p.
- Ingelmo, F., Canet, R., Ibañez, M.A., Pomares, F. and García, J., 1998. Use of MSW

- compost, dried sewage sludge and other wastes as partial substitutes for peat and soil. *Bioresource Technology*, 63: 123-129.
- İstanbuluoğlu, A., 1995. Iğdır-Aralık Rüzgar Erozyon Sahası (Toprak-Su Sorunları ve Çözüm Önerileri). Trakya Üni. Tekirdağ Zir. Fak. Genel Yayın No: 239, Araştırma Yayın No: 90.
- Kacar, B. ve Katkat, A.V., 2006. Bitki Besleme. Nobel Yayın Dağıtım.
- Karakaplan, S., 1982. Malatya'da kanalizasyon suyu ile sulanan toprakların kimyasal özelliklerindeki değişimler. Atatürk Üni. Zir. Fak. Dergisi, 13 (1-2): 69-77.
- Kelling, K.A., Peterson, A.E. and Walsh, L.M. 1977. Effect of wastewater sludge on soil moisture relationships and surface runoff. *Journal Water Pollution Control Federation*, 1698-1703.
- Kelly, J.J., Häggblom, M. and Tate III, R.L., 1999. Effects of the land application of sewage sludge on soil heavy metal concentrations and soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 1467-1470.
- Kemper, W.D. and Rosenau, R.C., 1986. Aggregate stability and size distribution. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd Edition. Agronomy No: 9, Madison, Wisconsin, USA, p:425-442.
- Khaalel, R., Reddy, K.R. and Overcash, M.R., 1981. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: a review. *J. Environ. Qual.*, 10 (2): 133-141.
- Kırımhan, S., 1974. Iğdır devlet üretme çiftliği arazisinde drenaj sorununun çözümü ve çorak toprakların ıslah olanakları. Atatürk Üni. Zir. Fak. Yayınları, Erzurum.
- Kırımhan, S., Sağlam, M.T. ve Karakaplan, S., 1982. Erzurum'da kentsel atıksular ile sulanan tarım topraklarında kimyasal kirlenme. Atatürk Üni. Zir. Fak. Dergisi, 13 (3-4): 123-133.
- Klute, A., 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In C.A. Black (Ed.) *Methods of Soil Analysis Part 1*. ASA, No: 9, Madison, WI.
- Kocaer, F.O., Kemiksiz, A. ve Başkaya, H.S., 2003. Arıtma çamuru uygulanmış bir topraktaki organik azotun mineralizasyonu üzerine bir araştırma. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 12 (46): 12-16.
- Lax, A., Díaz, E., Castillo, V. and Albaladejo, J., 1994. Reclamation of physical and chemical properties of a salinized soil by organic amendments. *Arid Soil Res. Rehab.*, 8: 9-17.
- Lindsay, W.L. and Norwell W.A., 1969. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33: 49-54.
- López-Tercero, A.M., Andrade, L. and Marcet, P., 2003. Organic nitrogen mineralization rate in sewage sludge amended mine soil. *Mining and the Environment Conference*, Sudbury, 26-28 May 2003.
- Mantovi, P., Baldoni, G. and Toderi, G., 2005. Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. *Water Research*, 39: 289-296.
- Munsuz, N., Çaycı, G. ve Ok Sözüdoğru, S., 2001. Toprak Islahı ve Düzenleyiciler (Tuzlu ve Alkali Toprakların Islahı). Ankara Üni. Zir. Fakültesi Yayın No: 1518, Yardımcı ders Kitabı No: 471, Ankara.
- Nakaya, N. and Motomura, S., 1984. Effects of organic and mineral fertilization on soil physical properties and hydrophobicity of soil organic matter. *Organic matter and rice*, International Rice Research Inst., Los Banos, Laguna, Philippines, p. 387-398.

- Navas, A., Bermúdez, F. and Machín, J., 1998. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols. *Geoderma*, 87: 123-135.
- Nelson, R.E., 1982. Carbonate and Gypsum. *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition*. Agronomy. No: 9, p: 181-199.
- Nelson, D. W. and Sommers L. E., 1982. Organic matter. *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition*. Agronomy. No: 9, p: 574-579.
- Ojeda, G., Alcañiz, J.M. and Ortiz, O., 2003. Runoff and losses by erosion in soils amended with sewage sludge. *Land Degrad. Develop.*, 14: 563-573.
- Olson, K.R. and Jones, R.L., 1988. Effects of scrubber sludge on soil and dredged sediment aggregation and porosity. *Soil Science*, 145 (1): 63-69.
- Oruç, N., 1970. Iğdır ovası çorak topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri. Atatürk Üni. Zir. Fak. Yayınları No: 27, Erzurum.
- Önal, M.K., Topcuoğlu, B. ve Arı, N., 2003. Toprağa uygulanan kentsel arıtma çamurunun domates bitkisine etkisi: II. Gelişme ve meyve özellikleri ile meyvede mineral içerikleri. *Akdeniz Üni. Zir. Fak. Derg.*, 16 (1): 97-106.
- Pagliai, M. and Guidi, G., 1979. Micromorphological determinations of soil porosity in field experiments with sewage sludge and compost. *First European Symposium Treatment and Use of Sewage Sludge*. 13-15 February 1979. Cadarache, Brussels. p: 309-315.
- Parat, C., Chaussod, R., Leveque, J. and Andreux, F., 2005. Long-term effects of metal-containing farmyard manure and sewage sludge on soil organic matter in a fluvisol. *Soil Biology & Biochemistry*, 37: 673-679.
- Parr, J.F., Papendick, R.I. and Colacicco, D., 1986. Recycling of organic wastes for a sustainable agriculture. *Bio. Agri. and Hor.*, 3: 155-130.
- Perez-Murcia, M.D., Moral, R., Moreno-Caselles, J., Perez-Espinosa, A. and Paredes, C., 2006. Use of composted sewage sludge in growth media for broccoli. *Bioresource Technology*, 97: 123-130.
- Quemada, M. and Menacho, E., 2001. Soil respiration 1 year after sewage sludge application. *Biol. Fertil. Soils*, 33: 344-346.
- Ravindran, K.C., Venkatesan, K., Balakrishnan, V., Chellappan, K.P. and Balasubramanian, T., 2007. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 39: 2661-2664.
- Rhoades, J.D., 1982a. Cation exchange capacity. *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition*. Agronomy. No: 9, p: 149-157.
- Rhoades, J.D., 1982b. Exchangeable cations. *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition*. Agronomy. No: 9, p: 159-164.
- Rhoades, J.D., Kandiah, A. and Mashali, A.M., 1992. The use of saline waters for crop production. *FAO Irrigation and Drainage Paper No: 48*, Rome.
- Richards, L.A., 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Sci.*, 66: 105-110.
- Richards, L.A., 1949. Method of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.*, 68: 95-112.
- Richards, B.K., Steenhuis, T.S., Peverly, J.H. and McBride, M.B., 1998. Metal mobility at an old, heavily loaded sludge application site. *Environmental Pollution*, 99: 365-377.
- Rosenberg, M., 2006. Population growth rate and doubling time. <http://geography>.

