

**FARKLI İŞLEMLERLE ARITILMIŞ ATIKSULARIN
SULAMADA KULLANIMININ TOPRAK VE BİTKİ
ÖZELLİKLERİ İLE SU KULLANIMINA ETKİSİ**

Talip TUNÇ

Doktora Tezi

Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı

Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

2013

Her Hakkı Saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**FARKLI İŞLEMLERLE ARITILMIŞ ATIKSULARIN SULAMADA
KULLANIMININ TOPRAK VE BİTKİ ÖZELLİKLERİ İLE SU
KULLANIMINA ETKİSİ**

Talip TUNÇ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANA BİLİM DALI

**ERZURUM
2013**

Her Hakkı Saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**FARKLI İŞLEMLERLE ARITILMIŞ ATIKSULARIN SULAMADA KULLANIMININ
TOPRAK VE BİTKİ ÖZELLİKLERİ İLE SU KULLANIMINA ETKİSİ**

Prof. Dr. Üstün ŞAHİN danışmanlığında, Talip TUNÇ tarafından hazırlanan bu çalışma 05 /07/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından. Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı Ana Bilim Dalı'nda Doktora Tezi tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mustafa OKUROĞLU

İmza :

Üye : Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Nizamettin ÇİFTÇİ

İmza :

Üye : Prof. Dr. Taşkın ÖZTAŞ

İmza :

Üye : Prof. Dr. Ömer ANAPALI

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No:2009/40

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Doktora Tezi

FARKLI İŞLEMLERLE ARITILMIŞ ATIKSULARIN SULAMADA KULLANIMININ TOPRAK VE BİTKİ ÖZELLİKLERİ İLE SU KULLANIMINA ETKİSİ

Talip TUNÇ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Bu çalışma, arıtılmış atıksuların tarımsal sulama açısından yeniden kullanım olanaklarının incelenmesi amacıyla yürütülmüştür. Bu amaca yönelik olarak, temiz su (normal sulama suyu), filtre edilmiş atıksu, filtre edilmiş ve havalandırılmış atıksu ve filtre edilmiş 1:1 oranında temiz su ile seyreltilmiş atıksu olmak üzere dört farklı nitelikteki su damla sulama yöntemiyle karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin sulamalarında kullanılmıştır. Denemeye konu olan sulardan ve bu sularla sulanan deneme alanlarındaki toprak ve bitkilerden örnekler alınarak analizleri yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları ile atık suların, Su Kirliliği Kontrolü Teknik Usuller Tebliği'nde verilen sulama suyu kriterleri uyarınca sulamaya uygunluk durumu, toprak örneklerinin Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ndeki sınır değerlere uygun olup olmadığı tartışılmıştır. Ayrıca atık suyun, toprağın su tutma özelliklerine, infiltrasyon hızına, agregat stabilitesine, toplam porozitesine ve gözenek büyüklük dağılımına etkisi de incelenmiştir. Yetiştirilen bitkilerde ise sulama konularının vejetatif gelişime, verime, su tüketimlerine, su kullanım etkinliklerine ve ağır metal birikimine etkileri değerlendirilmiştir.

Deneme konusu suların pH, EC, SAR, AKM, KOİ, BOİ₅, toplam N ve P ve fekal koliform içeriklerine göre; genel olarak atıksu ve havalandırılmış atık sular kullanılması sakıncalı sular sınıfına girerken, seyreltilmiş atık sular kullanılmasına izin verilebilir sular sınıfına girmiştir. Temiz su ile sulanan alanlara göre, atık su konularında organik madde, tuzluluk, ESP, makro ve mikro element içeriklerinde artışlar gözlenirken, pH ve CaCO₃ değerinde düşüşler gözlenmiştir. Atıksu ile sulanan alanların agregat stabiliteyi artmış, infiltrasyon hızlarında da azalmalar belirlenmiştir. Atık su konuları deneme topraklarındaki toplam N, K₂O ve P₂O₅ içeriklerini de artırmıştır. Karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinde atık su konuları verimi artırırken ağır metal içeriklerinde de bir miktar artışa neden olmuştur. Atık suların damla sulama sistemi üzerine etkisini belirlemek için debi ölçümleri de yapılmıştır. Denemenin ilk yılı atık su konularında genel olarak bir problem yaşanmamış, fakat denemenin ikinci yılında özellikle atık su ve havalandırılmış atık su konularında önemli bir performans düşüşü gözlenmiştir.

Sonuç olarak, filtre edilmiş ve filtre edilip havalandırılmış atık suların kısa vadede, seyreltilmiş atık suların ise uzun vadede herhangi bir probleme neden olmadan kullanılabileceği öngörülmüştür.

2013, 145 sayfa

Anahtar kelimeler: Atıksu, atıksu arıtımı, sulama, sulama suyu kalitesi

ABSTRACT

Ph. D Thesis

EFFECTS OF DIFFERENTLY TREATED WASTEWATER APPLICATION SOIL AND PLANT CHARACTERISTICS AND WATER USE

Talip TUNÇ

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

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

This study was carried out in order to examine to reuse of treated wastewaters' alternatives. For this purpose, four different quality of water, the clean water (normal irrigation water), filtered wastewater, filtered and ventilated wastewater and filtered and diluted with clean water in 1:1 ratio, was used in drip irrigation method for irrigation of cauliflower and red cabbage. Samples, water which were subject to this study, areas and plants of test, was taken and analyzed. The results obtained from the analysis was discussed whether it is appropriate limits irrigation water criteria given in the Water Pollution Control Technical Procedures in accordance with the Communiqué on the availability of irrigation of wastewater and Soil Pollution Control Regulation of soil samples. In addition, the effect of soil water retention characteristics, infiltration rate, aggregate stability, porosity and pore size distribution of the wastewater was also investigated. In grown plants, the effect of water consumption, water use efficiency, vegetative growth, yield and quality of the issues of irrigation was reviewed.

When pH, EC, SAR, TSS, COD, BOD₅, total N, total P, and fecal coliform content of water which were subject to this study were examined, in general, While wastewater and ventilated wastewaters were entering the class of hazardous of the use, the class of diluted wastewater may be permitted. According to the fields irrigated with clean water, when waste water issues was observed the increases contents of organic matter, salinity, ESP, macro and micro element, It was observed the decrease in pH and CaCO₃. Stability of aggregates was observed an increase in wastewater irrigated areas, the reduction in infiltration rates were determined. In wastewater irrigated areas, contents of total N, P₂O₅, K₂O increased. While wastewater issues were increasing yield of cauliflower and red cabbage plants, there was a slight increase in heavy metal content of plants. To determine the effect of wastewater on the drip irrigation system, flow rate measurements were taken. In the first year of experiment, there had not been a problem in the wastewater issues, but in the second year of experiment, especially in the waste water and ventilated wastewater issues significant performance degradation was observed.

As a result, the filtered wastewater and ventilated and filtrated wastewater can be used without causing any problem in the short term and the diluted waste water can be used without causing any problem in the long-term was predicted.

2013, 145 pages

Keywords : Wastewater, wastewater treatment, irrigation, irrigation water quality

TEŞEKKÜR

Çalışmamın başlangıcından bitimine kadar benden yardımını esirgemeyen başta değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Üstün ŞAHİN olmak üzere Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü'nün değerli hocalarına ve çalışanlarına en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hem bu zorlu ve uzun süreçte hem de hayatım boyunca yanımda olan ve ideallerimi gerçekleştirmemi sağlayan değerli aileme ve özellikle çalışmam süresince sürekli yardımını aldığım kardeşim İsa TUNÇ'a yürekten teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak ta; gösterdiği sabır ve destek için eşime ve çocuklarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	19
3.1. Materyal.....	19
3.1.1. Araştırma alanının iklimi.....	19
3.1.2. Araştırma alanının toprak özellikleri.....	21
3.2. Yöntem	22
3.2.1. Atık su arıtım işlemleri	22
3.2.2 Sulama uygulamaları ve su analizleri.....	24
3.2.3. Bitki su tüketiminin (evapotranspirasyon) belirlenmesi	29
3.2.4. Sulama suyu kullanım etkinliğinin (IWUE) ve su kullanım etkinliğinin (WUE) belirlenmesi	30
3.2.5. Kültürel işlemler ve bitki ağır metal analizleri.....	30
3.2.6. Toprak analizleri ve infiltrasyon ölçümleri	31
3.2.7. İstatistiksel analizler	32
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	33
4.1. Bitki Su Kullanımları ve Sulama Suyu Nitelikleri	33
4.1.1. Sulama suyu miktarları.....	33
4.1.2. Bitki su tüketimleri	34
4.1.3. Sulama suyu kullanım (IWUE) ve su kullanım (WUE) etkinliği	41
4.1.4. Sulama suyu nitelikleri	42
4.2. Toprak Özelliklerinde Değişimler.....	51
4.2.1. Toprakların fiziksel özellikleri	52

4.2.2 Toprakların infiltrasyon özellikleri	70
4.2.3. Toprakların kimyasal özellikleri	82
4.3. Bitki Verimleri ve Ağır Metal İçerikleri	89
4.3.1. Bitki verimleri	101
4.3.2. Bitki ağır metal içerikleri	106
4.4. Damla Sulama Sisteminin Performansı.....	109
5. SONUÇ	113
KAYNAKLAR	123
EKLER.....	132
EK 1.....	132
EK 2.....	133
EK 3.....	134
EK 4.....	135
EK 5.....	136
EK 6.....	137
EK 7.....	138
EK 8.....	139
EK 9.....	140
EK 10.....	141
EK 11.....	142
EK 12.....	143
EK 13.....	144
EK 14.....	145
ÖZGEÇMİŞ	146

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

cm	Santimetre
C_r	Kapillar yükselme miktarı
D	Etkili kök derinliği
D_w	Derine sızma miktarı
ET_a	Gerçek evapotranspirasyon miktarı
g	Gram
h	Saat
I	Sulamayla verilen su miktarı
kg	Kilogram
L	Litre
m	Metre
mg	Miligram
mm	Minimetre
p	Islatılan alan oranı
P	Yağış miktarı
q_{ort}	Ortalama damlatıcı debisi
R_f	Yüzey akış miktarı
R_y	Tüketilmesine izin verilen su miktarı oranı
S_q	Damlatıcı debilerinin standart sapması
U_s	İstatistiksel yeknesaklık katsayısı
γ_t	Kütle yoğunluğu
ΔS	Toprak nem içeriğindeki değişim miktarıdır
μ	Mikron

Kısaltmalar

A	Atık su konusu
AKM	Askıda katı madde
B	Havalandırılmış atık su konusu
C	seyreltilmiş atık su konusu
D	Temiz su konusu
EC	Elektriksel iletkenlik
IWUE	Sulama suyu kullanım etkinliği
KDK	Katyon değişim kapasitesi
RSC	Kalıcı sodyum karbonat
SAR	Sodyum adsorbsiyon oranı
SKKY	Su kirliliği kontrol yönetmeliği
SN	Solma noktası
TDS	Toplam eriyebilir tuz
TK	Tarla kapasitesi
TKKY	Toprak kirliliği kontrol yönetmeliği
TN	Toplam azot
TP	Toplam fosfor
WUE	Toplam su kullanım etkinliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Deneme alanının Erzurum ili içerisindeki konumu	19
Şekil 3.2. Araştırma alanı genel görünümü	21
Şekil 3.3 Ön arıtım işleminin gerçekleştirildiği elek filtre	22
Şekil 3.4 Damlatıcı laterallerden analiz içi alınan, sulama amaçlı kullanılan filtre edilmiş atıksu, filtre edilmiş ve havalandırılmış atıksu ve filtre edilmiş 1:1 oranında temiz su ile seyreltilmiş atıksu	23
Şekil 3.5. Deneme deseni.....	25
Şekil 3.6. Deneme parsellerinde konumlandırılmış bir manometreli tansiyometre.....	26
Şekil 3.7. Damla sulama sistemi	26
Şekil 4.1. 2010 yılı yetiştirme sezonunda karnabahar deneme parsellerinde toprak nem değişimi	37
Şekil 4.2. 2010 yılı yetiştirme sezonunda kırmızı lahana deneme parsellerinde toprak nem değişimi	37
Şekil 4.3. 2011 yılı yetiştirme sezonunda karnabahar deneme parsellerinde toprak nem değişimi	38
Şekil 4.4. 2011 yılı yetiştirme sezonunda kırmızı lahana deneme parsellerinde toprak nem değişimi	38
Şekil 4.5. 2010 yılı vejetasyon periyodu boyunca deneme alanında ölçülen günlük yağış değerleri	39
Şekil 4.6. 2011 yılı vejetasyon periyodu boyunca deneme alanında ölçülen günlük yağış değerleri	39
Şekil 4.7. Karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin 2010 ve 2011 yılları aylık su tüketimleri	40
Şekil 4.8. 2010 yılında 0-20 ve 20-40 cm toprak derinlikleri için karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanları pF eğrileri.....	62
Şekil 4.9. 2011 yılında 0-20 ve 20-40 cm toprak derinlikleri için karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanları pF eğrileri.....	63
Şekil 4.10. 2010 yılında 0-20 cm toprak derinliği için karnabahar deneme alanı gözenek dağılımı grafiği.....	66

Şekil 4.11. 2010 yılında 20-40 cm toprak derinliği için karnabahar deneme alanı gözenek dağılımı grafiği.....	67
Şekil 4.12. 2010 yılında 0-20 cm toprak derinliği için kırmızı lahana deneme alanı gözenek dağılımı grafiği.....	67
Şekil 4.13. 2010 yılında 20-40 cm toprak derinliği için kırmızı lahana deneme alanı gözenek dağılımı grafiği.....	68
Şekil 4.14. 2011 yılında 0-20 cm toprak derinliği için karnabahar deneme alanı gözenek dağılımı grafiği.....	68
Şekil 4.15. 2011 yılında 20-40 cm toprak derinliği için karnabahar deneme alanı gözenek dağılımı grafiği.....	69
Şekil 4.16. 2011 yılında 0-20 cm toprak derinliği için kırmızı lahana deneme alanı gözenek dağılımı grafiği.....	69
Şekil 4.17. 2011 yılında 20-40 cm toprak derinliği için kırmızı lahana deneme alanı gözenek dağılımı grafiği.....	70
Şekil 4.18. Ekim öncesinde deneme alanı topraklarının infiltrasyon hızı, ortalama infiltrasyon hızı ve eklemeli infiltrasyonu	71
Şekil 4.19. Karnabahar bitkisi ekim alanı 2010 yılı hasat sonrası infiltrasyon hızları .	72
Şekil 4.20. Karnabahar bitkisi ekim alanı 2010 yılı hasat sonrası ortalama infiltrasyon hızları.....	73
Şekil 4.21. Karnabahar bitkisi ekim alanı 2010 yılı hasat sonrası eklemeli infiltrasyonlar	73
Şekil 4.22. Karnabahar bitkisi ekim alanı 2011 yılı hasat sonrası infiltrasyon hızları .	74
Şekil 4.23. Karnabahar bitkisi ekim alanı 2011 yılı hasat sonrası ortalama infiltrasyon hızları.....	75
Şekil 4.24. Karnabahar bitkisi ekim alanı 2010 yılı hasat sonrası eklemeli infiltrasyonlar	75
Şekil 4.25. Kırmızı lahana bitkisi ekim alanı 2010 yılı hasat sonrası infiltrasyon hızları.....	76
Şekil 4.26. Kırmızı lâhana bitkisi ekim alanı 2010 yılı hasat sonrası ortalama infiltrasyon hızları	77
Şekil 4.27. Kırmızı lâhana bitkisi ekim alanı 2010 yılı hasat sonrası eklemeli infiltrasyonlar	77

Şekil 4.28. Kırmızı lahana bitkisi ekim alanı 2011 yılı hasat sonrası infiltrasyon hızları.....	78
Şekil 4.29. Kırmızı lahana bitkisi ekim alanı 2011 yılı hasat sonrası ortalama infiltrasyon hızları	79
Şekil 4.30. Kırmızı lahana bitkisi ekim alanı 2011 yılı hasat sonrası eklemeli infiltrasyonlar	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Sulama suyu nitelik kriterleri.....	6
Çizelge 2.2. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları.....	6
Çizelge 2.3. Topraktaki ağır metal sınır değerleri	7
Çizelge 3.1. Erzurum ilinin uzun yıllar ve deneme yıllarına ilişkin iklim değerleri	20
Çizelge 4.1. 2010 yılı karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerine uygulanan aylık ve toplam sulama suyu miktarları	33
Çizelge 4.2. 2011 yılı karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerine uygulanan aylık ve toplam sulama suyu miktarları	34
Çizelge 4.3. 2010 yılı karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin su tüketim değerleri ve varyans analiz sonuçları.....	36
Çizelge 4.4. 2011 yılı karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin su tüketim değerleri ve varyans analiz sonuçları.....	36
Çizelge 4.5. 2010 ve 2011 yıllarında karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) ve su kullanım etkinliği (WUE) değerleri ile varyans analizi sonuçları	42
Çizelge 4.6. 2010 yılında sulamada kullanılan sulardan Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında alınan su örneklerinin analiz sonuçları	43
Çizelge 4.7. 2011 yılında sulamada kullanılan sulardan Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında alınan su örneklerinin analiz sonuçları	44
Çizelge 4.8. Ekim öncesi deneme alanında belirlenen bazı fiziksel toprak özellikleri...	52
Çizelge 4.9. 2010 yılında 0-20 ve 20-40 cm toprak derinliklerinin; kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, tarla kapasitesinde tutulan nem, solma noktasında tutulan nem, toplam porozite, agregat stabilitesi değerleri ve varyans analizi sonuçları.....	59
Çizelge 4.10. 2011 yılında 0-20 ve 20-40 cm toprak derinliklerinin; kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, tarla kapasitesinde tutulan nem, solma noktasında tutulan nem, toplam porozite, agregat stabilitesi değerleri ve varyans analizi sonuçları	60

Çizelge 4.11. 2010 ve 2011 yılları karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanlarının sabit infiltrasyon ve ortalama infiltrasyon hızları ile varyans analiz sonuçları	80
Çizelge 4.12. 2010 yılı hasat sonrası karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanlarında 0-20 cm toprak derinliğinde belirlenen bazı kimyasal özellikler ve varyans analizi sonuçları	83
Çizelge 4.13. 2010 yılı hasat sonrası karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanlarında 20-40 cm toprak derinliğinde belirlenen bazı kimyasal özellikler ve varyans analizi sonuçları	84
Çizelge 4.14. 2010 yılı hasat sonrası karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanlarında 40-60 cm toprak derinliğinde belirlenen bazı kimyasal özellikler ve varyans analizi sonuçları	85
Çizelge 4.15. 2011 yılı hasat sonrası karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanlarında 0-20 cm toprak derinliğinde belirlenen bazı kimyasal özellikler ve varyans analizi sonuçları	86
Çizelge 4.16. 2011 yılı hasat sonrası karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanlarında 20-40 cm toprak derinliğinde belirlenen bazı kimyasal özellikler ve varyans analizi sonuçları	87
Çizelge 4.17. 2011 yılı hasat sonrası karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanlarında 40-60 cm toprak derinliğinde belirlenen bazı kimyasal özellikler ve varyans analizi sonuçları	88
Çizelge 4.18. 2010 ve 2011 yıllarında karnabaharda verim özelliklerinden; ortalama yaprak sayısı, gövde boyu, taç çapı, taç yüksekliği, minimum ve maksimum taç ağırlığı, ortalama taç ağırlığı ve verim değerleri ile varyans analizi sonuçları.....	102
Çizelge 4.19. 2010 ve 2011 yıllarında kırmızı lahanada verim özelliklerinden; açık yaprak sayısı, açık yaprak ağırlığı, baş çapı, baş yüksekliği, baş ağırlığı ve verim değerleri ile varyans analizi sonuçları	105
Çizelge 4.20. Karnabahar bitkisinde ağır metal içerikleri (ppm) ile varyans analizi sonuçları	107
Çizelge 4.21. Kırmızı lahana bitkisinde ağır metal içerikleri (ppm) ile varyans analizi sonuçları.....	108

Çizelge 4.22. 2010 ve 2011 yıllarında damla sulama sisteminde ortalama debi, istatistiksel yeknesaklık katsayısı ve LSI değerleri ile ortalama debi varyans analiz sonuçları	111
---	-----

1. GİRİŞ

Her geçen gün hızla artan dünya nüfusu, tarımsal üretime duyulan gereksinimi artırmaktadır. Tarımsal üretimin artırılması ise birim alandan elde edilen üretimin artırılmasıyla yeterli düzeye gelecektir. Birim alandan elde edilen verimin artırılmasında, sulamanın önemi bilinen bir gerçektir. Bu da su kaynaklarını yeryüzünün en önemli servetlerinden biri haline getirmektedir.

Ülkemiz büyüme süreci içerisinde olup, hızlı nüfus artışının, sanayi, kentsel ve tarımsal uğraşların yol açtığı çevre sorunları ve tahribatı sınırlı su kaynaklarının kirlenmesine ve erişilebilir suyun stratejik ve ekonomik bir meta haline gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, var olan su kaynaklarının korunması ve atık suların geri kullanımı çok önem arz etmektedir. Türkiye’de atık suların geri kullanılması daha çok sanayi tesislerinde geri devrettirilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Yakın dönemde başlamış olan çalışmalar sonucu atık suyun geri kullanımı sadece sanayide değil, özellikle sahil bölgelerinde kentsel atık suyun arıtılarak tekrar kullanılması şeklinde yaygınlaşmaktadır (Aslan 2007).

Kullanılabilir doğal su kaynakları ile su gereksinimi arasında giderek büyüyen açık diğer bazı önlemler arasında atık suların da arıtılarak tekrar kullanılması konusunu gündeme getirmiştir.

Artan su istemi, yükselen alternatif doğal su kaynakları fiyatları ve gelişen geri kazanma teknolojileri atık suların tekrar kullanılmasını hem çevre ve hem de kaynakların ekonomik kullanımı yönünden çekici duruma getirmektedir.

Atık suların geri kazanılarak tekrar kullanılması potansiyelini artıran en önemli nedenler; şehir nüfus paylarının artmasından dolayı su gereksinimlerinin belirli merkezlerde yoğunlaşması ve deşarj edilen atık sular için verilen deşarj standartlarının ve arıtma düzeylerinin giderek yükselmesi olarak sayılabilir. Hatta bazı durumda alıcı

ortamlara deşarj için gerekli arıtma gereksinimi tekrar kullanım için gerekli arıtma gereksiniminden daha fazla olabilmektedir (Anonim 2004). İstanbul için Marmara Denizi'ne deşarj durumundaki besi maddeleri (N ve P) giderimini de içeren üçüncül arıtma (N, P giderimi, ileri arıtma) gerekirken, aynı suların sulama amacıyla kullanılması durumunda ikincil (biyolojik) arıtma yeterli gelmektedir (Aslan 2007).

Arıtılmış atık suların tekrar kullanım alanları,

- Sulama suyu olarak
- Sanayi suyu (soğutma ve proses suyu olarak)
- Yeraltı sularının yapay beslenmesi
- Yerleşim bölgesi içerisinde tekrar kullanım (Çift dağıtım sistemleri)
- Arıtılmış atık su ile rekreasyon alanlarının oluşturulması
- Aküfer depolama ve iyileştirme
- Yangın söndürme
- Diğer kullanımlar (İnşaat, sahil kesiminde kuyularda tuzlu su girişiminin önlenmesi, içme suyu gibi) şeklinde sıralanabilir (Aslan 2007).

Evsel atık suların %99.9 oranında saf su içerdiği düşünülürse, atık suların da bir su kaynağı gibi düşünülmesinin gereği daha iyi anlaşılır. Ülkemizde tüketilen su miktarının %16'ı içme suyu, %12'si sanayi ve geri kalan %72'i ise tarımsal amaçlı kullanılmaktadır. Tarımsal amaçlı kullanım için atık suyun içerdiği maddeler (N,P) açısından değerli bir kaynaktır (Aslan 2007).

Ülkemizde arıtılmış atık su miktarı henüz çok az olmakla beraber TUIK in 2010 yılı verilerine göre kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen 3,58 milyar m³ atık suyun 2,72 milyar m³'ü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmaktadır. Arıtılan atık suyun %37,9'una gelişmiş, %34,3'üne biyolojik, %27,6'sına fiziksel ve %0,2'sine doğal arıtma uygulanmaktadır (Anonim 2012). Atık su miktarı, tüketilen su miktarının yaklaşık %60~90'ı arasında değiştiğinden, içme ve kullanma suyu gereksiniminin yarısına denk bir atık suyun tekrar kullanılabilme potansiyeli oluşturduğu söylenebilir (Aslan 2007).

Ülkemizde turistik yapılaşmanın ve yatırımların yoğunlaştığı Ege-Akdeniz kesiminde arıtma tesislerin çıkış suları site yerleşimlerinde bahçe, park sulaması için değerlendirilirken, bazı yerlerde de stabilizasyon havuzlarında biriktirilerek tarımsal amaçla kullanılmaktadır. Tarım, su ve atık su sektörlerinde finansman ve teşvikle ilgili uygulamaların bu bağlamda mevzuatla güçlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, Ülkemizde şeker ve kâğıt fabrikalarından kaynaklanan atık suların sulama işleminde kullanılması da yaygın ve uygun olan bir yöntemdir (Anonim 2007).

Sanayi atık sularının tekrar kullanımı, atık suların geri kazanılarak tesis içinde geri devrettirilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Özellikle İstanbul çevresinde sanayi tesisleri için yüksek su maliyetleri nedeniyle atık suların geri kazanılması ekonomik yönden de oldukça çekici olmaktadır.

Suyun bugün ve gelecekte bulunabilirliği herkesin ilgilenmesi gereken bir konudur. Su kaynaklarının gelecek için yönetimi, suyun daha verimli kullanımı ve su niteliğinin korunması yönündeki bugünkü çabalara duyulan gereksinimi artırmaktadır. Çevredeki kirleticiler güvenli içme suyu sağlamak ve sağlığı korumak için gerekli olan kaynakların kullanılamaz duruma gelmesine yol açmaktadır.

Özellikle 20. yy.'ın başlarında atık su arıtma tesisi çalışmaları başlamış ve atık suların arıtımında yer, iklim, enerji maliyeti gibi etkenlere bağlı olarak pek çok arıtma sistemi geliştirilmiştir. Ancak sanayi uğraşları sonucu geniş aralıklarda ve yüksek konsantrasyonlarda çevreye yayılan kirleticilerin giderimi için bu arıtma sistemleri yeterli gelmemiş ve ileri arıtım mekanizmaları kullanımı gereği ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte ileri arıtma prosesleri yüksek teknoloji, enerji ve kimyasallar gerektirmektedir. Nitelikli eleman gerektiren bu işletmelerin ilk yatırım maliyetleri ve işletme masrafları yüksektir (Demirörs 2006).

Gelişmiş ülkeler tüm bu olumsuzlukları göz önüne alarak doğal bir arıtma sistemi planlamaya çalışmış ve sonuçta yapay sulak alanlar oluşturulmuştur. Türkiye’de ise çevre kirliliğinden sadece şehirlerde yaşayan halk değil, kırsal kesimde yaşayan halk da

etkilenmeye başlamıştır. Yerleşim birimlerinden uzaklaştırılan atık sular, kaynakları kirletmiş ve temiz su kaynağı bulmada problemler yaşanmaya başlanmıştır. Henüz kentsel yerleşim alanlarının arıtma tesisleri tamamlanmadığı için başlangıçta (köyler için lüks yatırım olarak görülen kanalizasyon sistemleri gibi) atık su arıtma tesisleri de lüks tesisler olarak görülmüştür. Sonuçta kısıtlı bütçe olanaklarında gerçekten de pahalı bir yatırım olarak karşımıza çıkan atık su arıtma tesisleri, olanaklar zorlanarak yapılsa da bu kez işletmelerde başarısızlıklar yaşanmıştır. Sonuçta birçok tesis işletme masrafları karşılanamadığı için atıl durumda kalmıştır. Yatırım maliyetinin yüksek oluşu fayda/maliyet açısından değerlendirildiğinde göz ardı edilebilir durumdayken, kullanılmayan tesisin en pahalı tesis olduğu gerçeği ile karşı karşıya kalınmıştır. Çünkü kullanılmaması durumunda tesisten bir fayda sağlamak söz konusu değildir (Demirörs 2006).

Çeşitli işlemler sonucunda sanayi kuruluşlarının arıtma tesislerinden ortaya çıkan atık suların bazıları bir ön arıtma işleminden sonra sulama suyu olarak kullanılabilir. Atık suların tarımda sulama amacı için kullanımı ile bunlar yararlı hale dönüştürülmekte ve içerdiği besin elementlerinden bitkilerin yararlanması sağlanmış olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı atık suyun tarım alanlarına verilmesi etkili ve yararlı bir yöntem olarak görülmektedir. Ancak toprağın biyolojik aktivitesi, fiziksel ve kimyasal etkinlik sınırları göz önüne alınmalı, sınırlar asla zorlanmamalı ve aşılmamalıdır. Atık suyun kullanılmadan önce özelliklerinin ayrıntılı olarak belirlenmesi tarımsal kullanım ve çevresel etki açısından pek çok yarar sağlayacaktır. Aksi takdirde toprak ekosistemi ve bitki gelişimi için zararlı etmenler içeren atık suların olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması çok zor olmaktadır (Aşık ve Katkat 2005).

Bu çalışmanın amacı, değişik arıtım işlemleri uygulanmış atık suları toprak üstü damla sulama yöntemiyle uygulayarak toprakların özellikleriyle, karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin özelliklerine olan etkisinin incelenmesidir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde; atık su arıtımı, tarımda kullanımı ve atık suyun damla sulama yöntemiyle uygulanmasına ilişkin kaynaklar gözden geçirilmiştir.

Atık suların tarımda sulama veya değişik amaçlar için kullanımı birçok ülkede uzun yıllardır uygulanmaktadır (Carrow and Duncan 2000). Konuyla ilgili uluslararası ve özellikle de son yıllarda ülkemizde bazı düzenlemeler yapılmıştır. 7.1.1991 yıl, 20747 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”nin 46’ncı maddesinde arıtılmış atık suların sulamada kullanılması ile ilgili olarak; atık suların araziye verilmeye veya sulamaya uygun olup olmadığını belirlemek için incelenmesi gereken en önemli parametreler belirtilmiştir. Bunlar;

1. Suyun içindeki çözünmüş maddelerin toplam konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik
2. Sodyum (Na) iyonu konsantrasyonu ve Na iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı
3. Bor (B), ağır metal ve zehir etkisi olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu
4. Bazı koşullarda kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) iyonlarının toplam konsantrasyonu
5. Toplam katı madde, organik madde yükü, yağ ve gres gibi yüzen maddelerin miktarı
6. Patojen mikroorganizmaların miktarıdır.

Atık suyun içindeki çözünmüş tuzlar, bor, ağır metal ve benzeri zehirli maddeler, bölgenin iklim koşullarına, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak ortamda birikebilir, bitkiler tarafından alınabilir veya suda kalabilir. Bu nedenle arıtılmış atık suların arazide kullanılması ve giderilmesi söz konusu olduğunda suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler açısından sınır değerlere uygunluğunun yanı sıra bölgenin toprak özellikleri de göz önüne alınmalıdır. Tarımsal sulamada kullanılacak atık sular için istenen sulama suyu nitelik değerleri Çizelge 2.1’de, sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları

ise Çizelge 2.2’de verilmiştir (Anonim 1991). Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre topraktaki ağır metal sınır değerleri de Çizelge 2.3’de gösterilmiştir (Anonim 2005).

Çizelge 2.1. Sulama suyu nitelik kriterleri (Anonim 1991)

Sulama Suyu Kalite Kriterleri	1.sınıf (çok iyi)	2. sınıf (iyi)	3. sınıf (kullanılır)	4.sınıf (ihtiyatla kullanılmalı)	5.sınıf (zararlı, uygun değil)
EC, $\mu\text{mhos/cm}$	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	>3000
Sodyum Yüzdesi, %Na	<20	20-40	40-60	60-80	>80
SAR	<10	10-18	18-26	>26	
RSC meq/L mg/L	<1.25 <66	1.25-2,5 66-133	>2.5 >133		
Klorür(Cl), meq/L mg /L	0-4 0-142	4-7 142-249	7-12 249-426	12-20 426-710	>20 >710
Sülfat (SO ₃), meq/L mg/L	0-4 0-192	4-7 192-336	7-12 336-575	12-20 576-960	>20 >960
Top. Tuz kon. mg /L	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	>2100
Bor (B), mg /L	0-0,5	0.5-1.12	1.12-2.0	2.0	
Sulama suyu sınıfı	C ₁ S ₁	C ₁ S ₂ -C ₂ S ₁	C ₁ S ₃ -C ₃ S ₁	C ₁ S ₄ -C ₄ S ₁	
N0 ₃ veya NH ₄ mg /L	0-5	5-10	10-30	30-50	>50
Fiz. koliform, 1/100 ml	0-2	2-20	20-10 ²	10 ² -10 ³	>10 ³
BOİ ₅ , mg /L	0-25	25-50	50-100	100-200	>200
AKM, mg /L	20	30	45	60	>100
pH	6.5-8,5	6.5-8,5	6.5-8,5	6-9	<6 veya >9
Sıcaklık, °C	30	30	35	40	>40
	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek	
Na (alkalilik) zararı (S)	1	2	3	4	
Tuzluluk zararı (C)					

*SAR: Sodyum adsorbsiyon oranı, RSC: Sodyum karbonat kalıntısı, BOİ₅: Biyolojik oksijen ihtiyacı, AKM: Askıdaki katı madde

Çizelge 2.2. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları (Anonim 1991)

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler, mg/L	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/L
Alüminyum (Al)	4600	5.0	20.0
Arsenik (As)	90	0.1	2.0
Berilyum(Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	0.001	2.0

Çizelge 2.2 (devam)

Kadmiyum (Cd)	9	0.01	0.05
Krom (Cr)	90	0.1	1.0
Kobalt (Co)	45	0.05	5.0
Bakır (Cu)	190	0.2	5.0
Florür (F)	920	1.0	15.0
Demir (Fe)	4600	5.0	20.0
Kurşun (Pb)	4600	5.0	10.0
Lityum (Li) ¹	-	2.5	2.5
Manganez (Mn)	920	0.2	10.0
Molibden (Mo)	9	0.01	0.05
Nikel (Ni)	920	0.2	2.0
Selenyum (Se)	16	0.02	0.02
Vanadyum (V)	-	0.1	1.0
Çinko (Zn)	1840	2.0	10.0

Çizelge 2.3. Topraktaki ağır metal sınır değerleri (Anonim 2005)

Ağır metal	PH 5- 6 mg/kg Fırın kuru toprak	pH>6 mg/kg Fırın kuru toprak
Kurşun	50 **	300 **
Kadmiyum	1 **	3 **
Krom	100 **	100 **
Bakır*	50 **	140 **
Nikel*	30 **	75 **
Çinko *	150 **	300 **
Cıva	1 **	1,5 **

*pH değeri 7'den büyük ise çevre ve insan sağlığına özellikle yer altı suyuna zararlı olmadığı durumlarda Bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar artırabilir.

** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

Araştırmacılar gelecekte tarım arazilerinin sulanabilmesi için tatlı su kaynağının yeterli olmayacağını ve arıtılmış atık su kullanımının zorunlu olduğu belirtilmektedir (Tekinel vd 2002). Dünyada bu uygulamalar giderek yaygınlaşmaktadır. Örneğin İsrail'de tarım alanlarının su gereksiniminin %30'u arıtılmış sulardan karşılanmakta ve bu değerin 2025 yılında %80'e ulaşacağı tahmin edilmektedir (Postel 2001; Bozkurt ve Ödemiş 2007).

Su depolama yapılarında biriktirilen gerek arıtılmış atık sular gerekse yağmur suları ve bunların karışımlarından oluşan su kaynakları damlatıcı tıkanıklığına neden olan tüm maddeleri içermektedir. Bu tür sularda çok inceden çok kabaya kadar değişik çaplarda mineral ve organik formda asılı madde bulunmaktadır. Ayrıca, depolama süresince çevre koşullarına bağlı olarak bitkisel ve hayvansal organizmalar da gelişebilmektedir. Sucul bitkisel organizmalar yeterli besin bulduklarında damla sulama boru hatları içinde karanlık ortamda da gelişmelerini sürdürebilirler. Yeterli miktarda organizma uygun koşullarda bir araya geldiklerinde her türden damlatıcıyı, vanaları veya filtreleri tıkayabilmektedirler (Ravina *et al.* 1992). Ayrıca, mikrobik aktivitelerin göstergesi olan bakteri çamurları, ipliksi bakteriler ve farklı formlardaki yapışkan organizmalar ince mineral ve organik materyalleri birbirine yapıştırarak geniş çökelti oluştururken yoluyla damlatıcıları tıkayabilmektedirler (Adin and Sacks 1987; Bozkurt ve Ödemiş 2007).

Su kaynağı olarak arıtılmış atık suların kullanılacağı tipik bir damla sulama sistemi aşağıda belirtilen öğelerden oluşmalıdır (Bozkurt ve Ödemiş 2007);

Atık Su Ön İyileştirme Sistemi: En basit iyileştirme sisteminde kaba atıkları çökeltme yoluyla ön arıtma amaçlı çökeltme deposu bulunmalıdır. Kullanım amacına göre bu tür depolara mekanik kaba filtreler de eklenebilmektedir. Ancak, yeterli bir iyileştirme için çoğu zaman havalandırma ve kum-çakıl filtresi gibi bileşenlere sahip ikincil arıtma sistemlerinin tasarlanması zorunludur. Çökeltme depoları 2 mm (kum) ile 0.002 mm (silt-çamur) arasındaki asılı inorganik parçaları uzaklaştırabilmektedir. Daha küçük parçacıklar için daha fazla çökeltme süreleri ve depo boyutları gerekmektedir (Haman *et al.* 1989). Toprakaltı damla sulama sistemlerinde mikropplardan arıtma amacıyla klorlama ve UV filtrelemeleri zorunlu değilken, geleneksel (yüzey) damla sistemlerinde çevre sağlığı nedeniyle bir zorunluluk oluşturmaktadır. Ön iyileştirme sisteminin tasarımı kullanılacak olan damla sulama sisteminin özelliklerine (damlatıcı tipi, debisi, çalışma süresi, konumu v.b.) bağlıdır (Lesikar and Converse 2005).