- about.com/od/populationgeography/a/populationgrow.htm.
- Rowell, D.L., 1994. *Soil Science: Methods and Applications*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Sastre, I., Vicente, M.A. and Lobo, M.C., 2001. Behaviour of cadmium and nickel in a soil amended with sewage sludge. *Land Degrad. Develop.* 12: 27-33.
- Saviozzi, A., Biasci, A., Riffaldi, R. And Levi-Minzi, R., 1999. Long-term effects of farmyard manure and sewage sludge on some soil biochemical characteristics. *Biol. Fertil. Soils*, 30: 100-106.
- Sezen, Y., 1995. *Toprak Kimyası*. Atatürk Üni. Yayınları No: 790. Ziraat Fakültesi Yayın No: 322. Ders Kitapları Serisi No: 71. Erzurum.
- Shiralipour, A. and Epstein, E., 1996. Compost effect on cotton growth and yield. *Composting in the Carolinas Conference*, Clemson, South Carolina. 23-25 October 1996. p: 108-115.
- Shuval, H.I., 1990. *Wastewater Irrigation in Developing Countries*. Summary of World Bank Technical Paper Number 51, Washington, USA.
- Smernik, R.J., Oliver, I.W. and McLaughlin, M.J., 2004. Changes in the nature of sewage sludge organic matter during a twenty-one-month incubation. *J. Environ. Qual.*, 33: 1924-1929.
- Sort, X. and Alcañiz, J.M., 1999a. Modification of soil porosity after application of sewage sludge. *Soil & Tillage Research*, 49: 337-345.
- Sort, X. and Alcañiz, J.M., 1999b. Effects of sewage sludge amendment on soil aggregation. *Land Degradation & Development*, 10: 3-12.
- SPSS Inc., 2004. *SPSS Inc., SPSS® 13.0 Base User's Guide*, Prentice Hall.
- Stamatiadis, S., Doran, J.W. and Kettler, T., 1999. Field and laboratory evaluation of soil quality changes resulting from injection of liquid sewage sludge. *Applied Soil Ecology*, 12: 263-272.
- Stanford, G. and Donohue, D., 1983. The Landmix Program. *Biocycle*, 24 (3): 48-51.
- Stone, R.J. and Ekwue, E.I., 1996. Soil compressibility as influenced by sewage sludge incorporation. *J. Agric. Eng. Res.*, 64: 227-236.
- Tejada, M. and Gonzalez, J.L., 2007. Influence of organic amendments on soil structure and soil loss under simulated rain. *Soil & Tillage Research*, 93: 197-205.
- Topcuoglu, B., Önal, M.K. ve Arı, N., 2003. Toprağa uygulanan kentsel arıtma çamurunun domates bitkisine etkisi: I. Bitki besinleri ve ağır metal içerikleri. *Akdeniz Üni. Zir. Fak. Derg.*, 16 (1): 87-96.
- Tsadilas, C.D., Mitsios, I.K. and Golia, E., 2005. Influence of biosolids application on some soil physical properties. *Communications in Soil and Plant Analysis*, 36: 709-716.
- Uslu, O. ve Türkman, A., 1987. Su kirliliği ve kontrolü. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Eğitim Dizisi No: 1, Ankara.
- USSL, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. United States Salinity Laboratory Staff, Agriculture Handbook No: 60, Washington, D.C.
- Veeresh, H., Tripathy, S., Chaudhuri, D., Ghosh, B.C., Hart, B.R. and Powell, M.A., 2003. Changes in physical and chemical properties of three soil types in India as a result of amendment with fly ash and sewage sludge. *Environmental Geology*, 43: 513-520.
- Vigerust, E., 1984. Use of sewage sludge on green area. *Utilization of Sewage Sludge on Land, Rates of Application and Long-Term Effects of Metals*. Berlung, S.,