Pompa ve Dozlama Birimi: Bu birim bir pompa, basınç regülatörü ve kontrol cihazlarından oluşmaktadır. Pompalama yapılacak depo hacmi; durağan düzey, dozlama

düzeyi ve acil depolama düzeyi olarak üç kısımda denetlenir. Durağan düzey depoda planlanan en yüksek su depolama düzeyidir. Dozlama düzeyi pompanın hava yapmayacak şekilde çalışabileceği düzeydir. Acil depolama düzeyi ise, depoda izin verilen en düşük su düzeyidir. Bu düzeye gelmeden kesinlikle depo doldurulmalıdır. Dalgıç tipi pompalarda pompa girişi ile su düzeyi arasında en az 20 cm'lik su yüksekliği korunmalıdır. Vakum pompalarında bu zorunluluk bulunmamaktadır. Ancak, her iki pompa tipinde de pompa girişleri tabana yaklaştırılmamalıdır. Aksi takdirde zaman içinde depo tabanında biriken katı maddeler pompa giriş filtresini tıkayabilmektedir.

Filtreleme ve Denetim Birimi: Damla sulama sistemlerinde filtreleme en önemli unsurdur. Filtreler su içinde bulunan 100 mikrondan büyük tüm parçacıkları tutabilmelidir. Bu konuda genel kural filtre gözeneklerinin damlatıcı su geçiş yollarının çapının 1/10'u kadar olmasıdır. Bu amaçla, kum, elek veya disk filtreler kullanılmaktadır. Kullanılacak filtreler atık arıtma sistemi göz önüne alınarak planlanmalıdır. Atık sular kısa sürede filtreleri tıkayabildikleri için filtrelerin kendi kendilerini yıkayabilme özellikleri olması durumu da göz önüne alınmalıdır. Puig-Bargues *et al.* (2005), filtre tıkanmalarının su kalitesine bağlı olarak değiştiğini ve yemek endüstrisinin atık suları ön iyileştirme yapılmadan kullanıldığında disk filtrelerin kolayca tıkanıldığını, anılan koşullarda en iyi etkinliği kum filtrelerin gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca ön arıtma yapılan sularda disk ve elek filtreler arasında bir fark olmadığının altını çizmişlerdir.

Damla Sulama Dağıtım Hatları ve Damlatıcılar: Damla sulama boru hatları planlanırken hatların yıkanmasında kullanılacak drenaj noktaları önceden belirlenmelidir. Sulama yapılacak alan birden fazla parselden oluşuyorsa, vanaların, basınç regülâtörlerinin, vakum kırıcıların ve yıkama vanalarının nerelere yerleştirileceği ve kullanılacak lateral boru uzunlukları arazi topografyasına bağlı olarak planlanmalıdır. Sistemde kullanılacak damlatıcıların debisi, aralığı ve gömülme derinlikleri toprak yapısına ve derinliğine göre seçilmelidir.

Qingsong *et al.* (2006), dolambaçlı tip damlatıcıların çok küçük ve karmaşık yapıları nedeniyle çok çabuk tıkanabildiğini belirtmişlerdir. Avner ve Sacks (1991) atık sular altında damlatıcı tıkanıklıkları üzerine yaptıkları çalışmalarında damlatıcı tıkanıklığının damlatıcı kanallarının yapısıyla doğrudan ilişki olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Dehghanisani *et al.* (2003) atık sularda yaptıkları çalışmalarında damlatıcı girişlerindeki filtrelerin tıkanmayı büyük oranda etkilediğini belirtmişlerdir. Rubens and Ronaldo (2001), biyolojik tıkanmanın klorlamayla, kimyasal tıkanmanın asit uygulamalarıyla ve fiziksel tıkanmanın da filtreleme işlemleriyle azaltılabildiğini belirtmişlerdir. Sagi *et al.* (1995) protozoa kolonileri veya sülfür bakterilerinin neden olduğu tıkanmaların giderilmesinde tek yolun sürekli klorlama olduğunu ve sistemdeki son damlatıcılarda 1 mg/L konsantrasyonda serbest klor sağlayacak kadar yapılan klorlamanın tıkanmayı önlemede yeterli olduğunu bildirmişlerdir.

Feidler (1990), atık suların sulama amaçlı kullanılması durumundaki sınır değerleri bildirmiştir. Bunlardan 1. ve 2. sınıf atık suların hiçbir sınırlama getirmeden sulamada kullanılabileceğini, 3-5. sınıf atık suların ise bazı sınırlamalarla kullanılabileceğini belirtmiştir.

Pakfiliz vd (1995) deneme materyali olarak *L. perenne* ve *L. italicum* kullandıkları araştırmalarında, arıtılmış sularının değişik konsantrasyonlarının bitkilerin gelişimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneme bitkilerine Maltepe Askeri Lisesi arıtma tesisine ilişkin farklı konsantrasyonlardaki (%100, %50, %25) arıtılmış ve arıtılmamış atık sular ile çamur, kontrol materyallerine ise çeşme suyu uygulanmıştır. Araştırmanın sonucunda, arıtılmış su ve çamurların bitki gelişimini kontrole göre teşvik ettiği ve buna paralel olarak da kuru ve yaş madde miktarının daha fazla olduğu saptanmıştır.

Gutierrez *et al.* (1995), Mexico City’de atık suların arazilere uygulanmasıyla, ağır metal birikimini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, atık su ile sulanan topraklarda ve bu topraklarda yetiştirilen bitkilerde Pb, Cd, Cu, Zn düzeylerinin kritik değerleri geçmediği, ancak toprağın alt katmanlarında bu metallerin birikme eğilimi gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, atık sulardaki tuz içeriğinin toprak tuzlulaşmasını tehdit ettiğini,

yüksek organik madde ve pH değerlerinin de ağır metallerin çözünürlüğünü, alınmalarını ve taşınmalarını engellediğini ortaya koymuşlardır.

Berktaş (1996), Konya kapalı havzasında sulamadan dönen ve taşkın sularını uzaklaştırmak amacıyla inşa edilmiş bulunan ana tahliye kanalının Konya kenti atık sularını da taşıdığını ve arıtılmaksızın bu kanala verilen atık sular kanal boyunca yer alan tarımsal alanlarda sulama amacıyla kullanıldığını bildirmiştir. Bu uygulamanın sonucunda tarım topraklarında tuzluluk ve bor konsantrasyonlarında artışlar olduğunu saptamıştır. Tuzluluğun 4 kat arttığını, toprak profilinde hiç olmayan borun 0,38 ppm değerine kadar yükseldiğini bildirmiştir.

Patterson (1996) SAR değeri 0, 3, 8 ve 15 olan evsel atık suların toprağın hidrolik iletkenliğine etkisini belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüştür. SAR değeri ortalama 3,9 olan evsel atık suyun SAR değerini 3, 8, ve 15'e ayarlamak için seyreltme veya sodyum tuzu katılmıştır. Toprak örneklerini 82 saat süreyle atık su uygulanmış ve daha sonra atık su ile doymuş toprağın hidrolik iletkenliğini ölçmüştür. Sıfır SAR'a göre, SAR değeri yükseldikçe toprağın hidrolik iletkenliği %30 ile %60 arasında azaltmıştır. Bu azalmanın yüzey topraklarında daha yüksek, alt katman topraklarında ise daha düşük olduğunu belirtmiştir.

Katkat vd (1996), Gemlik Gübre Sanayi A.Ş. Fabrika'sı atık sularının tarımda kullanılabilirliği ile birlikte toprakların kimi özellikleri üzerine etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Doğrudan sulama suyu olarak ve belirli oranlarda sulama suyu ile (1:4, 1:2, 1:1) karıştırıldıktan sonra toprağa uygulanan atık suların topraktaki iyon konsantrasyonu ve bitki gelişimi üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Atık sulardan sulama amacıyla alınan örneklerde yapılan analizler sonucunda çeşitli parametreler (pH, EC, NO_3^- ve NH_4^+ başta olmak üzere) yönünden yıllar arasında olduğu gibi aynı yıl içerisinde de farklılıklar saptanmıştır.

Özdemir (1998), Konya ana tahliye kanalında kirlilik araştırması ve klorlu bileşiklerin belirlenmesi amacıyla yaptığı çalışmada; kanal suyundaki biyolojik oksijen ihtiyacı

(BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam katı madde ve organik maddenin 3. sınıf su standartlarının üzerine çıktığını, yine klorlu bileşiklerin ise düşük yoğunluklarda olduğunu bildirmiştir.

Uyanöz (1998), Konya ana tahliye kanalından alınarak sulamada kullanılan atık suların tarım topraklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler ile bu arazilerde yetiştirilen bitkiler üzerine etkilerini belirlemiştir. 0-30 cm'lik toprak katmanında organik madde, bitkiye elverişli fosfor ve potasyum, DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe, Zn, Mn, miktarlarında artış belirlenmiştir. Değişik cins ve türden çok sayıda patojen mikroorganizma saptanmıştır. Söz konusu atık sular ile sulanan bitkilerde insan, hayvan ve bitki sağlığını etkileyecek iz elementlere rastlanmıştır. Atık suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtması yapılmadan, tarımsal alanların sulanması ile birlikte, hiçbir amaçla kullanılmaması önerilmiştir.

Bahri (1998), Tunusun değişik bölgelerinden onbeş ayrı kentsel ve sanayi kaynaklarından aldığı atık su örneklerini sulama suyu niteliği, toprak ve yeraltı suyuna olabilecek etkiler yönünden incelemiştir. Çalışma sonucunda atık suların tarımsal kullanım potansiyeli açısından Ca miktarı ve EC bakımından toprak tuzluluğu yaratabileceğini, yüksek bitki besin elementi içeriğine rağmen özellikle NO₃ bakımından yeraltı suyu kirliliğine özen göstermesi gerektiğini bildirmiştir.

Trooien *et al.* (2000) yaptıkları bir çalışmada hayvansal kaynaklı atık suların yüzey altı damla sulama sisteminde damlatıcı akış oranı üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada beş farklı damlatıcı debisi (0,57, 0,91, 1,5, 2,3 ve 3,5 L/h) kullanılmış ayrıca bakteri, alg oluşumunu ve damlatıcılarda organik madde birikimini engellemek için sulama sistemine asit ve klor verilmiştir. Çalışma sonucunda, akış oranlarında 0,57 L/h'lik debili damlatıcılarda %21,5 lik ve 0,91 L/h lik damlatıcılarda ise %13,7 lik düşüşler gözlenirken diğer yüksek debili damlatıcılarda akış oranlarında bir düşüş gözlenmemiştir.

Diker ve Aydın (2000) fosseptik atıklar ile sulanan Hevsel bahçelerindeki marul ile atık suyun karışmadığı Fabrika deresi çevresindeki marulların ve bu alanlara ilişkin toprak ve su örneklerinin Zn, Cu, Pb, Mn ve Fe miktarlarını diğer alana göre daha yüksek bulmuşlar, marul ve toprak örneklerinde bu metallerin daha fazla birikim gösterdiğini belirlemişlerdir.

Abedi *et al.* (2001) yarı kurak iklim özelliklerine sahip İran'da, yağmurlama ve yüzey sulama sistemlerini kullanarak atık suyun ve yeraltı suyunun toprağın fiziksel özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Toprak analizlerini sulama sezonu başında ve sonunda yapmışlardır. Atık suyun ve yeraltı suyunun hidrolik iletkenlik ve poroziteyi düşürdüğünü, kütle yoğunluğunu ise arttırdığını belirlemişlerdir. Yüzey ve yağmurlama sulamaların toprağın kütle yoğunluğunu artırırken poroziteyi azalttığını, yağmurlama sulamanın hidrolik iletkenliğin artmasına neden olduğunu, aksine yüzey sulamanın ise hidrolik iletkenliği azalttığını saptamışlardır.

Tuna ve Bürün (2003), Muğla ilinde ağır metal kapsamayan evsel atık suları kireçle stabilize edildikten sonra mısır bitkisi yetiştirilmesinde kullanmışlar ve bitkinin mineral beslenmesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre; toprağın pH, toplam tuz, organik madde, kireç gibi özelliklerinde olumsuz bir değişiklik olmamış, P_2O_5 ve K_2O kapsamaları artmıştır. Mısır bitkisine artan dozlarda uygulanan evsel atık sular, bitkinin makro ve mikro besin düzeyini artırmıştır. Evsel atık suların kontrollü bir şekilde tarımsal alanlarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Minareci vd (2004) Manisa Belediyesi evsel atıksu arıtma tesisinin Gediz nehrine boşalttığı sudaki bazı ağır metal yoğunluklarını belirlemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre su örneklerindeki ortalama değerlerin $Cu=0,0161$ ppm; $Fe=0,0103$ ppm; $Mn=0,0075$ ppm; $Zn=1,0579$ ppm; $Cd=0,0036$ ppm; $Co=0,0063$ ppm; $Cr=0,1055$ ppm; $Ni=0,0796$ ppm; $Pb=0,2183$ ppm olarak belirlemişler ve bu değerlerin Atıksu Deşarj Standartlarında belirtilen değerlerden düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Qian and Mecham (2005), Amerika’da atık su ile sulanan 10 adet golf sahasından alınan toprak örneklerini analiz etmişlerdir. EC’si 0,84 dS/m olan evsel atık sularla ve değişik sürelerle sulanan golf sahalarının toprak analiz değerlerini, EC’si 0,23 dS/m olan yüzey suları ile sulanan arazilerden alınan toprak özellikleri ile karşılaştırmışlardır. Araştırma sonunda atık su ile sulanan golf sahalarının topraklarındaki Na, K, Cu, B ve toprak organik maddesinin yükseldiğini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar, toprak ve suyun düzenli izlenmesi ile sodyum ve tuz birikiminin olumsuz etkisinin azaltılabileceğini belirtmişlerdir.

Karataş vd (2006), İzmir ilinde oluşan evsel ve sanayi atık sularının arıtıldıktan sonra denize deşarj edilmesi yerine Menemen Ovasında sulama suyu olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Bu amaçla, biyolojik arıtma işleminden geçirilen İzmir evsel ve sanayi atık sularının, bazı sulama suyu nitelik parametreleri yönünden sulamaya uygunluğunu, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği ve ilgili literatür ışığında irdelemişlerdir. Sonuç olarak İzmir kentsel arıtılmış atık suyunun, toplam tuz, EC, SAR, ve Cl açısından birçok bitkinin tolerans sınırını aştığını ve dolayısıyla mevcut durumuyla bu suların sulamada kullanımının olası olmadığını ortaya koymuşlardır.

Najafi (2006) bir çalışmada, ikinci kademe arıtma işlemi uygulanmış kentsel atık suların farklı sulama yöntemleriyle domates bitkisinin sulanmasında kullanılmasının bitki ve toprak özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışmanın sonucunda damla sulama ve yüzey altı damla sulama yöntemlerinin topraktaki kirlilik problemini azalttığını ve bu sulama yöntemleriyle çevresel kirlenmenin kontrol altına alınabileceğini belirtmişlerdir.

Başkan (2006), Türkiye’de bulunan 129 kentsel arıtma tesisinden 25’ini inceleyerek, arıtılmış atık suların tarımsal amaçlı kullanılma olanağını araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, incelenen tesislerin %80’inde istenen nitelikte su elde edilemediğini, %40’ında SAR değerinin yüksek, %88’inde mikrobiyal aktivitenin sağlanmadığını belirtmiştir. Ayrıca, %24’ünde askıda katı madde yüksek , %20’sinde Cl yüksek çıkmıştır. Bor değerinin arıtma tesislerinin çıkışında problem oluşturmadığını ancak,

sulamada kullanılırken kriterlere uygunluğunun göz önüne alınması gerektiğini bildirmiştir. Sonuçta, tesislerin çoğunun tarımsal kullanım açısından uygun olmadığını belirterek mevcut yönetmeliğin değiştirilmesi gerektiğini, tesislerin iyi koşullarda çalışıyor olması ve denetiminin iyi yapılması ön koşulunun sağlanması gerektiğini vurgulamıştır.

Heidarpour *et al.* (2007) yüzey sulama ve yüzey altı sulama (delikli borular ile) yöntemleri kullanılarak uygulanan arıtılmış atık suyun, toprak kimyasal özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. 0-15, 15-30, 30-60 cm derinliğinden alınan toprak örneklerinde; elektriksel iletkenlik (EC), Na, Ca, Mg, Toplam N, P ve K içerikleri belirlenmiştir. 0-15 cm toprak tabakasında EC, Na ve Mg içerikleri yüzey sulama yöntemlerine göre yüzey altı sulama yöntemlerinde daha yüksek çıkmıştır. 15-30 ve 30-60 cm toprak derinliklerinde ise yer altı suyu ile kıyaslandığında atık su ile sulamanın topraktaki EC, Ca ve Mg içeriklerine etkisinin çok düşük olduğunu bildirmişlerdir. Fakat 0-15 ve 15-30 cm toprak derinliğinde atık su ile sulamanın toprağın yer altı suyuna göre K içeriği üzerine etkisinin önemli düzeyde yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Atık suyla sulamanın toprağın Na, P ve toplam N değerlerine kayda değer bir etkisini ise bulamamışlardır.

Malla *et al.* (2007) Hindistan'da atık suyun sulamada kullanılması ile toprakta ve bitkide oluşan fiziksel ve kimyasal değişimleri belirlemek üzere küçük lizimetrelerde çalışma yapmışlardır. Araştırmada, kumlu killi tın ve kumlu tın bünyeli topraklarda kuyu suyu, atık su ve 1:1 oranında atık su+kuyu suyu kombinasyonlarını ele almışlardır. Ayrıca bu sularla sulanan karnabahar, havuç ve ıspanaktaki kimyasal değişimleri incelemişlerdir. Atık su ile sulamaların her iki bünyedeki toprakların pH ve CaCO_3 değerlerini düşürdüğünü, EC, organik karbon ve kullanılabilir N, P, K miktarlarını artırdığını belirlemişlerdir.

Kızıloglu vd (2007) atık su ile sulamanın lahana bitkisi ve toprak özellikleri üzerine etkisini inceledikleri çalışmada; atık su ile sulamanın yalnızca toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilemediğini aynı zamanda bitkinin verimi ve mineral içeriği

üzerine de etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Yine Kızıloglu vd (2008)'nın arıtılmış atık suyun ve arıtılmamış atık suyun kırmızı lâhana ve karnabahar bitkilerinin bazı kimyasal özelliklerine etkisini inceledikleri başka bir çalışmada da arıtılmamış atık su ile sulanan alanlarda karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinde en yüksek verim ve makro ve mikro besin elementleri alımını gözlemişlerdir. Ayrıca atık su uygulamalarında tuzluluk, bitki ve toprakta ağır metal kirlenmesi gibi olumsuz etkiler gözlenmemiştir. Buna bağlı olarak, arıtılmadan kullanılan atık suyun tarım alanlarında kısa vadede kullanılabileceğini, arıtılmış atık suyun ise uzun vadede güvenle kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Çelebi ve Kara (2008) Niğde ili Bor ilçesi tabakhanelerinden çıkan atık sular ile sulanan alanlarda toprak kirliliğini araştırdıkları çalışmalarında, CO₂ üretimi ve dehidrogenaz (DHG) enzim aktivitesi ile ağır metal birikimini incelemişlerdir. Araştırmada, 0-20 cm'deki DHG aktivitesinin 225-1725 µgTPF/g.k.t arasında değiştiğini, CO₂ üretiminin 11.93-26.53 mg CO₂/100 g.k.t arasında değiştiğini ve CO₂ üretimi yüksek olan topraklarda DHG aktivitesinin de yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ağır metallerden Zn 273-678 ppm, Cu 11-244 ppm, Cr 0-845 ppm arasında, Cd ise hiç bir toprakta saptanmamıştır.

Palacios-Diaz *et al.* (2009) bir çalışmalarında Kanarya Adalarında yüzey altı damla sulama sistemi ile uygulanan arıtılmış atık suyun topraktaki tuz ve fosfor dağılımına ve yonca bitkisinin verimine etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda temiz su konusunda toprakta oldukça düşük tuzluluk ve besin elementleri ve ihmal edilecek düzeyde P gözlenirken, arıtılmış atık su konusunda çok yüksek EC, besin elementleri ve ortalama 3 mg/L toplam P belirlemişlerdir.

Jang *et al.* (2011) çeltik alanlarının su ve besin dengesini değerlendirmek amacıyla 3 yıllık bir arazi çalışması yürütmüşlerdir. Çalışmada sulama suyu olarak yer altı suyu, atık su ve UV filtreleme yöntemiyle arıtılmış atık su kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda girdiler ve hasat arasındaki farkı incelediklerinde, arıtılmış atık sular ile

sulanan eltik alanlarının gübreleme oranlarını azaltarak, atık su niteliklerinin olumsuz etkilerini yok edilebileceği bildirmişlerdir.

Agrafioti and Diamadopoulos (2012) yaptıkları bir çalışmada, Girit adasında tarımsal sulama amaçlı arıtılmış atık suların geri dönüşümünün fizibilitesini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada zeytin ağacı, üzüm bağı ve marul kullanmışlardır. Atık sular Girit Adasındaki 16 adet atık su arıtım tesisinden toplanmıştır. Toplanan sulara üçüncül bir arıtım uygulanmamasından dolayı Yunanistan atık su arıtım kriterlerini karşılamadığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada ayrıca yetiştirilen bitkilerin su gereksinimlerini belirleyerek atık sularla sulanabilecek arazi miktarını belirlemeye çalışmışlardır. Sulanan alanların belirlenmesinde CBS'den faydalanarak, mevcut arıtılmış atık suların sulama suyu ihtiyacının yaklaşık %4,3 ünü karşılayabileceğini bildirmişlerdir. Bunun sonucunda temiz su rezervinde 19,16 milyon metreküp suyun tasarruf edilebileceğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak adadaki bu alternatif su kaynaklarının adanın su sıkıntısını azaltacağı için bu suların kullanımının Girit adası için faydalı olabileceğini vurgulamışlardır.

Chavez *et al.* (2012) 100 yıldan fazla bir süredir Mexico City'de yoncanın sulamasında kullanılan atık suların miktarının azaltılması ve yoncanın kalitesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada, sera ortamında iki farklı nitelikte atık su ve 3 farklı sulama oranı kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda, atık su uygulamasında %43 lük bir azaltmanın yoncanın beslemesinde olumsuz bir etki yaratmaksızın, Tula Vadisinde bulunan su niteliğiyle aynı etkiyi göstereceğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte yer altı sularına olan organik madde sızmasında %35, N ve K tuzlarının sızmasında %25 lik bir azalmanın olacağını belirtmişlerdir. Ayrıca bu çalışma sonuçların doğrulanması için arazi denemelerinin de yapılması gerektiğini savunmuşlardır.

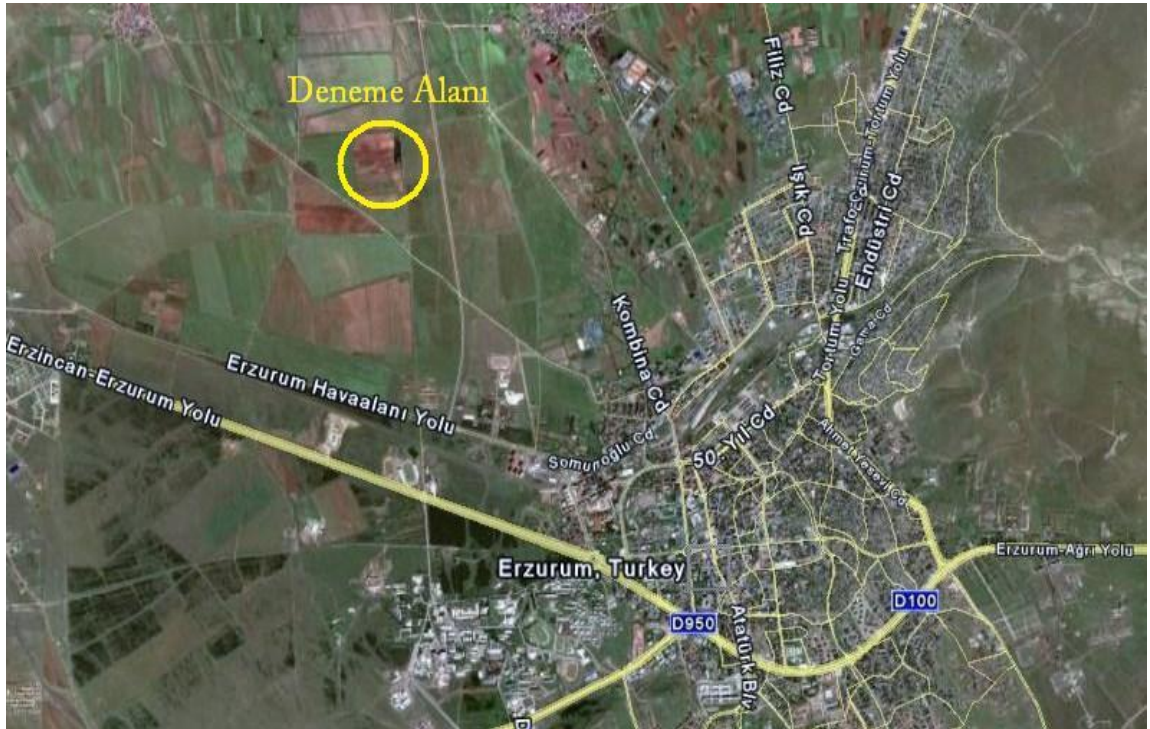
Singh *et al.* (2012) yaptıkları bir çalışmada yer altı suyu ve evsel atık suyu buğday, nohut ve ayır üçgülü gibi bitkilerin sulamalarında kullanmışlardır. Çalışma sonucunda evsel atık su kullanımının, gübreli yer altı suyu uygulamalarının sonuçlarıyla

karşılaştırıldığında toprağın fiziko-kimyasal özellikleri ile ürün verimi üzerine olumlu bir etki gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca bir sezonda uygulanan atık suyun killi topraklarda bir miktar alkalilik ve çözülebilir tuz artışı dışına olumsuz bir etki göstermediğini bildirmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Araştırma ve Yayım Merkezi Müdürlüğünün 4 numaralı deneme alanında (Şekil 3.1), 2010-2011 yıllarında yürütülmüştür. Çalışmada sulama konuları Erzurum kentsel atık suyu kullanılarak oluşturulmuştur. Deneme bitkisi olarak royale F1 çeşidi kırmızı lahana ve kar topu F1 çeşidi karnabahar yetiştirilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Deneme alanının Erzurum ili içerisindeki konumu (googleearth 2011)

3.1.1. Araştırma alanının iklimi

Denemenin yürütüldüğü Erzurum ovası, Türkiye'nin Kuzey doğusunda, $40^{\circ}48'$ ve $41^{\circ}24'$ doğu boylamları ile $39^{\circ}54'$ ve $40^{\circ}00'$ kuzey enlemleri arasında yer alan, karasal

iklim koşullarında, denizden yüksekliği 1853 m olan bir konumda yer almaktadır. Erzurum’da egemen olan karasal iklim nedeniyle gece-gündüz ve mevsimler arasındaki sıcaklık farkları çok fazladır. Genel olarak kışlar oldukça uzun olup karla kaplıdır. Yazlar ise serin ve kurak geçmektedir. İlk donlar Eylül ayı ortalarında başlamakta, son donlar ise Mayıs ayı ortalarına kadar sürmektedir. Çizelge 3.1’de Erzurum ilinin uzun yıllar (1970 - 2011) ve deneme yıllarına ilişkin (2010-2011) bazı iklim değerleri verilmiştir (Anonim 2012).

Çizelge 3.1. Erzurum ilinin uzun yıllar ve deneme yıllarına ilişkin iklim değerleri (Anonim 2012)

		Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Uzun yıllar ort. (1970-2011)	Ortalama Sıcaklık (°C)	10,4	14,9	19,3	19,3	14,4
	Ort. En Yük. Sıcaklık (°C)	16,9	21,9	26,9	27,4	23,1
	Ort. En Düşük Sıcaklık (°C)	3,7	6,7	10,6	10,4	5,5
	Güneşlenme Süresi (h)	7,5	10,1	11,1	10,4	8,6
	Yağış (kg/m ²)	68,1	45,3	26,3	17,0	21,0
	Rüzgar hızı (m/s)	3,06	3,01	3,22	2,97	2,55
	Bağıl nem (%)	60,7	54,9	51,1	50,3	49,8
	Buharlaşma (mm)	111,8	151,0	223,1	221,3	158,2
2010	Ortalama Sıcaklık (°C)	10,4	15,9	19,5	20,3	17,0
	En Yüksek Sıcaklık (°C)	17,5	24,5	28,2	29,1	26,7
	En Düşük Sıcaklık (°C)	3,5	7,2	10,8	10,4	6,9
	Güneşlenme Süresi (h)	8	9,1	9,9	10,1	8,8
	Yağış (kg/m ²)*	63,6	51,5	59	12,8	8,8
	Rüzgar hızı (m/s)	2,9	2,8	3,3	3,7	2,9
	Bağıl nem (%)	69,6	60,1	56	44,8	48,1
	Buharlaşma (mm)	127	171,3	220,1	254,2	184,0
2011	Ortalama Sıcaklık (°C)	9,6	14,6	19,6	19,4	13,9
	En Yüksek Sıcaklık (°C)	15,1	22,3	28,7	28,6	23,1
	En Düşük Sıcaklık (°C)	4,6	6,1	10,8	10,2	4,6
	Güneşlenme Süresi (saat)	8,1	10,9	8,1	6,4	5,2
	Yağış (kg/m ²)*	105,2	52,7	15	16	15
	Rüzgar hızı (m/s)	3,0	2,7	4	3,8	3,1
	Bağıl nem (%)	69,5	63,4	53,3	48,2	53,8
	Buharlaşma (mm)	111,8	174,5	236,5	259,4	160,1

* 2010 ve 2011 yılları yağış değerleri deneme alanında plüvyometre ile ölçülmüştür.



Şekil 3.2. Araştırma alanı genel görünümü

3.1.2. Araştırma alanının toprak özellikleri

Erzurum ili, karmaşık bir jeolojik yapı gösterir. Genelde andezit ve bazalt gibi püskürük kütlelerle kaplıdır (Atalay 1978). Başlıca toprak grupları, bazaltik ve kestane renkli topraklardır. Eğimin artmaya başladığı yerlerde ana materyallerden oluşmuş topraklara rastlanır. Ova toprakları alüvyallerden, taban ve etek araziler ise kolüvyallerden meydana gelmektedir. Mera arazileri bazaltik topraklar üzerinde yer almakta olup, tarım arazilerinin çoğunluğu ise kestane renkli topraklar üzerindedir. Kestane renkli topraklar A, B, C ve A (B), C profiline sahip kalsifikasyon ameliyesi sonucu oluşmuş, Ca içeriği bakımından zengin topraklardır. Ana materyal kalkerden volkanik kayalara kadar değişen, kireçle zengin materyallerden ayrılmış kalker, grays, şist, bazalt ve diğer püskürüklerdir (Anonim 1984).

Araştırmanın yürütüldüğü bölgenin toprakları orta bünyelidir. 0-60 cm derinlikte toprakların pH' sı 7,18-7,41, EC'si 0,210-0,220 dS/m, organik madde içeriği %1,08-1,33, potasyum içeriği 2,3-2,68 mg/L, fosfor içeriği 7,26-12,22 mg/L, CaCO_3 içeriği %0,15-0,27, Katyon değişim kapasitesi (KDK) 30,18-29,32 me/100g, kütle yoğunluğu 1,29-1,30 g/cm³ arasında değerler almaktadır (Ata 2006).

3.2. Yöntem

3.2.1. Atık su arıtım işlemleri

Genel olarak ön arıtım işlemleri, büyük hacimli maddelerin fiziksel işlemlerle atıksudan uzaklaştırılması amacıyla kullanılır. Bu çalışmada da 2 mm çapında elek filtreler kullanılarak ön arıtım işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Ön arıtım işleminin gerçekleştirildiği elek filtre

Biyolojik arıtma, atıksu içerisindeki çözünmüş organik maddelerin bakteriyolojik olarak ayrıştırılarak giderilmesi işlemidir. Bakterilerin arıtma işlemini gerçekleştirebilmeleri için pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen, toksik maddeler gibi parametrelerin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Uygulamaları; aktif çamur sistemleri, biyofilm sistemleri, stabilizasyon havuzları, havalandırılmalı lagünler ve damlatmalı filtrelerdir. Yürütülen çalışmada bu amaçla 2 tonluk plastik tanklar içerisine filtre edilerek alınan atıksuya 2 gün sürekli havalandırma işlemi uygulanmıştır. Yine 2 tonluk plastik tankın içerisine alınan filtre edilmiş su 1:1 oranında temiz suyla (normal sulama suyu) seyreltilmiştir. Ayrıca tüm atıksu konularına sistemdeki biyolojik ve kimyasal tıkanmaların önüne geçebilmek ve dezenfeksiyon amacıyla klorlama yapılmıştır. Klorlama için “sodyum hipoklorit”, 1 mg/L serbest klor sağlayacak şekilde uygulanmıştır.

Yukarıda sayılan işlemlerden sonra temiz su, filtre edilmiş atıksu, filtre edilmiş ve havalandırılmış atıksu ve filtre edilmiş 1:1 oranında temiz suyla seyreltilmiş atıksu olmak üzere dört farklı kalitedeki su kullanılarak dört farklı sulama konusu denenmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Damlatıcı laterallerden analiz içi alınan, sulama amaçlı kullanılan filtre edilmiş atıksu, filtre edilmiş ve havalandırılmış atıksu ve filtre edilmiş 1:1 oranında temiz su ile seyreltilmiş atıksu

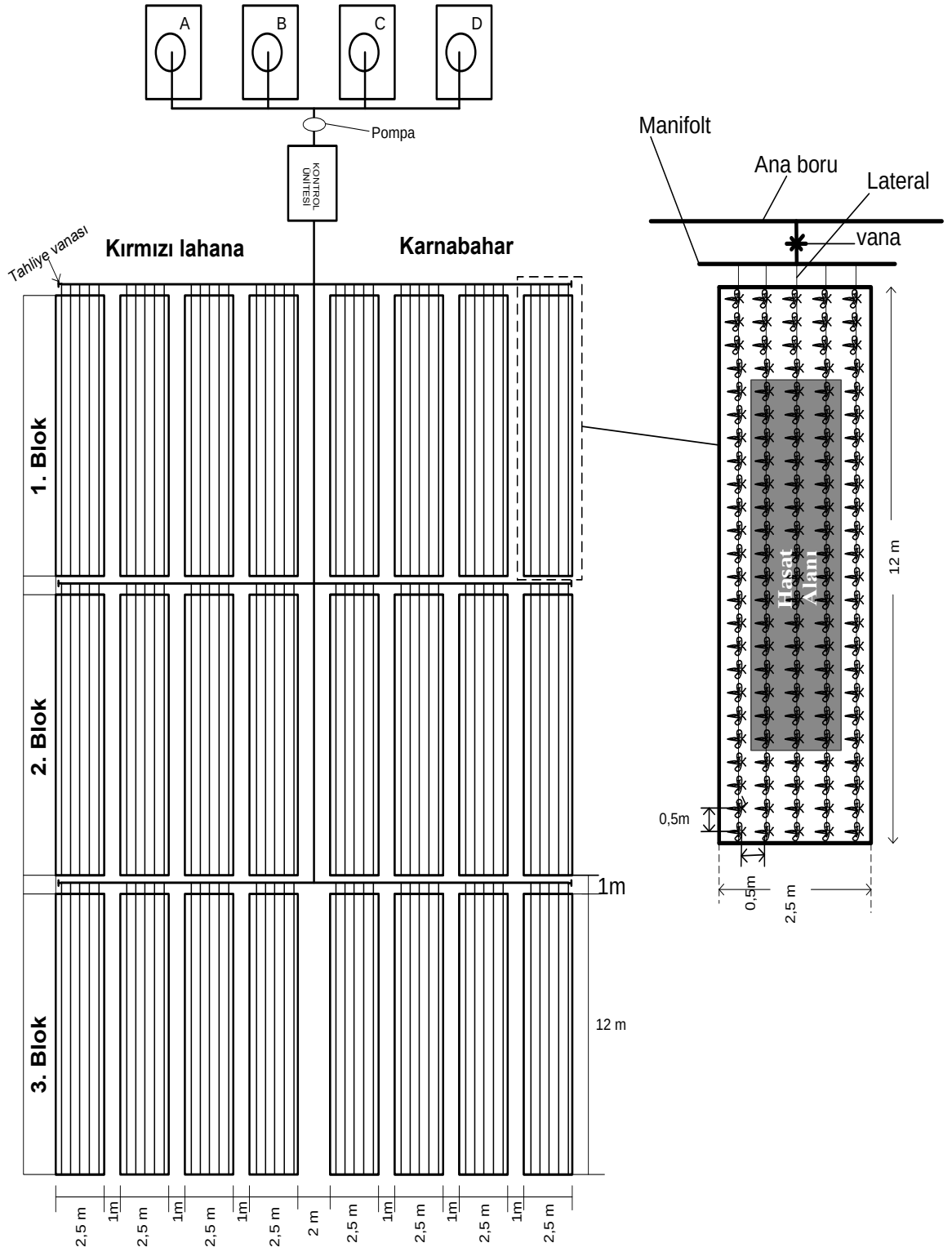
3.2.2 Sulama uygulamaları ve su analizleri

Karnabahar ve kırmızı lahana bitkileri C₂S₁ sınıfındaki temiz su (kontrol), filtre edilmiş atıksu, filtre edilip havalandırılmış atıksu ve filtre edilip temiz suyla 1:1 oranında seyreltilmiş atık su olmak üzere 4 farklı kalitedeki su ile sulanmıştır. Çalışmada sulama konuları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

- A** : filtre edilmiş atıksu,
- B** : filtre edilip havalandırılmış atıksu,
- C** : filtre edilip temiz suyla 1:1 oranında seyreltilmiş atık su,
- D** : temiz su (kontrol).