- Davis, R.D. and L'Hermite, P. (Eds.). D. Reidel Publishing Company. p: 36-46.
- Warman, P.R. and Termeer, W.C., 2005. Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn and B content of crops and soils. *Bioresource Technology*, 96: 1029-1038.
- Weber, J., Karczewska, A., Drozd, J., Licznar, M., Licznar, S., Jamroz, E. and Kocowicz, A., 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biology & Biochemistry*, 39: 1294-1302.
- Wei, Q.F., Lowery, B. and Peterson, A.E., 1985. Effects of sludge application on physical properties of a silty clay loam soil. *J. Environ. Qual.*, 14 (2): 178-180.
- Wei, Y. and Liu, Y., 2005. Effect of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year field study. *Chemosphere*, 59: 1257-1265.
- Wilson, S.A., Rahe, T.M. and Webber, Jr.W.B., 1985. Municipal wastewater sludge as a soil amendment for revegetating final landfill cover. *Journal of Soil and Water Conservation*. p: 296-299.
- Wong, J.W.C., Li, G.X. and Wong, M.H., 1996. The growth of *Brassica Chinensis* in heavy-metal-contaminated sewage sludge compost from Hong Kong. *Bioresource Technology*, 58: 309-313.
- Wong, J.W.C., Lai, K.M., Fang, M. and Ma, K.K., 1998. Effect of sewage sludge amendment on soil microbial activity and nutrient mineralization. *Environment International*, 24 (8): 935-943.
- Yağanoğlu, A.V., 2000. Zemin Mekaniği. Atatürk Üni. Zir. Fak. Ders Yayınları No: 201, Erzurum.
- Yıldız, N. ve Bircan, H., 1994. Araştırma ve Deneme Metodları (II. Baskı). Atatürk Üni. Yayınları No: 697, Zir. Fak. No: 305, Ders Kitapları Serisi No: 57, Erzurum.
- Zhang, M., Heaney, D., Solberg, E. and Heriquez, B., 2000. The effect of MSW compost on metal uptake and yield of wheat, barley and canola in less productive farming soils of Alberta. *Compost Sci. Util.*, 8 (3): 224-235.

EKLER**EK 1. Arıtma çamuru uygulamasının 2005 yılında toprakların fiziksel özellikleri üzerine olan etkileri (Ort±SE, n=9)**

	Uygulama Düzeyi (t/da)	Araştırma Alanı		
		Toprak İşlemeli Tarım Yapılan Arazi	Tuzlu-Alkali Arazi	Rüzgar Erozyonuna Maruz Arazi
Kütle Yoğunluğu (g/cm ³)	Kontrol	1,31±0,04	1,27±0,02	1,35±0,02
	4	1,22±0,05	1,25±0,02	1,33±0,01
	8	1,20±0,02	1,24±0,02	1,28±0,03
	12	1,19±0,01	1,22±0,02	1,23±0,04
Tane Yoğunluğu	Kontrol	2,588±0,007	2,575±0,005	2,480±0,01
	4	2,585±0,008	2,546±0,009	2,464±0,01
	8	2,580±0,006	2,524±0,014	2,432±0,01
	12	2,566±0,010	2,464±0,012	2,402±0,02
Porozite (%)	Kontrol	49,50±1,57	50,81±0,75	45,75±0,74
	4	52,84±1,78	50,77±0,69	46,07±0,43
	8	53,42±0,81	50,70±1,08	47,47±1,32
	12	53,80±0,31	50,66±0,94	48,65±1,78
Agregat Stabilitesi (%)	Kontrol	42,56±1,90	3,48±0,44	-
	4	43,57±0,48	6,01±0,65	-
	8	48,26±1,42	19,57±1,60	-
	12	51,76±0,93	30,50±1,28	-
Permeabilite Katsayısı (cm/h)	Kontrol	2,113±0,115	0,034±0,005	4,097±0,205
	4	2,343±0,110	0,047±0,011	4,816±0,314
	8	3,524±0,179	0,052±0,003	5,353±0,290
	12	5,742±0,311	0,096±0,009	5,862±0,394
Tarla Kapasitesi (P _w)	Kontrol	21,16±1,33	26,05±0,31	15,32±1,11
	4	23,58±1,75	27,52±0,68	22,72±1,13
	8	25,13±1,27	30,27±0,55	22,87±1,33
	12	27,64±1,46	31,29±0,66	23,65±0,79
Solma Noktası (P _w)	Kontrol	13,22±0,04	19,71±0,28	5,53±0,22
	4	15,21±0,21	21,93±0,50	7,92±0,15
	8	15,75±0,04	23,16±0,15	10,44±0,48
	12	16,38±0,16	23,73±0,07	12,21±0,93
Yarayışlı Su Miktarı (P _w)	Kontrol	7,94±1,33	6,34±0,37	9,80±0,95
	4	8,37±1,69	5,59±0,90	14,80±1,15
	8	9,38±1,27	7,11±0,58	12,43±1,61
	12	11,26±1,47	7,56±0,63	11,44±1,40

EK 2. Arıtma çamuru uygulamasının 2006 yılında toprakların fiziksel özellikleri üzerine olan etkileri (Ort±SE, n=9)