Denemeler, tesadüf bloklar yöntemine göre üçer tekerrürlü olarak yürütülmüştür (Şekil 3.5). Etkili kök derinliğindeki toprakta nem ölçümleri manometreli tansiyometrelerle yapılmıştır. Tansiyometreler 20 cm derinliğe yerleştirilmiştir (Şekil 3.6). Sulamalara başlamadan önce tansiyometrelerdeki basınç değerlerine karşılık gelen toprak nem içerikleri gravimetrik yolla belirlenerek bir kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur. Sulamalar kontrol parsellerinde etkili kök derinliğindeki (40 cm) yarayıslı nemin %40'ı tüketildiğinde yapılmıştır.

Sulama suyu, damla sulama yöntemiyle uygulanmıştır. Deneme parsellerine su iletimi ve dağıtımını sağlayan damla sulama sistemi sırasıyla pompa, kontrol ünitesi, ana boru hattı, manifold boru hatları, ve lateral boru hatlarından oluşturulmuştur (Şekil 3.7). 5 KW kapasiteli elektrik motorlu pompa ile sulama suyu sisteme verilmiştir. Kontrol birimi; araştırma ve uygulama alanının tümü için planlanmış, hidrosiklon, ve disk filtreden oluşturulmuştur. Ayrıca sistem basıncını denetlemek ve filtrelerin tıkanmalarını belirlemek amacıyla manometrelerden yararlanılmıştır. Her bir bitki sırasına 16 mm dış çaplı, 4 atm işletme basınçlı PE lateral borular döşenmiştir. Lateral borular üzerine 50 cm aralıklarla yerleştirilmiş ve 1 atm basınçta 2 L/h debi veren in-line damlatıcılara sahiptir.



Şekil 3.5. Deneme deseni



Şekil 3.6. Deneme parsellerinde konumlandırılmış bir manometreli tansiyometre



Şekil 3.7. Damla sulama sistemi

Her sulamada verilen sulama suyu miktarı, ıslatma alanı yüzdesi 1 alınarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$I = \frac{(TK - SN) * D * \gamma t}{100} * Ry * p$$

- I : Sulama suyu miktarı (mm)
 TK : Tarla kapasitesi (%)
 SN : Solma noktası (%)
 D : Etkili kök derinliği (mm)
 γt : Kütle yoğunluğu (g/cm³)
 Ry : Tüketilmesine izin verilen su miktarı oranı
 p : Islatılan alan oranı

Ekim öncesi deneme alanının toprak özelliklerinden yararlanılarak yukarıdaki eşitlik yardımıyla her sulamada uygulanacak su miktarı 22 mm olarak hesaplanmıştır. Buna göre 2 ton kapasiteli her bir tank 3 parselin sulamasında kullanılmıştır.

Her iki deneme yılı sulama sezonu sonunda konuların tamamından birer lateral seçilip laterallerin başından 3, ortasından 3 ve sonundan 3 damlatıcıda debi ölçümleri yapılarak damla sulama sisteminin performansının en önemli göstergesi olan sulama yeknesaklığı, İstatistiksel Yeknesaklık Katsayısı eşitliği ile belirlenmiştir (Bralts ve Kesner 1983).

$$U_s = 100 * \left(1 - \frac{S_q}{q_{ort}}\right)$$

- U_s : İstatistiksel yeknesaklık katsayısı (%)
 S_q : Damlatıcı debilerinin standart sapması (L/h)
 q_{ort} : Ortalama damlatıcı debisi (L/h)

Her iki deneme yılında sulama konularından Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarının yaklaşık ortalarında alınan su örneklerinde Ca, Mg, Na, K, CO₃, HCO₃, Cl, SO₄, B, Fe, Cu, Ni, Cd, Mn, Zn, Pb, toplam azot (TN), toplama fosfor (TP), pH, elektriksel

iletkenlik (EC), toplama eriyebilir tuz (TDS), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), sodyum karbonat kalıntısı (RSC), yüzde sodyum (%Na), askıda katı madde (AKM), fekal koliform, BOI₅ ve KOİ parametreleri incelenmiş ve Eaton (1950) FAO (1985), Anonim (1991) ve Pescod (1992) verilen sulama suyu kriterleri uyarınca sulamaya uygunluk durumları araştırılmıştır.

Ca, Mg, Na, K, Pb, Ni, Cd, Zn, Mn: ICP AES cihazı ile belirlenmiştir.

CO₃ ve HCO₃: Sülfürik asitle yapılan titrasyon ile belirlenmiştir (Sönmez ve Ayyıldız 1964).

Cl: 0,1 N AgNO₃ çözeltisi kullanılarak, K₂CrO₄ indikatörlü ile yapılan titrasyon ile belirlenmiştir (Sönmez ve Ayyıldız 1964).

SO₄, Fe, Cu : Merck hazır kitleri kullanılarak spektrofotometrede Close Reflux Kolorimetrik Metod esasları uyarınca okuma yapılarak belirlenmiştir.

Bor: Karmin yöntemine göre ölçülmüştür (Hatcher and Wilcox 1950).

Toplam azot (TN): Toplam kjeldahl azotu tayin yöntemiyle belirlenmiştir.

Toplam fosfor (TP): Su örneklerinin toplam fosfor analizi örneğin kuvvetli asit hidrolizine tabi tutularak ortofosfat ölçümü ile belirlenmiştir.

pH: pH metre ile ölçülmüştür.

Elektriksel iletkenlik (EC): Kondüktometre ile ölçülmüştür.

Toplam çözünmüş katılar (TDS): kondüktometre ile ölçülen EC değerinden faydalanarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{TDS(ppm)} = (\text{EC} \times 10^6) \times 0,64$$

Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR): Aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Anonymous 1954);

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

Sodyum karbonat kalıntısı (RSC) : Aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Anonymous 1954);

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$$

Yüzde sodyum (%Na): Aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Anonymous 1954);

$$\% \text{Na} = \frac{\text{Na}}{\text{Na} + \text{Mg} + \text{Ca} + \text{K}} \times 100$$

Askıda katı madde (AKM): Su örneği, vakumla çalışan bir cihaz kullanılarak filtreden süzülüp, süzgeç 105 °C’ de kurutularak süzgeç üzerindeki kalıntı tartılıp, toplam askıda katı madde miktarı belirlenmiştir (APHA 1995).

Fekal koliform: Membran Filtrasyon Yöntemi ile belirlenmiştir (Anonim 1996; Eckner 1998).

BOİ₅: 5 mg/L allylthiovrea ile 5 günlük biyolojik oksijen ihtiyacı (BOD₅), nitrifikasyon önlenerek seyreltme yöntemi ile ölçüm prensibine dayandırılarak ölçülmüştür (APHA 1995).

KOİ: Merck hazır test kiti kullanılarak 25-1500 mg/L aralığında spektrofotometre ile ölçüm yapılmıştır.

3.2.3. Bitki su tüketiminin (evapotranspirasyon) belirlenmesi

Yetiştirme sezonunda günlük gerçek evapotranspirasyon miktarları su bütçesi yöntemine göre aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Malek and Bingham 1993; Allen *et al.* 1998; Rana and Katerji 2000):

$$\text{ET}_a = \text{I} + \text{P} + \text{C}_r - \text{D}_w - \text{R}_f \pm \Delta \text{S}$$

Burada;

ET_a : Gerçek evapotranspirasyon miktarı (mm),

- I : Sulamayla verilen su miktarı (mm),
P : Yağış miktarı (mm),
C_r : Kapillar yükselme miktarı (mm),
D_w : Derine sızma miktarı (mm)
R_f : Yüzey akış miktarı (mm),
ΔS : Toprak nem içeriğindeki değişim miktarıdır (mm).

Toprakta etkili kök derinliğinde nem miktarındaki değişimler tansiyometrelerden belirlenmiştir. Yağış miktarı deneme alanına yerleştirilen pülüvyometre ile ölçülmüştür. Deneme alanında su tablası oldukça derinde olduğundan dolayı kapillar yükselme ihmal edilmiştir. Sulama öncesi topraktaki nem miktarı ve uygulanan sulama suyu miktarlarına bağlı olarak tarla kapasitesini aşan kısım derine sızma olarak alınmıştır. Parsellere sulama suyu damla sulama yöntemiyle kontrollü uygulandığından yüzey akış miktarı gözlenmemiştir. Bu durumda eşitlik aşağıdaki gibi sadeleştirilmiştir.

$$ET_a = I + P - D_w \pm \Delta S$$

3.2.4. Sulama suyu kullanım etkinliğinin (IWUE) ve su kullanım etkinliğinin (WUE) belirlenmesi

Sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) ve su kullanım etkinliği (WUE) için Howell vd (1990) tarafından önerilen eşitliklerden yararlanılmıştır. IWUE (kg/m³) 1 dekar alandan elde edilen ürün miktarının (kg/da) sulama suyu miktarına (mm) ve WUE (kg/m³) ise 1 dekar alandan elde edilen ürün miktarının (kg/da), bitki su tüketimine (mm) bölünmesinden elde edilmiştir.

3.2.5. Kültürel işlemler ve bitki ağır metal analizleri

Her iki deneme yılında da sonbaharda derin sürüm yapılarak kışa bırakılan deneme arazisi ilkbaharda diskli tırmık ve kombi kürüm ile dikime hazırlanmıştır. Deneme materyali olarak karnabahar ve kırmızı lahana fideleri, her parselde 120 bitki olacak

şekilde 25 Mayıs 2010 ve 01 Haziran 2011 tarihlerinde sıra arası 50 cm, sıra üzeri 50 cm olacak şekilde plantuar ile dikilmiştir. Denemenin ilk yılı parsellerde ekim öncesi dekara 18 kg N, 12 kg P_2O_5 ve 15 kg K_2O olacak şekilde gübreleme yapılmıştır. Yabancı ot mücadelesi elle çapalama yapılarak sağlanmıştır. Denemenin ilk yılında karnabahar bitkisi 30 Ağustosta hasat edilmeye başlanmış 6 Eylülde hasat sonlandırılmıştır. Kırmızı lahanada bitkisi ise 13 Eylülde hasat edilmeye başlanmış 19 Eylülde hasat tamamlanmıştır. İkinci deneme yılında ise karnabahar 5 Eylülde kırmızı lahanada 20 Eylülde hasat edilmeye başlanmış, karnabaharın 14 Eylülde kırmızı lahananın ise 28 Eylülde hasadı bitirilmiştir. Denemenin ilk yılında 4 Temmuzda ikinci yılında ise 13 Temmuzda yaprak keleşleri larvaları görüldükten sonra ilaçlama yapılmıştır. Deneme süresi sonunda her parselden alınan 25 bitkiden, karnabaharda bitki özelliklerinden; yaprak sayısı, gövde boyu, taç çapı, taç yüksekliği, minimum ve maksimum taç ağırlığı, ortalama taç ağırlığı ve dekara verim değerleri ve kırmızı lahanada da bitki özelliklerinden; açık yaprak sayısı, açık yaprak ağırlığı, baş çapı, baş yüksekliği, baş ağırlığı ve dekara verim değerleri belirlenmiştir. Ayrıca her iki bitkide de ağır metal alımına ilişkin; ICP AES cihazıyla belirlenen Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Ni, Cd içerikleri incelenmiştir.

3.2.6. Toprak analizleri ve infiltrasyon ölçümleri

Her iki deneme yılında ekim öncesi ve sonrası 0-20 ve 20-40 cm (kimyasal özelliklerde ek olarak 40-60 cm) profil derinliklerinden alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinde, fiziksel özelliklerden; kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, tarla kapasitesinde tutulan nem, solma noktasında tutulan nem, toplam porozite, agregat stabilitesi ve gözenek büyüklük dağılımı, kimyasal özelliklerinden; değişebilir Ca, Mg, Na ve K ile B, Fe, Cu, Zn, Mn, Toplam azot (TN), P_2O_5 , K_2O , pH, elektriksel iletkenlik (EC), organik madde, $CaCO_3$, kation değişim kapasitesi (KDK) ile değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) belirlenmiş ve Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ndeki (Anonim 2005) sınır değerlere uygun olup olmadığı araştırılmıştır.

Toprak fiziksel özelliklerden kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, tarla kapasitesinde tutulan nem, solma noktasında tutulan nem, toplam porozite, agregat stabilitesi, ve gözenek büyüklük dağılımı Klute (1986)'da belirtilen yöntemlere göre yapılmıştır. Toprak kimyasal özelliklerinden; değişebilir Ca, Mg, Na ve K, ve B, Fe, Cu, Zn, Mn, Toplam azot (TN), P_2O_5 , K_2O , pH, elektriksel iletkenlik (EC), organik madde, $CaCO_3$, kation değişim kapasitesi (KDK) ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) Page vd (1982)'de belirtilen yöntemlere göre yapılmıştır.

Ayrıca 2010 yılında deneme öncesinde ve hasattan yaklaşık bir ay sonra; 2011 yılında da yine hasattan yaklaşık bir ay sonra deneme parsellerinde çift silindir infiltrometre ile infiltrasyon ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen değerlerden regrasyon analiziyle infiltrasyon hızı, ortalama infiltrasyon hızı ve eklemeli infiltrasyon eşitlikleri çıkarılmıştır.

3.2.7. İstatistiksel analizler

Tesadüf bloklar deneme desenine göre üç tekerrürlü kurulan çalışmadan elde edilen sonuçlar, varyans analizine ve $P<0.05$ düzeyinde Duncan çoklu karşılaştırma testine göre değerlendirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Bitki Su Kullanımları ve Sulama Suyu Nitelikleri

4.1.1. Sulama suyu miktarları

Her sulamada 22 mm su verilerek 2010 yılında karnabahar 18 kez, kırmızı lahana 20 kez, 2011 yılında ise karnabahar 20 kez, kırmızı lahana 22 kez sulanmıştır. Karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerine 2010 ve 2011 yıllarında aylar bazında uygulanan sulama suyu miktarları Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilmiştir. Toplamda 2010 ve 2011 yıllarında karnabahar bitkisine 396 ve 440 mm, kırmızı lahana bitkisine de 440 mm ve 484 mm sulama suyu uygulanmıştır. Uygulanan sulama suyu miktarları denemenin 2. yılında ilk yıla oranla yaklaşık %10 daha fazla olmuştur.

Çizelge 4.1. 2010 yılı karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerine uygulanan aylık ve toplam sulama suyu miktarları

Sulama suyu miktarları (mm)							
Bitkiler	Konular	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
Karnabahar	A	22	88	154	132	-	396
	B	22	88	154	132	-	396
	C	22	88	154	132	-	396
	D	22	88	154	132	-	396
Kırmızı Lahana	A	22	88	154	154	22	440
	B	22	88	154	154	22	440
	C	22	88	154	154	22	440
	D	22	88	154	154	22	440

Çizelge 4.2. 2011 yılı karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerine uygulanan aylık ve toplam sulama suyu miktarları

Bitkiler	Konular	Sulama suyu miktarları (mm)				Toplam
		Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
Karnabahar	A	88	154	154	44	440
	B	88	154	154	44	440
	C	88	154	154	44	440
	D	88	154	154	44	440
Kırmızı Lahana	A	88	154	154	88	484
	B	88	154	154	88	484
	C	88	154	154	88	484
	D	88	154	154	88	484

4.1.2. Bitki su tüketimleri

Topraktaki nem değişimi, derine sızma, yağış ve sulama suyu miktarları dikkate alınarak bitki su tüketimleri hesaplanmıştır. Bütün sulamalarda sulama öncesi tansiyometrelerden ölçülen değerler yardımıyla ve verilen sulama suyu miktarlarından faydalanarak belirlenen topraklardaki sezonluk nem değişimleri Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4’de, ölçülen günlük yağış değerleri de Şekil 4.5 ve 4.6’ da verilmiştir. 2010 yılında her iki bitkinin de araziye dikiminden hasada kadar olan dönemde deneme alanına yetiştirme sezonu boyunca, karnabahar için 124,4 mm, kırmızı lahana için 128,4 mm yağış düşmüştür. 2011 yılı yetiştirme sezonu boyunca yağış miktarı ise karnabahar için 85,7 mm, kırmızı lahana için 98,7 mm olmuştur. Tek seferde düşen en fazla yağış miktarı 2010 yılında 17 Haziranda 25,5 mm, 2011 yılında da 2 Haziranda 22,4 mm olarak ölçülmüştür. Her iki yılda düşen diğer günlük yağış değerleri incelendiğinde de 2011 yılında 3 Haziranda ki 13 mm’lik yağış hariç diğer tüm günlük yağış değerlerinin 10 mm’yi aşmadığı görülmüştür (Şekil 4.6 ve 4.7). 2010 yılı 17 Haziran tarihindeki 25,5 mm’ lik yağışın 15,5 mm’si iki sulama aralığındaki topraktaki nem değişimleri dikkate alınarak derine sızma olarak değerlendirilmiştir. 2011 yılında ise 1 Haziran tarihinde yapılan sulamanın akabinde düşen 2 ve 3 Haziran tarihlerindeki toplam 35,4 mm lik yağış derine sızma olarak kabul edilmiştir.

Toprak nem değişimi grafikleri incelendiğinde tüm sulama konularında sezon boyunca nemin solma noktasına kadar inmediği, sezon içinde en fazla yarayışlı suyun yaklaşık

yarısına kadar azalmalar olduğu görülmüştür. Sulama suyu uygulamaları sonucu tarla kapasitesini aşan nem miktarları da özellikle atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında diğerlerine göre daha fazla olmuş, bu da durum sulamadan kaynaklanan derine sızmayı artırmıştır. Ayrıca tüm konularda topraktaki nem değişimi sezon boyunca yaklaşık birbirine paralel seyretmiştir (Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4).

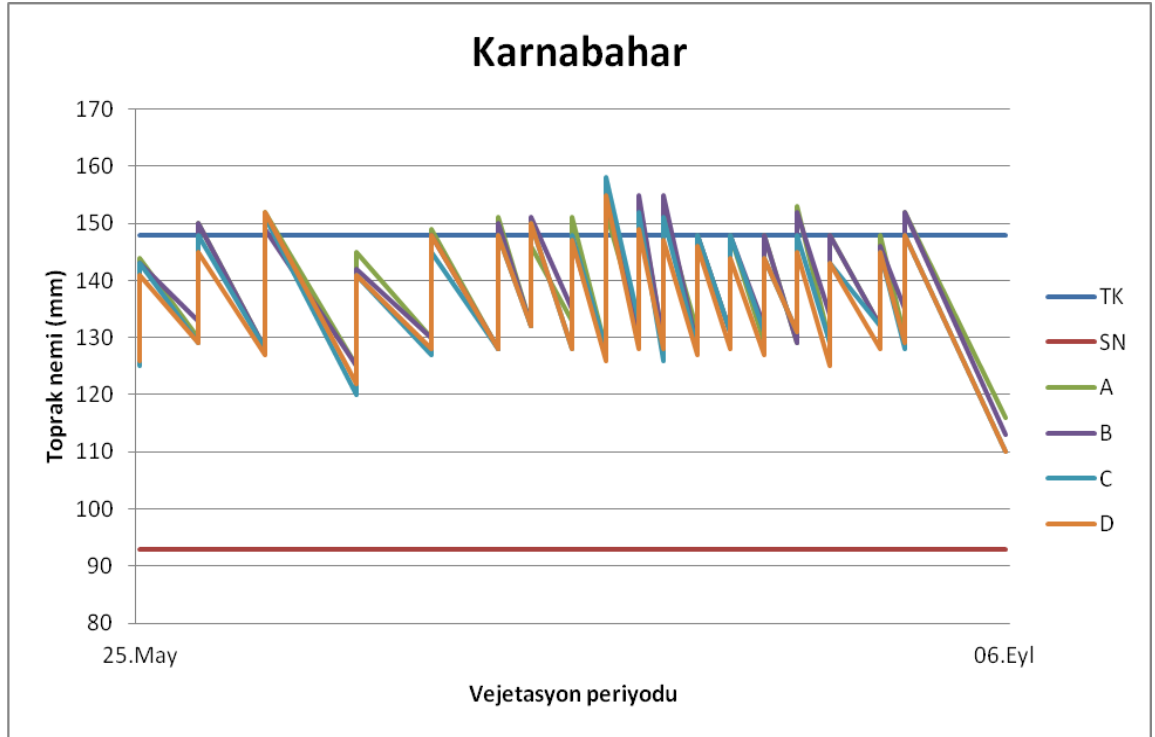
2010 ve 2011 yılları yetiştirme sezonunda karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin su bütçesi yöntemine göre hesaplanmış sezonluk su tüketim değerleri, su tüketimi varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma sonuçları da Çizelge 4.3 ve 4.4'te verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre her iki deneme yılı ve her iki bitki için konular arasında ki fark %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Hesaplanan sezonluk bitki su tüketimi değerlerine göre karnabahar bitkisinde 2010 yılı için en düşük değer 480,5 mm, en yüksek değerleri 507,5 mm, 2011 yılında ise en düşük değer 420,5 mm, en yüksek değerleri 493,1 mm olmuştur. Kırmızı lahana bitkisi su tüketimlerinde 2010 yılında en düşük değer 461,3 mm, en yüksek değer 565,0 mm, 2011 yılında ise en düşük değer 487,1 mm, en yüksek değer 548,4 mm olmuştur. En düşük su tüketimi değerleri atık su (A) konusunda, en yüksek su tüketimi değerleri de temiz su (D) konusunda belirlenmiştir. Arıtım düzeyinin artması su tüketimini de artırmıştır. 2010 ve 2011 yılları iki yıllık su tüketimi ortalamaları göz önüne alındığında karnabahar bitkisinde temiz su konusuna göre su tüketim değerleri, atık su (A) konusunda %10,0, havalandırılmış atık su (B) konusunda %8,9 ve seyreltilmiş atık su (C) konusunda %2,0 daha düşük olmuştur. Kırmızı lahana bitkisinde ise temiz su konusuna göre su tüketim değerleri, atık su (A) konusunda %13,5, havalandırılmış atık su (B) konusunda %10,8 ve seyreltilmiş atık su (C) konusunda %0,3 daha düşük olmuştur. Şahin *et al.* (2009) aynı bölge koşullarında yürüttükleri çalışmalarında karnabaharın sezonluk su tüketimini 475 mm, kırmızı lahananın ise 556 mm olarak belirlemişlerdir. Yapılan bir çok çalışmada da karnabaharın su tüketimlerinin 190-540 mm arasında (Ghawi *et al.* 1989; Prabhakar and Srinivas 1995; Thomas *et al.* 2000; Yu *et al.* 2006), kırmızı lahananın ise 380-640 mm arasında değerler aldığı bildirilmiştir (İmtiyaz *et al.* 2000; Tiwari *et al.* 2003). Su tüketimlerindeki farklılıkların yöre iklim koşulları ve kullanılan sulama yöntemlerindeki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.3. 2010 yılı karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin su tüketim değerleri ve varyans analiz sonuçları

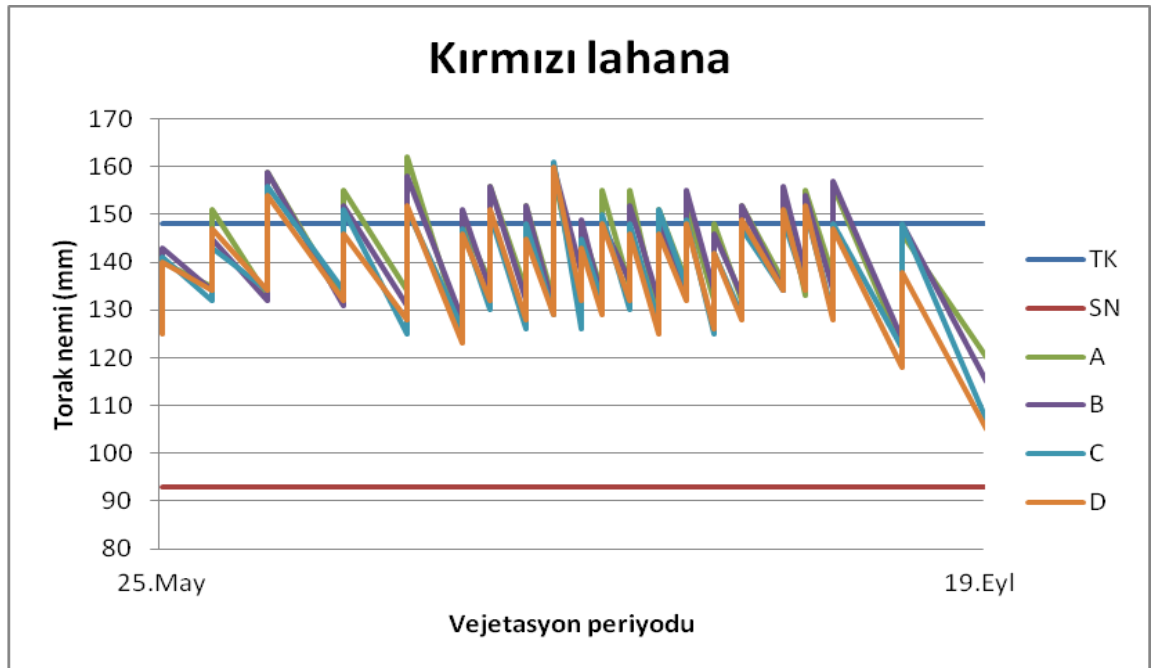
Bitkiler	Konular	Ekim hasat nem farkı ΔS (mm)	Derine Sızma Dw (mm)	Sulama I (mm)	Yağış P (mm)	Bitki Su Tüketimi ET (mm)
Karnabahar	A	11,6	51,5	396	124,4	480,50 d
	B	13,5	47,5	396	124,4	486,40 c
	C	15,5	32,5	396	124,4	503,40 b
	D	15,6	28,5	396	124,4	507,50 a
				F	Konu Blok	347 0,086
				P	Konu Blok	0,001 0,919
Kırmızı Lahana	A	13,4	120,5	440	128,4	461,30 c
	B	13,3	93,5	440	128,4	488,20 b
	C	19,8	25,5	440	128,4	562,70 a
	D	20,1	23,5	440	128,4	565,00 a
				F	Konu Blok	2127,61 1,331
				P	Konu Blok	0,001 0,332

Çizelge 4.4. 2011 yılı karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin su tüketim değerleri ve varyans analiz sonuçları

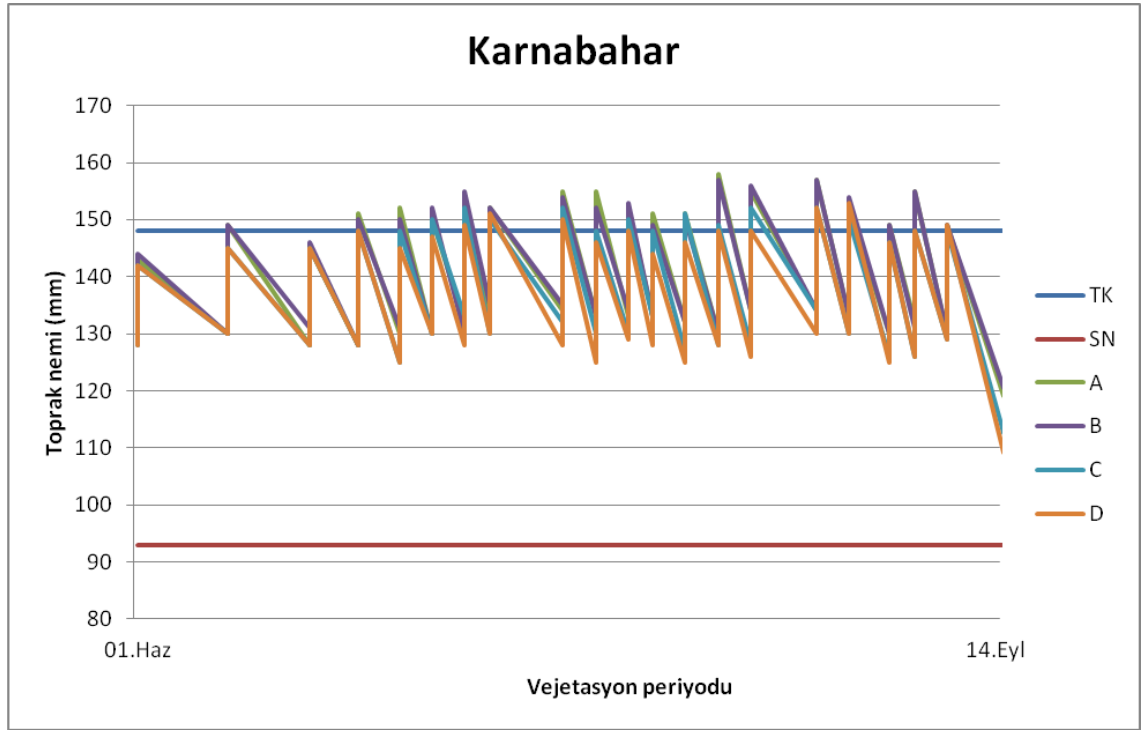
Bitkiler	Konular	Ekim hasat nem farkı ΔS (mm)	Derine Sızma Dw (mm)	Sulama I mm	Yağış P (mm)	Bitki Su Tüketimi ET (mm)
Karnabahar	A	13,2	118,4	440	85,7	420,50 d
	B	11,5	112,4	440	85,7	424,80 c
	C	15,4	63,4	440	85,7	477,70 b
	D	18,8	51,4	440	85,7	493,10 a
				F	Konu Blok	6414,71 3786
				P	Konu Blok	0,001 0,086
Kırmızı Lahana	A	10,8	106,4	484	98,7	487,10 d
	B	11,2	103,4	484	98,7	490,50 c
	C	13,5	65,4	484	98,7	530,80 b
	D	16,1	50,4	484	98,7	548,40 a
				F	Konu Blok	6345,65 4,294
				P	Konu Blok	0,001 0,070



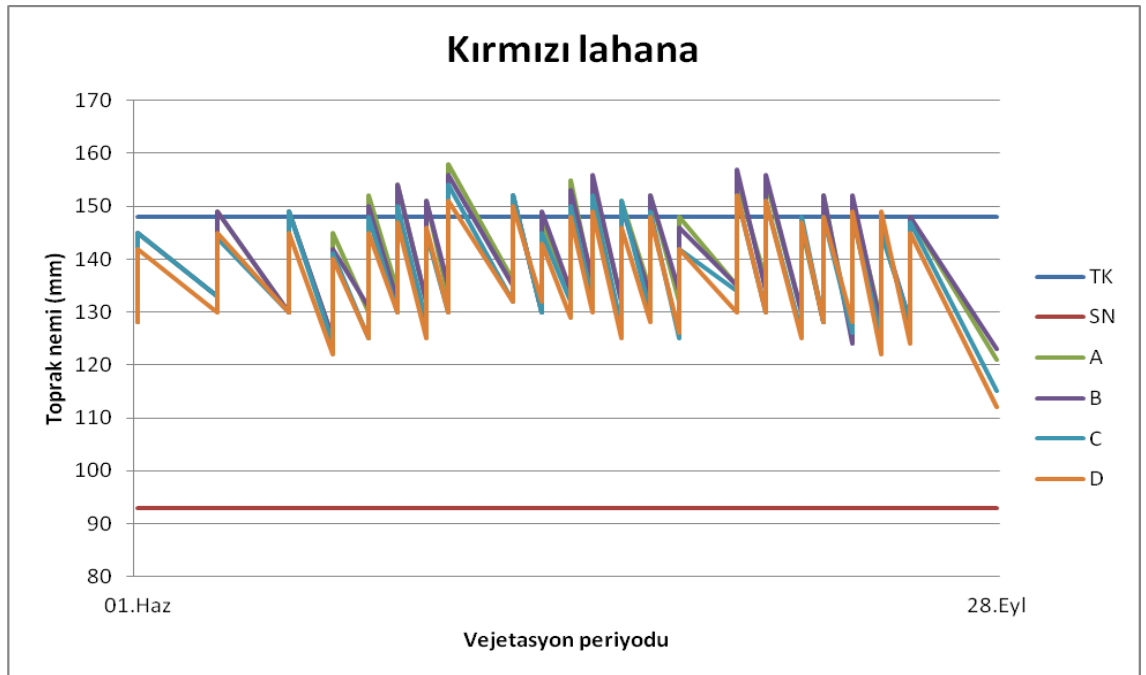
Şekil 4.1. 2010 yılı yetiştirme sezonunda karnabahar deneme parsellerinde toprak nem değişimi



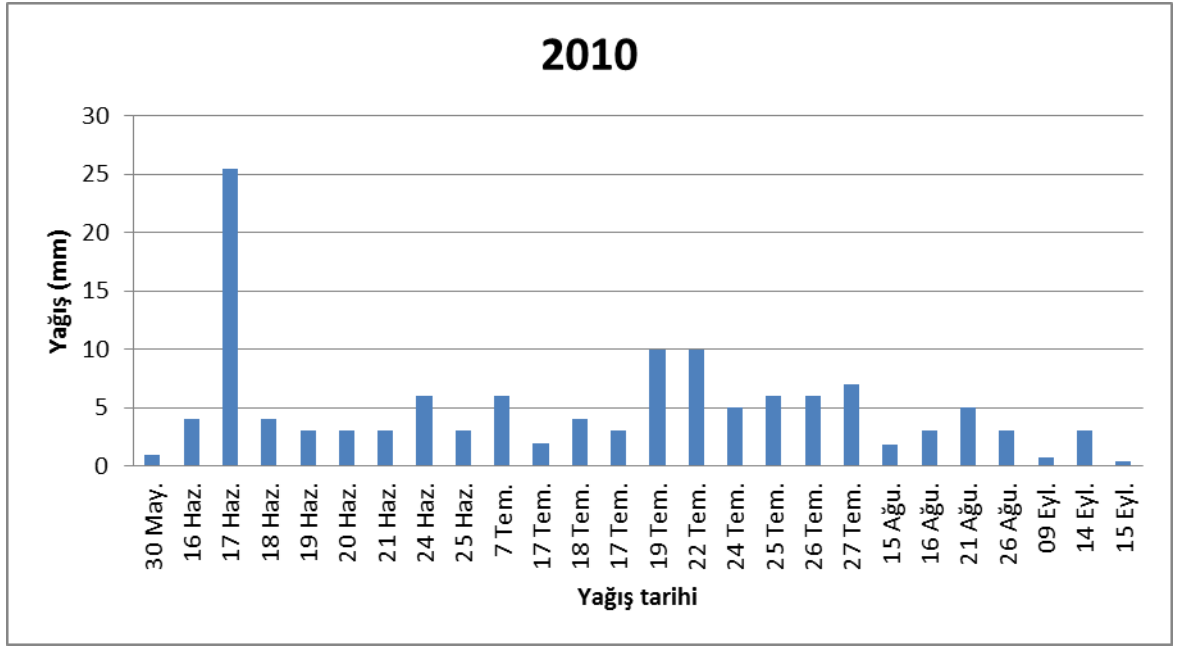
Şekil 4.2. 2010 yılı yetiştirme sezonunda kırmızı lahana deneme parsellerinde toprak nem değişimi



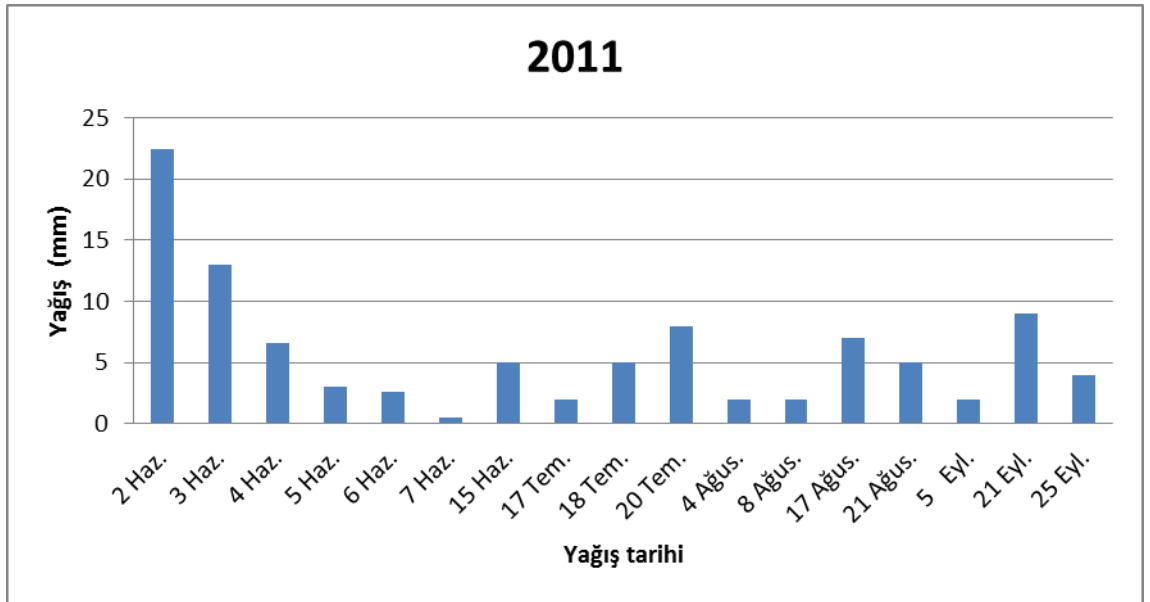
Şekil 4.3. 2011 yılı yetiştirme sezonunda karnabahar deneme parsellerinde toprak nem değişimi



Şekil 4.4. 2011 yılı yetiştirme sezonunda kırmızı lahana deneme parsellerinde toprak nem değişimi