	Uygulama Düzeyi (t/da)	Araştırma Alanı		
		Toprak İşlemeli Tarım Yapılan Arazi	Tuzlu-Alkali Arazi	Rüzgar Erozyonuna Maruz Arazi
Kütle Yoğunluğu (g/cm ³)	Kontrol	1,28±0,01	1,34±0,02	1,39±0,02
	4	1,27±0,01	1,31±0,01	1,31±0,01
	8	1,26±0,01	1,31±0,01	1,29±0,01
	12	1,26±0,01	1,31±0,02a	1,28±0,01b
Tane Yoğunluğu	Kontrol	2,567±0,005	2,575±0,002	2,507±0,00
	4	2,567±0,008	2,573±0,006	2,490±0,01
	8	2,567±0,009	2,556±0,006	2,472±0,00
	12	2,566±0,002	2,482±0,002	2,450±0,01
Porozite (%)	Kontrol	50,32±0,25	48,06±0,84	44,74±0,54
	4	50,61±0,40	49,04±0,24	47,52±0,41
	8	51,09±0,42	48,79±0,42	47,94±0,54
	12	50,97±0,26	47,18±0,61	47,57±0,34
Agregat Stabilitesi (%)	Kontrol	56,25±2,02	4,00±0,83	-
	4	58,40±0,77	7,14±1,45	-
	8	58,70±2,72	13,52±2,46	-
	12	59,06±1,49	32,73±4,70	-
Permeabilite Katsayısı (cm/h)	Kontrol	2,388±0,054	0,035±0,001	4,608±0,215
	4	2,779±0,123	0,057±0,003	5,217±0,072
	8	3,367±0,082	0,068±0,002	5,704±0,297
	12	5,556±0,322	0,103±0,004	6,270±0,479
Tarla Kapasitesi (P _w)	Kontrol	20,38±0,48	27,25±0,48	17,46±0,36
	4	22,76±0,85	27,92±0,48	20,59±0,22
	8	23,39±0,36	28,29±0,49	22,10±0,53
	12	23,78±0,44	28,87±0,63	23,00±0,38
Solma Noktası (P _w)	Kontrol	13,28±0,06	19,28±0,27	5,47±0,08
	4	14,43±0,05	20,23±0,52	6,58±0,10
	8	14,82±0,05	20,67±0,08	7,86±0,14
	12	15,39±0,11	21,68±0,12	9,17±0,20
Yarayışlı Su Miktarı (P _w)	Kontrol	7,11±0,47	7,97±0,61	11,99±0,37
	4	8,32±0,85	7,69±0,65	14,02±0,28
	8	8,56±0,39	7,62±0,53	14,24±0,55
	12	8,39±0,48	7,19±0,69	13,83±0,51

EK 3. Arıtma çamuru uygulamasının 2007 yılında toprakların fiziksel özellikleri üzerine olan etkileri (Ort±SE, n=9)

	Uygulama Düzeyi (t/da)	Araştırma Alanı		
		Toprak İşlemeli Tarım Yapılan Arazi	Tuzlu-Alkali Arazi	Rüzgar Erozyonuna Maruz Arazi
Kütle Yoğunluğu (g/cm ³)	Kontrol	1,27±0,02	1,28±0,01	1,33±0,01
	4	1,26±0,01	1,27±0,01	1,28±0,01
	8	1,24±0,00	1,25±0,01	1,26±0,01
	12	1,23±0,01	1,26±0,01	1,25±0,01
Tane Yoğunluğu	Kontrol	2,548±0,009	2,562±0,008	2,519±0,00
	4	2,544±0,005	2,544±0,004	2,491±0,01
	8	2,544±0,013	2,540±0,006	2,472±0,01
	12	2,525±0,004	2,475±0,013	2,450±0,01
Porozite (%)	Kontrol	50,34±0,60	49,95±0,26	47,24±0,50
	4	50,34±0,56	50,26±0,31	48,65±0,30
	8	51,12±0,30	50,57±0,53	48,85±0,43
	12	51,20±0,46	48,91±0,43	49,12±0,24
Agregat Stabilitesi (%)	Kontrol	54,49±1,07	2,17±0,22	-
	4	55,58±0,93	3,75±0,36	-
	8	58,62±0,66	4,47±0,34	-
	12	61,46±0,60	12,90±0,13	-
Permeabilite Katsayısı (cm/h)	Kontrol	2,710±0,110	0,034±0,004	4,149±0,195
	4	2,922±0,148	0,035±0,001	4,201±0,461
	8	2,997±0,096	0,037±0,002	4,524±0,339
	12	3,070±0,232	0,037±0,002	4,634±0,527
Tarla Kapasitesi (P _w)	Kontrol	19,90±0,22	24,05±0,52	17,53±0,48
	4	21,01±0,28	24,10±0,25	20,30±0,67
	8	21,36±0,49	24,14±0,27	20,72±0,33
	12	21,56±0,23	24,26±0,51	21,00±0,19
Solma Noktası (P _w)	Kontrol	13,60±0,52	19,22±0,14	5,00±0,30
	4	13,62±0,50	19,60±0,16	5,82±0,15
	8	13,74±0,56	19,65±0,11	6,67±0,15
	12	13,97±0,71	20,87±0,04	6,83±0,27
Yarayışlı Su Miktarı (P _w)	Kontrol	6,31±0,51	4,83±0,60	12,53±0,35
	4	7,39±0,34	4,50±0,34	14,47±0,74
	8	7,62±0,45	4,49±0,20	14,04±0,30
	12	7,59±0,81	3,39±0,51	14,17±0,33

EK 4. Arıtma çamuru uygulamasının toprakların fiziksel özellikleri üzerine olan etkilerinin 3 yıllık ortalaması (Ort±SE, n=9)