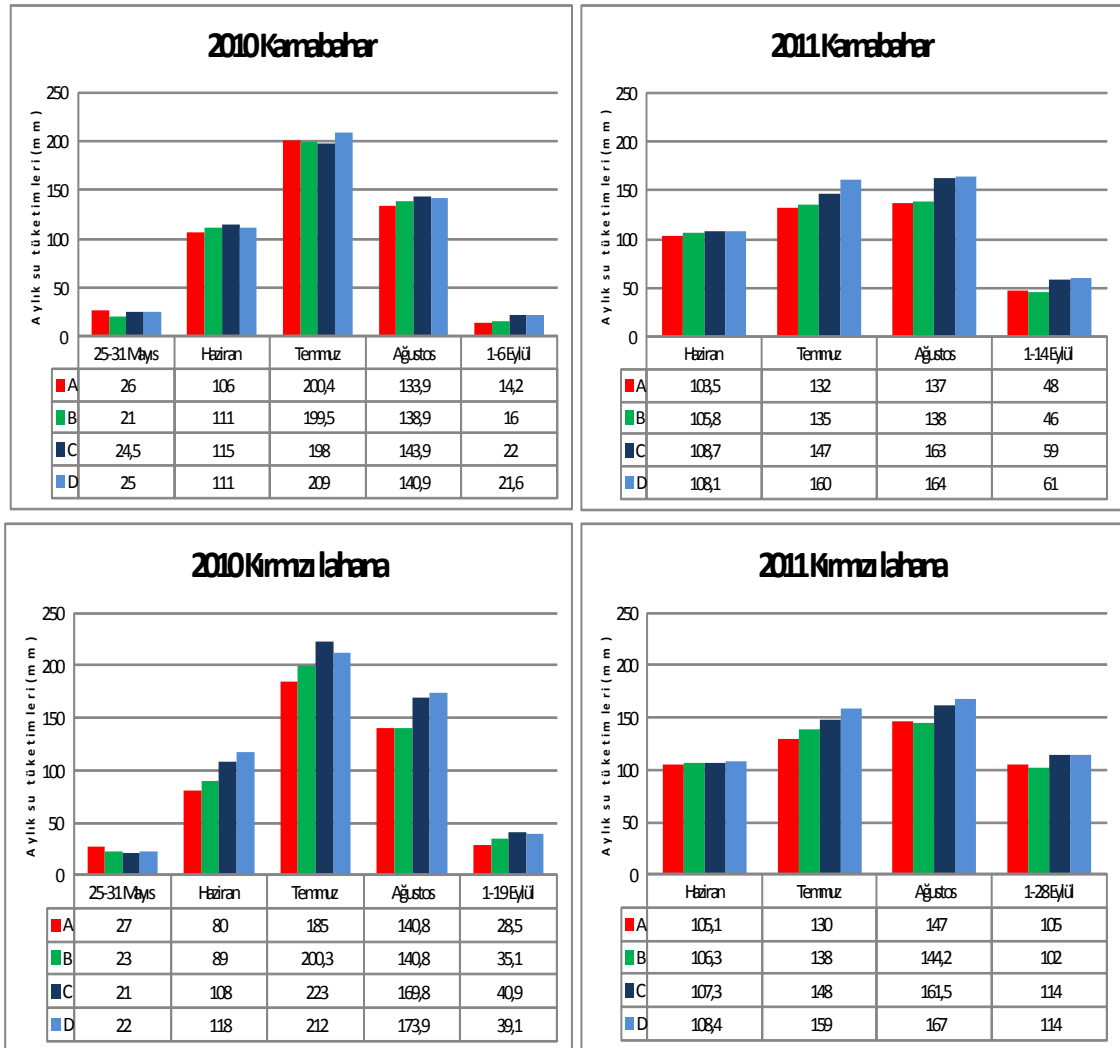


Şekil 4.5. 2010 yılı vejetasyon periyodu boyunca deneme alanında ölçülen günlük yağış değerleri



Şekil 4.6. 2011 yılı vejetasyon periyodu boyunca deneme alanında ölçülen günlük yağış değerleri

2010 ve 2011 yılları yetiştirme sezonunda karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin su bütçesi yöntemine göre hesaplanmış aylık su tüketimleri Şekil 4.7’de, verilmiştir. Deneme bitkilerinin aylık su tüketimindeki değişimler tüm su konularında benzer trendler göstermiştir. Denemenin ilk yılında genel olarak su tüketimleri sezon ortasına doğru belirgin bir şekilde artmış, sezon sonuna doğru belirgin bir şekilde azalmıştır. Denemenin ikinci yılında ise sezon başından itibaren sezon ortasına kadar su tüketimleri artış gösterecek şekilde birbirine yakın seyretmiş, sezon sonunda tekrar azalma göstermiştir. İkinci yıldaki aylık su tüketimi değişimleri arasındaki farklar, belirgin farkların olduğu ilk yıla göre daha az olmuştur.



Şekil 4.7. Karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin 2010 ve 2011 yılları aylık su tüketimleri

4.1.3. Sulama suyu kullanım (IWUE) ve su kullanım (WUE) etkinliği

Deneme alanında yetiştirilen bitkilerin sezonluk veriminin (Çizelge 4.18 ve 4.19), su miktarına (Çizelge 4.1 ve 4.2) oranıyla elde edilen sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) ve sezonluk verimin bitki su tüketimine (Çizelge 4.3 ve 4.4) oranıyla elde edilen su kullanım etkinliği (WUE) değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir. Denemenin her iki yılında da karnabahar bitkisinde en yüksek IWUE değerleri atık su (A) konusunda, en düşük IWUE değerleri temiz su (D) konusunda elde edilmiştir. İki yılın ortalama değerlerine göre atık su (A) konusunun IWUE değeri $11,60 \text{ kg/m}^3$, temiz su (D) konusunun IWUE değeri ise $8,25 \text{ kg/m}^3$ olmuştur. Kırmızı lahanada bitkisinde ise en yüksek IWUE değeri havalandırılmış atık su (B) konusunda, en düşük IWUE değerleri yine temiz su (D) konusunda elde edilmiştir. İki yılın ortalama değerlerine göre havalandırılmış atık su (B) konusunun IWUE değeri $8,63 \text{ kg/m}^3$, temiz su (D) konusunun IWUE değeri ise $5,03 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlenmiştir. İstatistiksel olarak her iki yılda ve her iki bitkide IWUE değerleri arasındaki fark $P < 0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. En az arıtılmış su konusu (A) temiz su konusuna göre iki yıllık ortalama değerler bazında IWUE'yi karnabaharda %40,6 kırmızı lahanada %71 artırmıştır.

WUE değerleri beklendiği gibi IWUE'ye göre daha düşük bulunmuştur. Karnabahar da en yüksek WUE değerleri atık su (A) konusunda 2010 yılında $9,97 \text{ kg/m}^3$, 2011 yılında $11,62 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlenmiştir. İki yılın ortalama değerlerine göre en yüksek değerin elde edildiği atık su (A) konusunda, havalandırılmış atık su (B) konusundan %5,3, seyreltilmiş atık su (C) konusundan %21,4 ve temiz su (D) konusundan %57,3 daha yüksek WUE değerleri saptanmıştır. İstatistiksel olarak da denemenin ilk yılı bütün konular farklı gruplarda yer bulunmaktadır. Denemenin ikinci yılı atık su (A) konusu ve havalandırılmış atık su (B) konusu aynı grupta, temiz suyla seyreltilmiş atık su (C) konusu ve temiz su (D) konusu daha düşük değerlerle farklı gruplarda yer almışlardır. Kırmızı lahanada en yüksek WUE değeri 2010 yılında atık su (A) konusunda $8,41 \text{ kg/m}^3$, 2011 yılında da yine atık su (A) konusunda $8,33 \text{ kg/m}^3$ olarak saptanmıştır. Kırmızı lahanada için de her iki yılın ortalama değerleri göz önüne alındığında en yüksek WUE değerinin elde edildiği atık su (A) konusu, havalandırılmış atık su (B)

konusundan %2,9, seyreltilmiş atık su (C) konusundan %48,4 ve temiz su (D) konusundan %100 daha yüksek değerler almıştır. İstatistiksel olarak denemenin her iki yılında da atık su (A) konusu ve havalandırılmış atık su (B) konusu aynı grupta yer alırken, temiz suyla seyreltilmiş atık su (C) konusu ve temiz su (D) konusu daha düşük değerlerle farklı gruplarda yer almışlardır. Farklı bitkiler için yapılan bir çok çalışmada da temiz su konusunda genel olarak daha düşük WUE ve IWUE değerleri belirlenmiştir (Al-Jamal *et al.* 2002; Hasani *et al.* 2010; Çakmakçı 2011).

Çizelge 4.5. 2010 ve 2011 yıllarında karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) ve su kullanım etkinliği (WUE) değerleri ile varyans analizi sonuçları

Bitkiler	Konular	2010		2011	
		IWUE (kg/m ³)	WUE (kg/m ³)	IWUE (kg/m ³)	WUE (kg/m ³)
Karnabahar	A	12,09 a	9,97 a	11,10 a	11,62 a
	B	11,36 b	9,25 b	10,87 a	11,26 a
	C	10,71 c	8,43 c	10,16 a	9,36 b
	D	8,91 d	6,95 d	7,59 b	6,78 c
	<i>F</i> <i>Konu</i>	56,784	85,593	17,672	35,943
	<i>Blok</i>	2,816	3,077	3,672	3,783
	<i>P</i> <i>Konu</i>	0,001	0,001	0,002	0,001
	<i>Blok</i>	0,137	0,120	0,091	0,087
	A	8,81 a	8,41 a	8,38 a	8,33 a
	B	8,86 a	7,98 a	8,40 a	8,29 a
Kırmızı Lahana	C	6,52 b	5,10 b	6,78 b	6,18 b
	D	4,86 c	3,78 c	5,20 c	4,59 c
	<i>F</i> <i>Konu</i>	94,337	147,157	104,267	158,177
	<i>Blok</i>	1,787	1,696	0,134	0,084
	<i>P</i> <i>Konu</i>	0,001	0,001	0,001	0,001
	<i>Blok</i>	0,246	0,261	0,921	0,921

4.1.4. Sulama suyu nitelikleri

2010 ve 2011 yıllarında sulamada kullanılan suların Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarının yaklaşık ortalarında alınan su örneklerinde belirlenmiş olan Ca, Mg, Na, K, CO₃, HCO₃, Cl, SO₄, B, Fe, Cu, Ni, Mn, Zn, Pb, toplam azot (TN), toplam fosfor (TP), pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam eriyebilir tuz (TDS), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), sodyum karbonat kalıntısı (RSC), yüzde sodyum (%Na), askıda katı madde

(AKM), fekal koliform, Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOI₅) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerleri Çizelge 4.6 ve 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. 2010 yılında sulamada kullanılan sulardan Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında alınan su örneklerinin analiz sonuçları

Parametreler	Haziran				Temmuz				Ağustos			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
pH	7,92	7,82	7,81	7,22	7,89	7,88	7,12	7,05	8,03	7,89	7,45	7,11
EC (dS/m)	1,78	1,82	1,16	0,45	1,83	1,84	1,26	0,47	1,93	1,92	1,34	0,45
TDS (mg/L)	1139	1170	742	288	1171	1178	806	301	1235	1229	858	288
AKM (mg/L)	98	103	52	-	102	112	65	-	114	116	55	-
TN (mg/L)	13,42	13,67	6,76	-	14,18	13,98	6,97	-	13,78	13,90	7,12	-
TP (mg/L)	7,21	5,83	6,22	-	9,89	8,82	5,91	-	5,83	6,23	4,98	-
CO ₃ (me/L)	0,52	0,51	0,33	-	0,95	0,32	-	-	0,50	0,98	-	-
HCO ₃ (me/L)	6,4	6,8	4,6	3,1	5,4	6,1	4,2	3,8	6,9	6,1	5,2	3,4
SO ₄ (me/L)	4,25	5,32	3,42	0,55	6,32	6,28	3,22	0,45	5,26	5,87	3,98	0,53
Cl (me/L)	1,05	1,32	0,86	0,22	0,87	0,98	0,55	0,30	1,12	0,87	0,46	0,31
Ca (me/L)	3,79	3,55	3,01	2,52	4,18	4,30	3,12	2,45	4,32	4,65	2,78	2,07
Mg (me/L)	1,15	1,75	1,09	1,15	0,89	1,63	0,75	1,20	1,06	1,12	0,96	1,10
Na (me/L)	6,76	8,57	5,73	0,35	7,48	7,38	4,55	0,42	5,77	7,38	4,33	0,39
K (me/L)	3,18	4,9	3,54	2,67	3,11	3,65	2,48	2,58	3,45	3,89	3,45	2,75
B (mg/L)	0,14	0,23	0,16	-	0,09	0,12	0,09	-	0,08	0,14	0,07	-
Fe (mg/L)	4,02	3,56	2,37	1,35	3,36	4,21	2,32	1,48	4,31	3,84	2,74	1,38
Cu (mg/L)	0,18	0,12	0,13	-	0,23	0,21	0,15	-	0,21	0,16	0,10	-
Ni (mg/L)	0,03	0,05	-	-	0,08	0,09	0,05	-	0,07	0,08	0,05	-
Cd (mg/L)	0,12	0,07	-	-	-	-	-	-	0,08	-	-	-
Mn (mg/L)	0,28	0,39	0,22	-	0,24	0,31	0,17	-	0,31	0,26	0,18	-
Zn (mg/L)	0,24	0,26	0,05	-	0,21	0,28	0,15	-	0,17	0,23	0,11	-
Pb (mg/L)	0,03	0,04	0,02	-	0,05	0,02	-	-	0,05	0,07	-	-
BOI ₅ (mg/L)	456	238	167	-	432	332	256	-	439	218	143	-
KOI (mg/L)	553	354	178	-	486	321	143	-	489	287	120	-
SAR	4,25	5,23	4,00	0,26	4,69	4,29	3,27	0,31	3,52	4,35	3,17	0,31
RSC	1,98	2,01	0,83	0,43	1,28	0,49	0,33	0,15	2,02	1,31	1,46	0,23
%Na	45,4	45,7	42,9	5,23	47,8	43,5	41,7	6,3	39,5	43,3	37,6	6,2
FCcfu/100 ml	2453	2246	1056	-	1145	678	567	-	1448	1276	978	-

Çizelge 4.7. 2011 yılında sulamada kullanılan sulardan Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında alınan su örneklerinin analiz sonuçları

Parametreler	Haziran				Temmuz				Ağustos			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
pH	7,82	7,83	7,77	7,31	7,92	7,79	7,32	7,10	7,83	7,87	7,38	7,04
EC (dS/m)	1,83	1,80	1,21	0,42	1,89	1,87	1,22	0,39	1,88	1,90	1,18	0,40
TDS (mg/L)	1171	1152	717	269	1210	1197	781	250	1203	1216	755	256
AKM (mg/L)	114	98	51	-	108	101	55	-	111	108	51	-
T N (mg/L)	12,87	12,69	5,98	-	13,97	13,66	6,88	-	14,14	14,90	7,65	-
TP (mg/L)	8,51	7,82	4,24	-	9,11	9,44	5,12	-	7,83	6,94	4,13	-
CO ₃ (me/L)	0,48	0,53	0,28	-	0,65	0,52	0,22	-	0,55	0,57	0,31	-
HCO ₃ (me/L)	6,8	6,1	4,9	3,2	6,4	6,4	4,4	3,2	6,8	6,4	4,2	3,1
SO ₄ (me/L)	5,35	5,22	2,98	0,51	5,32	5,84	3,15	0,49	5,88	5,85	3,38	0,45
Cl (me/L)	1,67	1,49	0,75	0,35	1,56	1,38	0,48	0,21	1,53	1,82	0,53	0,35
Ca (me/L)	4,21	3,78	3,88	1,78	4,55	4,60	3,08	1,67	3,45	5,15	1,68	1,11
Mg (me/L)	0,89	1,78	1,09	1,08	1,08	1,01	0,75	1,34	1,11	0,55	1,32	1,11
Na (me/L)	8,71	6,55	5,12	0,33	8,23	8,18	3,77	0,38	6,43	6,31	3,21	0,39
K (me/L)	3,01	4,10	3,31	1,88	4,14	4,68	1,76	1,52	4,46	4,19	2,11	1,52
B (mg/L)	0,22	0,19	0,11	-	0,09	0,08	0,09	-	0,11	0,12	0,09	-
Fe (mg/L)	4,04	3,95	2,62	1,45	4,23	4,26	2,58	1,29	3,85	4,26	2,48	1,46
Cu (mg/L)	0,13	0,11	0,11	-	0,13	0,12	0,14	-	0,11	0,11	0,14	-
Ni (mg/L)	0,07	0,04	0,03	-	0,05	0,06	0,03	-	0,09	0,08	0,05	-
Cd (mg/L)	0,09	0,11	0,03	-	0,09	0,04	-	-	0,08	0,05	-	-
Mn (mg/L)	0,19	0,15	0,24	-	0,28	0,21	0,09	-	0,41	0,35	0,13	-
Zn (mg/L)	0,22	0,21	0,12	-	0,23	0,21	0,11	-	0,19	0,19	0,14	-
Pb (mg/L)	0,04	0,04	-	-	0,03	0,03	-	-	0,04	0,03	-	-
BOİ ₅ (mg/L)	378	255	145	-	423	242	198	-	445	256	223	-
KOİ (mg/L)	345	314	170	-	516	413	133	-	424	386	111	-
SAR	5,45	3,93	3,25	0,28	4,91	4,88	2,72	0,30	4,26	3,74	2,62	0,37
RSC	2,18	1,07	0,21	0,34	1,42	1,31	0,79	0,19	2,79	1,32	1,51	0,88
%Na	51,8	40,4	38,2	6,5	45,7	44,3	40,3	7,7	41,6	39,0	38,6	9,4
FCcfu/100 ml	1152	1143	723	-	1275	873	489	-	1367	1243	854	-

Denemede kullanılan suların pH'ları 2010 yılı için 7,05-8,03 arasında değerler alırken 2011 yılı için 7,04-7,92 arasında değerler almıştır. Arıtma düzeyi azaldıkça pH artmıştır. Su kirliliği kontrol yönetmeliğinde sulama sularının uygun pH değeri 6.5-8.5 arasındadır. Her iki deneme yılında alınmış su örneklerinin pH'ları su kirliliği kontrol

yönetmeliğinin vermiş olduğu sınırlar içerisinde. FAO'ya (1985) göre de sulama açısından herhangi bir sorun oluşturmayacağı görülmektedir. Fakat Pescod'a (1992) göre atık su konularının pH değerleri damla sulama sisteminde 'az-orta' derecede tıkkama problemine neden olabilir.

Her iki deneme yılı su analiz sonuçlarına göre elektriksel iletkenlik (EC) değerleri atık su (A) konusunda en yüksek değerleri alırken en düşük değerler temiz su (D) konusunda saptanmıştır. 2010 yılında denemede kullanılan su örneklerinin elektriksel iletkenlikleri atık su (A) konularında 1.78 -1.93 dS/m, havalandırılmış atık su (B) konularında 1,82-1,92 dS/m, yarı yarıya temiz suyla seyreltilmiş atık su (C) konularında 1,16-1,34 dS/m ve temiz su konularında (D) 0,45-0,47 dS/m arasındadır. 2011 yılında denemede kullanılan su örneklerinin elektriksel iletkenlikleri ise atık su (A) konularında 1.83 -1.89 dS/m, havalandırılmış atık su (B) konularında 1,80-1,90 dS/m, yarı yarıya temiz suyla seyreltilmiş atık su (C) konularında 1,18-1,22 dS/m ve temiz su konularında (D) 0,39-0,42 dS/m arasında bulunmuştur. Atık su, havalandırılmış atık su ve seyreltilmiş atık su temiz sular SKKY'nde (Anonim 1991) verilen 3. Sınıf (0,75-2,00 dS/m) kullanılabilir sulara girerken temiz sular 2. Sınıf (0,25-0,75 dS/m) iyi sular sınıfına girmektedir. FAO'ya (1985) göre temiz su konusu dışındaki diğer konuların tamamı 0,7-3,0 dS/m arasında değerler aldığından sulama suyu olarak kullanılmasının ileride bazı sorunlara neden olabilecektir. Temiz su konusu ise sorunsuz sular sınıfına girmektedir.