	Uygulama Düzeyi (t/da)	Araştırma Alanı		
		Toprak İşlemeli Tarım Yapılan Arazi	Tuzlu-Alkali Arazi	Rüzgar Erozyonuna Maruz Arazi
Kütle Yoğunluğu (g/cm ³)	Kontrol	1,28±0,02	1,30±0,01	1,35±0,01
	4	1,25±0,02	1,28±0,01	1,31±0,01
	8	1,23±0,01	1,27±0,01	1,28±0,01
	12	1,23±0,01	1,26±0,01	1,25±0,01
Tane Yoğunluğu	Kontrol	2,568±0,005	2,571±0,003	2,502±0,01
	4	2,565±0,005	2,554±0,004	2,482±0,00
	8	2,564±0,006	2,540±0,006	2,459±0,01
	12	2,552±0,005	2,474±0,006	2,434±0,01
Porozite (%)	Kontrol	50,05±0,55	49,61±0,43	45,91±0,39
	4	51,26±0,65	50,02±0,29	47,41±0,30
	8	51,88±0,38	50,02±0,44	48,09±0,49
	12	51,99±0,32	48,92±0,48	48,45±0,60
Agregat Stabilitesi (%)	Kontrol	51,10±1,53	3,22±0,35	-
	4	52,52±1,33	5,64±0,59	-
	8	55,19±1,39	12,52±1,54	-
	12	57,43±1,00	25,38±2,34	-
Permeabilite Katsayısı (cm/h)	Kontrol	2,403±0,072	0,034±0,002	4,285±0,122
	4	2,681±0,086	0,046±0,004	4,745±0,198
	8	3,296±0,082	0,052±0,003	5,193±0,197
	12	4,789±0,288	0,079±0,007	5,589±0,294
Tarla Kapasitesi (P _w)	Kontrol	20,48±0,47	25,78±0,36	16,77±0,45
	4	22,45±0,66	26,51±0,44	21,20±0,48
	8	23,29±0,54	27,57±0,56	21,90±0,50
	12	24,33±0,70	28,14±0,66	22,55±0,36
Solma Noktası (P _w)	Kontrol	13,36±0,17	19,40±0,14	5,33±0,13
	4	14,42±0,22	20,59±0,31	6,77±0,19
	8	14,77±0,24	21,16±0,30	8,33±0,35
	12	15,25±0,31	22,09±0,24	9,40±0,54
Yarayışlı Su Miktarı (P _w)	Kontrol	7,12±0,50	6,38±0,39	11,44±0,42
	4	8,03±0,62	5,93±0,45	14,43±0,45
	8	8,52±0,47	6,40±0,38	13,57±0,57
	12	9,08±0,64	6,04±0,50	13,15±0,55

EK 5. Arıtma çamuru uygulamasının 2005 yılında toprakların kimyasal özellikleri üzerine olan etkileri (Ort±SE, n=9)

	Uygulama Düzeyi (t/da)	Araştırma Alanı		
		Toprak İşlemeli Tarım Yapılan Arazi	Tuzlu-Alkali Arazi	Rüzgar Erozyonuna Maruz Arazi
pH	Kontrol	8,42±0,01	9,11±0,01	8,22±0,01
	4	8,50±0,02	8,82±0,06	7,85±0,04
	8	8,48±0,01	8,56±0,03	7,59±0,02
	12	8,40±0,01	8,24±0,02	7,43±0,01
EC (dS/m)	Kontrol	0,90±0,01	16,61±0,31	0,62±0,01
	4	1,00±0,02	18,45±0,31	1,67±0,04
	8	1,18±0,05	6,28±0,29	2,65±0,04
	12	1,21±0,04	7,77±0,21	3,75±0,03
Kireç (%)	Kontrol	11,39±0,14	14,39±0,52	3,17±0,09
	4	12,20±0,31	16,47±0,30	4,12±0,13
	8	12,35±0,22	17,83±0,18	5,46±0,23
	12	12,89±0,21	17,95±0,16	5,89±0,15
Organik Madde (%)	Kontrol	1,33±0,07	0,61±0,03	0,16±0,01
	4	2,21±0,07	1,85±0,08	1,27±0,03
	8	2,87±0,06	3,79±0,10	1,68±0,04
	12	3,45±0,11	4,88±0,11	2,38±0,07
Azot (%)	Kontrol	0,13±0,01	0,12±0,01	0,11±0,00
	4	0,19±0,01	0,18±0,01	0,21±0,01
	8	0,19±0,01	0,30±0,01	0,29±0,00
	12	0,26±0,02	0,42±0,01	0,37±0,01
Kasyon Değişim Kapasitesi (me/100 gr)	Kontrol	35,00±0,20	44,98±0,28	22,98±0,14
	4	38,31±0,16	46,11±0,23	25,38±0,10
	8	38,74±0,30	48,10±0,18	28,02±0,17
	12	42,05±0,17	51,29±0,28	29,13±0,16
Na (me/100 gr)	Kontrol	0,93±0,02	29,35±0,20	1,08±0,06
	4	0,94±0,05	27,75±0,22	0,93±0,02
	8	0,92±0,03	19,38±0,54	1,20±0,03
	12	0,89±0,01	17,26±0,27	1,26±0,06
K (me/100 gr)	Kontrol	3,88±0,03	2,01±0,03	2,56±0,07
	4	3,86±0,07	2,18±0,04	2,68±0,05
	8	4,03±0,08	2,34±0,03	2,73±0,04
	12	4,34±0,12	2,24±0,06	2,81±0,06
Ca (me/100 gr)	Kontrol	28,39±0,44	22,16±0,21	4,99±0,17
	4	27,51±0,78	23,36±0,94	6,87±0,20
	8	26,37±0,51	26,89±0,19	9,65±0,39
	12	25,23±0,45	24,71±0,33	9,35±0,30
Mg (me/100 gr)	Kontrol	2,09±0,24	0,97±0,01	3,25±0,07
	4	6,00±0,83	0,99±0,01	3,56±0,05
	8	7,41±0,63	1,01±0,01	3,81±0,05
	12	11,60±0,55	1,02±0,00	3,66±0,14
Fe (ppm)	Kontrol	4,95±0,19	13,03±0,83	9,18±0,13
	4	8,82±0,39	16,22±0,38	25,74±0,53
	8	13,66±0,49	27,14±0,39	30,14±0,39
	12	16,96±0,58	33,18±0,25	33,84±0,31
Mn (ppm)	Kontrol	5,31±0,25	13,39±0,18	5,90±0,05
	4	7,75±0,46	17,41±1,19	11,10±0,61
	8	7,16±0,19	29,25±1,39	19,66±1,69
	12	10,29±0,27	34,93±0,52	23,02±1,97
Cu (ppm)	Kontrol	1,71±0,14	2,09±0,04	0,78±0,06
	4	5,82±0,23	13,93±0,31	3,40±0,17
	8	9,27±0,16	22,90±0,43	6,58±0,78
	12	11,38±0,19	27,16±0,57	11,11±0,41
Zn (ppm)	Kontrol	0,80±0,06	3,03±0,09	1,49±0,29
	4	6,58±0,18	14,69±0,15	16,49±0,27
	8	12,60±0,24	29,95±0,37	28,09±0,21
	12	19,87±0,32	39,31±0,30	35,60±0,27

EK 6. Arıtma çamuru uygulamasının 2006 yılında toprakların kimyasal özellikleri üzerine olan etkileri (Ort±SE, n=9)

	Uygulama Düzeyi (t/da)	Araştırma Alanı		
		Toprak İşlemeli Tarım Yapılan Arazi	Tuzlu-Alkali Arazi	Rüzgar Erozyonuna Maruz Arazi
pH	Kontrol	7,45±0,02	9,09±0,05	7,42±0,02
	4	7,44±0,02	8,97±0,09	7,26±0,03
	8	7,44±0,01	8,34±0,14	7,12±0,03
	12	7,39±0,00	7,57±0,10	6,84±0,03
EC (dS/m)	Kontrol	1,01±0,02	25,97±0,72	2,96±0,15
	4	1,11±0,01	25,83±2,33	2,59±0,04
	8	1,14±0,03	19,33±1,26	2,41±0,08
	12	1,15±0,01	15,69±1,20	1,58±0,04
Kireç (%)	Kontrol	12,21±0,21	16,42±0,12	3,87±0,10
	4	12,49±0,09	16,84±0,13	4,56±0,09
	8	13,20±0,22	17,46±0,10	4,84±0,08
	12	13,21±0,17	18,38±0,28	5,32±0,08
Organik Madde (%)	Kontrol	1,64±0,07	1,08±0,06	0,62±0,02
	4	1,77±0,02	1,76±0,04	1,23±0,04
	8	2,09±0,12	2,63±0,11	1,78±0,05
	12	2,26±0,03	4,05±0,06	2,60±0,07
Azot (%)	Kontrol	0,09±0,00	0,04±0,00	0,03±0,00
	4	0,12±0,00	0,10±0,01	0,09±0,00
	8	0,13±0,00	0,17±0,00	0,17±0,00
	12	0,16±0,00	0,40±0,02	0,22±0,02
Kasyon Değişim Kapasitesi (me/100 gr)	Kontrol	34,50±0,35	39,45±0,61	23,57±0,26
	4	34,67±0,27	40,83±0,33	24,61±0,09
	8	35,04±0,56	44,92±0,72	25,15±0,26
	12	35,96±0,53	45,68±0,25	25,76±0,55
Na (me/100 gr)	Kontrol	0,79±0,00	35,68±0,16	0,80±0,01
	4	0,80±0,00	33,42±0,18	0,81±0,00
	8	0,80±0,00	30,39±0,53	0,82±0,01
	12	0,81±0,00	27,74±0,44	0,83±0,00
K (me/100 gr)	Kontrol	1,19±0,02	1,77±0,01	0,78±0,03
	4	1,20±0,01	1,71±0,02	0,95±0,01
	8	1,24±0,02	1,77±0,01	1,08±0,03
	12	1,26±0,01	1,77±0,01	1,10±0,03
Ca (me/100 gr)	Kontrol	12,66±0,07	12,32±0,04	4,47±0,16
	4	12,61±0,05	12,41±0,06	8,11±0,29
	8	12,89±0,06	12,67±0,05	9,18±0,08
	12	13,00±0,05	12,73±0,08	9,38±0,14
Mg (me/100 gr)	Kontrol	2,97±0,02	2,58±0,02	2,36±0,08
	4	3,00±0,01	2,75±0,02	2,91±0,04
	8	3,00±0,02	2,79±0,01	3,17±0,10
	12	3,03±0,02	2,88±0,03	3,19±0,08
Fe (ppm)	Kontrol	4,85±0,16	12,32±0,68	9,64±0,28
	4	6,03±0,38	16,19±0,27	22,79±1,29
	8	8,71±0,73	27,12±0,64	26,50±0,35
	12	10,93±0,67	33,00±0,36a	28,82±0,24
Mn (ppm)	Kontrol	2,64±0,10	8,91±0,50	3,31±0,30
	4	4,13±0,08	18,19±1,09	9,60±0,61
	8	5,97±0,32	24,45±0,20	17,87±0,31
	12	7,12±0,10	33,59±1,85	22,88±0,36
Cu (ppm)	Kontrol	1,73±0,08	2,50±0,05	0,66±0,06
	4	4,45±0,12	13,12±0,64	1,62±0,06
	8	6,91±0,15	22,73±0,20	4,92±0,08
	12	11,49±0,23	26,58±0,29	7,76±0,07
Zn (ppm)	Kontrol	3,62±0,12	3,13±0,09	0,51±0,05
	4	6,91±0,69	16,00±0,83	15,47±0,42
	8	12,69±0,31	29,17±0,37b	28,06±0,28
	12	16,13±1,04	38,95±0,42	35,87±0,33

EK 7. Arıtma çamuru uygulamasının 2007 yılında toprakların kimyasal özellikleri üzerine olan etkileri (Ort±SE, n=9)

	Uygulama Düzeyi (t/da)	Araştırma Alanı		
		Toprak İşlemeli Tarım Yapılan Arazi	Tuzlu-Alkali Arazi	Rüzgar Erozyonuna Maruz Arazi
pH	Kontrol	7,89±0,01	9,13±0,02	7,63±0,01
	4	7,86±0,01	9,11±0,02	7,49±0,02
	8	7,86±0,01	8,63±0,01	7,34±0,01
	12	7,86±0,01	8,41±0,03	7,16±0,01
EC (dS/m)	Kontrol	0,74±0,02	27,59±0,33	0,85±0,03
	4	0,84±0,01	23,16±0,74	1,73±0,04
	8	0,87±0,01	16,82±0,31	1,75±0,06
	12	0,93±0,02	11,18±0,21	1,96±0,07
Kireç (%)	Kontrol	8,71±0,07	12,19±0,03	0,85±0,03
	4	9,22±0,04	12,83±0,15	1,11±0,08
	8	9,25±0,05	13,49±0,03	1,71±0,06
	12	9,26±0,14	14,24±0,12	1,97±0,05
Organik Madde (%)	Kontrol	1,45±0,03	0,87±0,03	0,26±0,02
	4	1,73±0,05	1,20±0,07	0,81±0,05
	8	1,82±0,05	1,55±0,02	1,20±0,06
	12	1,96±0,08	3,39±0,07	1,45±0,04
Azot (%)	Kontrol	0,08±0,00	0,04±0,00	0,02±0,00
	4	0,09±0,00	0,06±0,00	0,05±0,00
	8	0,10±0,00	0,12±0,01	0,10±0,01
	12	0,11±0,00	0,19±0,00	0,12±0,00
Kasyon Değişim Kapasitesi (me/100 gr)	Kontrol	36,94±0,39	46,60±0,39	25,42±0,24
	4	37,46±0,63	46,75±0,30	25,42±0,15
	8	38,38±0,36	47,12±0,30	25,47±0,24
	12	39,02±0,23	49,42±0,30	25,52±0,26
Na (me/100 gr)	Kontrol	0,68±0,02	29,10±0,83	0,79±0,05
	4	0,74±0,02	27,86±0,46	0,75±0,01
	8	0,74±0,01	27,43±0,46	0,82±0,01
	12	0,77±0,01	23,15±0,48	0,82±0,02
K (me/100 gr)	Kontrol	0,71±0,01	1,54±0,01	0,56±0,03
	4	0,78±0,02	1,57±0,04	0,58±0,02
	8	0,87±0,02	1,59±0,02	0,66±0,02
	12	0,95±0,02	1,67±0,02	0,64±0,02
Ca (me/100 gr)	Kontrol	9,28±0,04	9,23±0,06	6,33±0,14
	4	9,34±0,04	9,32±0,04	7,62±0,14
	8	9,32±0,03	9,27±0,05	8,41±0,05
	12	9,38±0,04	9,34±0,04	8,58±0,07
Mg (me/100 gr)	Kontrol	2,91±0,02	2,54±0,02	2,25±0,05
	4	2,90±0,02	2,64±0,04	2,44±0,03
	8	2,99±0,02	2,71±0,02	2,57±0,02
	12	3,06±0,02	2,83±0,01	2,64±0,03
Fe (ppm)	Kontrol	3,50±0,58	8,96±0,35	9,44±0,52
	4	5,74±0,33	13,53±0,46	9,73±0,78
	8	5,65±0,36	19,08±0,48	15,28±0,88
	12	7,50±0,67	23,85±0,58	25,70±1,96
Mn (ppm)	Kontrol	2,00±0,08	5,16±0,17	1,67±0,09
	4	2,00±0,06	10,31±0,73	3,44±0,27
	8	2,11±0,06	15,87±0,48	7,49±0,72
	12	2,16±0,08	19,93±0,19	12,07±0,20
Cu (ppm)	Kontrol	1,65±0,07	2,59±0,09	0,66±0,04
	4	7,37±0,11	11,38±0,38	2,05±0,14
	8	7,42±0,18	13,12±0,26	4,50±0,39
	12	8,74±0,19	15,26±0,24	6,67±0,21
Zn (ppm)	Kontrol	1,19±0,09	1,32±0,13	0,83±0,10
	4	5,34±0,41	13,81±0,90	14,93±0,49
	8	7,17±0,07	26,05±0,33	21,78±0,56
	12	13,51±0,55	32,96±0,54	34,34±0,85

EK 8. Arıtma çamuru uygulamasının toprakların kimyasal özellikleri üzerine olan etkilerinin 3 yıllık ortalaması (Ort±SE, n=9)

	Uygulama Düzeyi (t/da)	Araştırma Alanı		
		Toprak İşlemeli Tarım Yapılan Arazi	Tuzlu-Alkali Arazi	Rüzgar Erozyonuna Maruz Arazi
pH	Kontrol	7,92±0,08	9,11±0,02	7,76±0,07
	4	7,93±0,09	8,97±0,04	7,53±0,05
	8	7,93±0,08	8,51±0,05	7,35±0,04
	12	7,88±0,08	8,07±0,08	7,15±0,05
EC (dS/m)	Kontrol	0,88±0,02	23,39±0,99	1,48±0,21
	4	0,98±0,02	22,48±0,99	2,00±0,09
	8	1,06±0,03	14,14±1,19	2,27±0,08
	12	1,10±0,03	11,55±0,75	2,43±0,19
Kireç (%)	Kontrol	10,77±0,31	14,34±0,38	2,63±0,26
	4	11,31±0,31	15,38±0,37	3,26±0,31
	8	11,60±0,35	16,26±0,39	4,00±0,33
	12	11,79±0,36	16,86±0,38	4,39±0,34
Organik Madde (%)	Kontrol	1,47±0,04	0,85±0,04	0,35±0,04
	4	1,91±0,05	1,60±0,07	1,10±0,05
	8	2,26±0,10	2,66±0,19	1,55±0,06
	12	2,56±0,13	4,11±0,13	2,14±0,10
Azot (%)	Kontrol	0,10±0,01	0,07±0,01	0,05±0,01
	4	0,13±0,01	0,11±0,01	0,12±0,01
	8	0,14±0,01	0,19±0,02	0,19±0,02
	12	0,18±0,01	0,34±0,02	0,24±0,02
Kasyon Değişim Kapasitesi (me/100 gr)	Kontrol	35,48±0,27	43,68±0,65	23,99±0,24
	4	36,81±0,38	44,57±0,55	25,14±0,10
	8	37,39±0,40	46,71±0,37	26,21±0,28
	12	39,01±0,52	48,80±0,48	26,80±0,38
Na (me/100 gr)	Kontrol	0,80±0,02	31,38±0,66	0,89±0,04
	4	0,83±0,02	29,68±0,55	0,83±0,02
	8	0,82±0,02	25,73±0,96	0,94±0,04
	12	0,82±0,01	22,72±0,87	0,97±0,05
K (me/100 gr)	Kontrol	1,93±0,27	1,77±0,04	1,30±0,18
	4	1,95±0,27	1,82±0,05	1,40±0,18
	8	2,05±0,28	1,90±0,06	1,49±0,18
	12	2,18±0,30	1,89±0,05	1,52±0,19
Ca (me/100 gr)	Kontrol	16,78±1,64	14,57±1,08	5,26±0,18
	4	16,49±1,57	15,03±1,22	7,53±0,16
	8	16,20±1,45	16,28±1,50	9,08±0,16
	12	15,87±1,34	15,59±1,30	9,10±0,13
Mg (me/100 gr)	Kontrol	2,65±0,11	2,03±0,15	2,62±0,10
	4	3,97±0,39	2,13±0,16	2,97±0,09
	8	4,47±0,46	2,17±0,16	3,19±0,11
	12	5,89±0,81	2,24±0,17	3,16±0,10
Fe (ppm)	Kontrol	4,43±0,24	11,43±0,50	9,42±0,20
	4	6,86±0,34	15,31±0,33	19,42±1,46
	8	9,34±0,72	24,45±0,80	23,97±1,28
	12	11,80±0,85	30,01±0,89	29,45±0,92
Mn (ppm)	Kontrol	3,32±0,30	9,15±0,68	3,63±0,36
	4	4,63±0,49	15,30±0,90	8,05±0,71
	8	5,08±0,44	23,19±1,19	15,01±1,21
	12	6,52±0,66	29,49±1,47	19,32±1,19
Cu (ppm)	Kontrol	1,70±0,06	2,39±0,06	0,70±0,03
	4	5,88±0,25	12,81±0,33	2,36±0,17
	8	7,86±0,22	19,58±0,91	5,33±0,33
	12	10,54±0,27	23,00±1,10	8,51±0,40
Zn (ppm)	Kontrol	1,87±0,25	2,49±0,17	0,94±0,13
	4	6,28±0,30	14,83±0,43	15,63±0,26
	8	10,82±0,52	28,39±0,39	25,98±0,62
	12	16,50±0,64	37,07±0,62	35,27±0,33

EK 9. Arıtma çamuru uygulamasının arpa bitkisinin verimi üzerine olan etkisi (Ort±SE, n=3)

		Araştırma Alanı		
	Uygulama Düzeyi (t/da)	Toprak İşlemeli Tarım Yapılan Arazi	Tuzlu-Alkali Arazi	Rüzgar Erozyonuna Maruz Arazi
2005				
Biyolojik Verim (kg/da)	Kontrol	598,09±20,77	-	134,25±2,53
	4	900,78±7,59	-	218,96±3,97
	8	941,96±6,16	-	229,24±2,74
	12	1011,84±23,04	-	266,92±9,59
Tane Verimi (kg/da)	Kontrol	278,39±9,55	-	55,57±4,78
	4	377,39±4,70	-	80,73±4,92
	8	485,05±2,98	-	88,97±1,38
	12	508,41±3,11	-	105,42±6,98
2006				
Biyolojik Verim (kg/da)	Kontrol	611,69±2,87	-	142,41±4,99
	4	712,01±5,36	-	190,92±9,78
	8	756,60±2,39	-	204,49±4,70
	12	807,31±17,88	-	244,24±12,63
Tane Verimi (kg/da)	Kontrol	239,18±14,78	-	38,44±2,05
	4	293,47±5,59	-	58,19±4,27
	8	314,36±17,58	-	67,65±5,02
	12	341,17±20,66	-	93,01±4,02
2007				
Biyolojik Verim (kg/da)	Kontrol	344,20±25,43	-	-
	4	362,23±2,63	-	-
	8	393,37±31,54	-	-
	12	486,22±13,05	-	107,85±4,23
Tane Verimi (kg/da)	Kontrol	99,12±5,64	-	-
	4	151,14±5,50	-	-
	8	156,64±4,08	-	-
	12	168,87±6,01	-	38,75±0,73
Ortalama				
Biyolojik Verim (kg/da)	Kontrol	517,99±44,52	-	92,22±23,14
	4	658,34±78,93	-	136,63±34,53
	8	697,31±81,09	-	144,58±36,35
	12	768,46±77,04	-	206,33±25,29
Tane Verimi (kg/da)	Kontrol	205,56±27,72	-	31,34±8,35
	4	274,00±33,12	-	46,31±12,17
	8	318,68±47,71	-	52,21±13,49
	12	339,48±49,41	-	79,06±10,50

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında İzmir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 1994 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü’nden 1998 yılında mezun oldu. “Erzurum Kentsel Atık Suları ile Sulanan Tarımsal Alanlarda Ortaya Çıkan Sorunlar ve Çözüm Önerileri” isimli Yüksek Lisans Tezini 2002 yılında tamamladı.

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümünde 1999 yılından beri Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.