Bir suyun sulamaya uygunluğunun belirlenmesinde suyun tuzluluğu ve pH'sının yanında bitkiye zehirlenme (toksik) etkisi yaparak gelişmeyi ve ürün verimini etkileyen bazı özel iyonların konsantrasyonlarının da bilinmesi gerekmektedir. Sulama suyunda bulunan zehirleyici etkisi bulunan iyonlar; bor, klor ve sodyum dur. Söz konusu iyonlar, tek tek veya birlikte zararlı olabilirler (Kanber ve Ünlü 2010).

Her iki deneme yılında kullanılan suların bor değerleri, 0,07- 0,23 mg/L arasında değerler almaktadır. Genellikle bitkilerin B zararından etkilenmemesi için maksimum izin verilebilir B miktarı tüm topraklar üzerinde sürekli olarak kullanılacak sular için EPA (Environmental Protection Agency) limitlerine göre 0,75 mg/L'dir. Genellikle 0.5

mg/L'lik bir miktar hemen hemen tüm bitkiler için güvenli bir kriter olarak kullanılabilir (Bouwer ve Idelovitch, 1987). Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine (Anonim 1991) göre 0,5 mg/L den düşük konsantrasyonda Bor içeren sular I. Sınıf; diğer bir anlatımla 'çok iyi sular' dır. Denemede kullanılan bütün suların bor miktarları 0,5 mg/L den düşük konsantrasyonlarda olduğundan SKKY'ne (Anonim 1991) göre I. Sınıf sular yani çok iyi sular sınıfına girmektedir.

2010 yılında denemede kullanılan su örneklerinde belirlenen klor değerleri atık su (A) konusunda 0,87 -1,12 me/L arasında, havalandırılmış atık su (B) konusunda 0,87-1,32 me/L arasında seyreltilmiş atık su (C) konusunda 0,46- 0,86 me/L arasında ve temiz su konusunda ise 0,22-0,30 me/L arasında değerler almıştır. Denemenin ikinci yılında (2011) kullanılan su örneklerinde belirlenen klor değerleri ise atık su (A) konusunda 1,53-1,67 me/L arasında, havalandırılmış atık su (B) konusunda 1,38-1,82 me/L arasında, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 0,48- 0,75 me/L arasında ve temiz su konusunda ise 0,21-0,35 me/L arasındadır. FAO (1985) sulama suyu sınıflama rehberinde 4 me/L den düşük suların sorunsuz sular olduğu belirtilmiştir. Her iki yıl deneme konularında kullanılan suların tamamı 4 me/L den düşük değerler aldığından su örneklerindeki klor miktarlarına göre sulama suları sorunsuz sular sınıfına girmektedir.

Denemenin ilk yılı kullanılan su örneklerinden belirlenen sodyum değerleri atık su (A) konusunda 5,77-7,48 me/L arasında, havalandırılmış atık su (B) konusunda 7,38-8,57 me/L arasında, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 4,33- 5,73 me/L arasında ve temiz su konusunda ise 0,35-0,42 me/L arasında belirlenmiştir. Denemenin ikinci yılı kullanılan su örneklerinde belirlenen sodyum değerleri ise atık su (A) konusunda 6,43-8,71 me/L arasında, havalandırılmış atık su (B) konusunda 6,31-8,18 me/L arasında, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 3,21- 5,12 me/L arasında ve temiz su konusunda ise 0,33-0,39 me/L arasındadır. FAO (1985) sulama suyu sınıflama rehberinde sodyum zararını yağmurlama sulama yönteminde sodyum miktarını dikkate alarak 3 me/L' den düşük sular sorunsuz sular, 3 me/L' den büyük sular ise sorunlu sular olarak değerlendirirken, yüzey sulama yöntemleri için SAR değerleri göz önüne alınarak SAR değeri 3'den

küçük olan suları sorunsuz sular, 3 ila 9 arasında değer alan sular sorunda artış yaratan ve 9'dan büyük olan suların ise şiddetli sorun yaratan sular olduğu tanımlanmıştır.

Çizelge 4.6 ve 4.7'deki SAR değerleri incelendiğinden temiz su konusu dışındaki diğer tüm konular 2,62-5,45 arasında değerler almışlardır. Bu da söz konusu suların yüzey sulama yöntemleriyle kullanılması durumunda uzun vadede bazı sorunlara neden olabileceğini işaret etmektedir. Yine söz konusu suların yağmurlama sulama yöntemiyle uygulanması durumunda temiz su konusu dışındaki tüm su konularında 3 me/L den büyük değerler belirlendiğinden sodyum yönünden sorunlu sular sınıfına girmektedir. Aynı zamanda SAR değeri 4-8 arasında olan sular, sodyuma duyarlı bitkilere zarar vermektedir (Munsuz ve Ünver 1995). Sodyum fazlalığı kil partiküllerinin agregatlaşması yerine disperse olmasına ve bazı durumlarda da şişmesine neden olur. Bu; düşük poroziteyi, kötü geçirimsizliği, ıslak olduğunda kötü havalanma ve kurak olduğunda derin çatlaklarla yayılan büyük keseklere sahip topraklar ortaya çıkarır. Böyle topraklar hem kurak hem de nemli olduğunda tarım aletleriyle çalışmayı güçleştirir ve bunların pH'sı genellikle yüksek olur (Shuval *et al.*, 1986; Karataş vd 2005). Deneme konusu su örneklerinin hesaplanan %Na değerleri incelendiğinde temiz su konusu haricindeki atık su konularının tamamına yakını SKKY'ne (Anonim 1991) göre III. sınıf (40-60) kullanılabilir sular sınıfına girerken temiz su konusu 5,2-9,4 arasında değerler alarak I. sınıf sular sınıfına girmektedir.

Sulama sularında bulunan sülfat (SO_4), toprakta tuzluluğun artmasından çok diğer özelliklerine etki eder. SO_4 'ın bulunması bitkiler için faydalıdır (Kanber ve Ünlü 2010). Deneme sularının SO_4 konsantrasyonları denemenin ilk yılı atık su (A) konusunda 4,25-6,32 me/L arasında, havalandırılmış atık su (B) konusunda 5,32-6,28 me/L arasında, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 3,22- 3,98 me/L arasında ve temiz su konusunda ise 0,45-0,55 me/L arasında değerler almıştır. Denemenin ikinci yılı kullanılan su örneklerinde belirlenen sülfat konsantrasyonları ise atık su (A) konusunda 5,32-5,88 me/L arasında, havalandırılmış atık su (B) konusunda 5,22-5,85 me/L arasında, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 2,98- 3,38 me/L arasında ve temiz su (D) konusunda ise 0,45-0,51 me/L arasında değerler almıştır. SKKY'ne (Anonim 1991) göre her iki

deneme yılı içinde atık su (A) konusu ve havalandırılmış atık su (B) konusu 4-7 me/L SO_4 konsantrasyonuna sahip II. Sınıf yani 'iyi su' sınıfında iken, seyreltilmiş atık su (C) ve temiz su (D) konusu ise 4 me/L'den düşük SO_4 konsantrasyonu ile I. Sınıf 'çok iyi su' sınıfına girmektedir.

Her iki deneme yılında kullanılan atık su (A), havalandırılmış atık su (B), seyreltilmiş atık su (C) konularında belirlenen toplam azot (TN) değerleri, 5,98- 14,90 mg/L arasındadır. Bütün atık su konuları sınır değeri olan 5 mg/L'yi geçmiş ve kullanılamaz değerleri taşımakta iken sadece temiz su konusu toplam azot içermediğinden kullanılabilir sular sınıfındadır.

Birçok toprak 5-10 mg/L dolayında 'normal' Fosfor (çoğunlukla PO_4 olarak) konsantrasyonlarına sahip olan kanalizasyon atık suyu ile başarılı bir şekilde sulanmaktadır (Bouwer ve Idelovitch, 1987). Her iki deneme yılında kullanılan atık su (A), havalandırılmış atık su (B), seyreltilmiş atık su (C) konularında belirlenen toplam fosfor (TP) değerleri, 4,98- 9,89 mg/L arasında değerler almaktadır. Elde edilen analiz sonuçları 10 mg/L değerinden düşük konsantrasyonlarda olduğundan; atık su içeren suların sulama suyu olarak kullanılabileceği görülmektedir. Topraklar genellikle P için yüksek bir adsorplayıcı kapasiteye sahiptir. Kumlu topraklarda aşırı P uygulamaları, fosforun yıkanmasına ve yer altı suyunun P ile kirlenmesine neden olabilir. Atık sudaki fosfor konsantrasyonları 1-5 mg/L ise atık su ile sağlanan P miktarı, çoğu bitki ve toprak için normal su uygulamasında gübre olarak verilen ile aynı olmaktadır (Bouwer and Idelovitch 1987; Karataş vd 2005).

Askıda katı madde (AKM), yağmurlama sulamada yağmurlama başlık memelerinin ve damla sulamada damlatıcıların tıkanması açısından önemlidir (Ayyıldız, 1990; Karataş vd 2005). Aboukhalel (1992) ve Pescod'a (1992) göre damla sulama sisteminde bir tıkanma problemine neden olmaksızın 50 mg/L'ye kadar AKM değeri taşıyan sular kullanılabilir. Denemenin ilk yılı kullanılan su örneklerinden belirlenen AKM değerleri atık su (A) konusunda 98-114 mg/L arasında, havalandırılmış atık su (B) konusunda 103-116 mg/L arasında ve seyreltilmiş atık su (C) konusunda 52- 65 mg/L arasındadır.

Denemenin ikinci yılı kullanılan su örneklerinde belirlenen AKM değerleri ise atık su (A) konusunda 108-114 mg/L arasında, havalandırılmış atık su (B) konusunda 98-108 mg/L arasında ve seyreltilmiş atık su (C) konusunda 51- 55 mg/L arasında değerler almıştır. Temiz su (D) konusunda ise AKM bulunmamıştır. SKKY'ne (Anonim 1991) göre her iki yılın atık su (A) ve havalandırılmış atık (B) su konularının AKM değerleri 100 mg/L den büyük olduğu için V. Sınıf olan “zararlı” su olarak kabul edilmektedir. Seyreltilmiş atık su konusu (C) ise III. Sınıf “kullanılabilir” su sınıfına girmektedir.

BOİ₅ veya KOİ değerleri yüksek olan sular, topraktaki oksijeni azaltıp indirgenme koşulları yaratabilirler (Munsuz ve Ünver, 1995). Her iki yılda sulama suyu örneklerinden belirlenen kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerleri atık su (A), havalandırılmış atık su (B) ve seyreltilmiş atık su (C) konularında 111-553 mg/L arasında olup, sınır değerlerin oldukça üstündedir. Yine aynı konulardan belirlenen biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅) değerleri de 143-456 mg/L arasındadır. BOİ₅ değerleri açısından atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konuları SKKY (Anonim 1991) kriterlerine göre V. Sınıf “zararlı” sular sınıfına girerken, seyreltilmiş atık su (C) konuları IV. Sınıf “ihtiyatla kullanılması gereken” sular sınıfındadır.

Sulama sularında Artık Sodyum Karbonat (RSC) içeriği, toprakların fiziksel özelliklerini bozmakta ve siyah Alkali diye tanımlanan sodyumlu toprakların oluşmasına neden olmaktadır (Kanber ve Ünlü 2010). Sulama sularında izin verilebilir en yüksek RSC miktarı 2,5 me/L kabul edilmektedir (Eaton 1950). Her iki yıl için denemede kullanılan su örneklerinin RSC değerleri atık su (A) konularında 1,28 -2,79 me/L, havalandırılmış atık su (B) konularında 0,49-2,01 me/L, yarı yarıya temiz suyla seyreltilmiş atık su (C) konularında 0,21-1,51 me/L ve temiz su konularında (D) 0,15-0,88 me/L arasında değerler almıştır. 2011 Ağustos döneminde atık su konusu (A) 2,79 değeri ile 2,5 me/L den büyük olduğu için sulamada kullanılması önerilmeyen sular sınıfına girmektedir. Atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularının büyük bir kısmı da 1,25-2,5 me/L arasında değerler aldığından Eaton'a (1950) göre uygun işletme koşullarında iyileştiricilerle birlikte kullanılması gereken sular sınıfına girmektedir.

Kentsel atık suların kullanılmasında ele alınması gereken en önemli konu, içeriğindeki patojenlerdir. Mikrobiyolojik kirlenme, sadece söz konusu sularla doğrudan temas halinde olan çevreyi değil, yaşamın her alanını ilgilendiren bir olgudur ve sulama suları için en önemli kısıtlayıcı faktördür. Mikrobiyolojik analizler sonucunda, her iki yıl alınan su örneklerinde atık sularda bakılan fekal koliform 489- 2453 cfu/100 ml arasında değerler almıştır, atık ve havalandırılmış atık sular SKKY'ne (Anonim 1991) göre V. Sınıf “kullanılması sakıncalı” sular sınıfına girerken, seyreltilmiş atık sular ise IV. Sınıf “ihtiyatla kullanılması gereken” sular sınıfına girmektedir. Temiz su konularında ise herhangi bir fekal koliform kalıntısına rastlanmamıştır.

Deneme sularının ağır metal içerikleri incelendiğinde, Pb 0,02-0,07 mg/L, Zn 0,11-0,28 mg/L, Ni 0,03-0,09, Fe 1,29-4,31 mg/L arasında değerler almışlardır. Bu değerler SKKY'inde (1991) verilen sınır değerleri altında bulunurken, Mn 0,09-0,41 mg/L, Cd 0,03-0,12 mg/L ve Cu 0,10-0,23 mg/L arasındaki konsantrasyonları ile pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi topraklarda 24 yıldan daha az sulama yapıldığı durumlarda verilen yönetmelik sınır değerlerini aşmadığı görülmektedir.

Damla sulama sistemlerinde kullanılan damlatıcılar, sulama suyunda bulunan çeşitli katı parçacıklar ve organik maddeler ile suda eriyebilir kimyasal maddelerin çökmesi ve mikroorganizma faaliyetleri sonucunda oluşan ürünler ile kolaylıkla tıkanabilmekte ve bu sistemlerin kullanımında en önemli sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Ca, Mg ve HCO_3 iyonlarının yüksek konsantrasyonları, yüksek pH ve sıcaklık kimyasal tıkanmaya neden olan faktörlerdir. Kapalı sulama sistemlerinde kullanılan sulama sularının pH değerinin 6–6,5 dolayında olması önerilmektedir (Tüzel ve Anaç, 1991). Damla sulamada kullanılan suyun pH değerinin 7,5'ten büyük olması ve yüksek düzeyde Ca ve Mg içermesi durumunda CaCO_3 ve MgCO_3 şeklinde çökelmelere neden olduğundan tıkanmalar oluşmaktadır (Şahin vd 1998). Yapılan analizler sonucunda genel olarak pH değerleri, atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında 7,5' ten daha yüksek olurken seyreltilmiş atık su (C) ve temiz su (D) konularında genelde 7,5'ten küçük ölçülmüştür. Ayrıca Ca ve Mg tuzları atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında diğer konulara göre daha yüksek olmuştur. Bu da daha sonraki bölümde

verilen sistem performansı düşüklüğünün bir sebebi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ca ve Mg iyonları aynı zamanda sularda sertliğe neden olan iyonlardır. Suların sertliğinin artması, toprakların strüktürel açıdan iyileşmesine katkı sağladığı için sert sular tercih edilir (Sağlam ve Adiloğlu 1997).

Çizelge 4.6 ve 4.7'deki değerlere göre su kalitesinde deneme yıllarında ve örnekleme dönemlerinde önemli değişiklikler olmamıştır. Su kalitelerinde önemli bir farklılık gözlenmemesinin sebebi olarak ta kullanılan suyun kentsel atık su olması ve endüstriyel kirleticilerin mevcut atık su kaynaklarına karışmaması olarak düşünülebilir.

4.2. Toprak Özelliklerinde Değişimler

Topraklar ilave edilen kimyasallara karşı su ve havayla kıyaslandığında tamponlama gücü yüksek olan sistemlerdir. Ancak sisteme ilave edilen kirleticilere bağlı oluşan sorunlar da o ölçüde karmaşık, zor ve düzeltilmesi masraflıdır. Toprak kirlenmesine sebep olan kirleticilerin en önemlisi kirlenmiş sulardır (Sağlam ve Bellitürk 2003).

Toprak, sulama suyundaki maddelerle fiziksel ve kimyasal tepkimelere girebilen organik ve mineral maddelerin oluşturduğu karmaşık bir yapıdır. Sulama sonucu toprağa eklenen maddeler bitkiye yararışlı durumda kalabilir, toprak özelliklerine bağlı olarak fikse ve yararışsız duruma geçebilir ya da daha aşağılara yıkanıp uzaklaşabilir. Ancak topraklar fizikokimyasal özellikler yönünden çok ayrımlı oldukları için, belli nitelikteki bir sulama suyunun bitki kök bölgesindeki etkisi de çok değişken olmaktadır (Munsuz ve Ünver 1995). Ergene (1993) atık su ve arıtma çamurunun toprağın organik madde miktarını artırdığını ve toprağın fiziksel özellikleri üzerine olumlu etki yaptığını belirtmiştir. Ancak atık su ve arıtma çamurunun bitki besin elementi sağlarken bazı problemleri de beraberinde getireceğini bildirmiştir. Bu problemleri topraktaki pH değerinin, tuzların, ağır metallerin ve bitkiye toksik olan maddelerin yükselmesi olarak belirtmiştir. Bu çalışmada atık su ile sulamanın toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile suyun toprağa girişine (infiltrasyon) etkisi belirlenmiştir.

4.2.1. Toprakların fiziksel özellikleri

Ekim öncesi 0-20 ve 20-40 cm profil derinliklerinden alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinde belirlenen fiziksel özelliklerden; kütle yoğunluğu, tarla kapasitesinde tutulan nem, solma noktasında tutulan nem değerleri ile kil, kum ve silt yüzdelere göre bünye sınıfları Çizelge 4.8’de verilmiştir. Topraklar orta bünyeli olup yarıyışlı su tutma kapasiteleri 55 mm / 40 cm’ dir.

Çizelge 4.8. Ekim öncesi deneme alanında belirlenen bazı fiziksel toprak özellikleri

Toprak Derinliği (cm)	Kütle Yoğunluğu (g/cm³)	Solma Noktası (%)	Tarla Kapasitesi (%)	% Kil	% Silt	% Kum	Bünye Sınıfı
0-20	1,22	19,2	31,7	30,2	34,4	35,4	Killi Tın
20-40	1,25	18,3	28,1	24,7	32,7	42,6	Tın

2010 ve 2011 yıllarında hasat sonrası 0-20 ve 20-40 cm profil derinliklerinden alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinde belirlenen; kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, tarla kapasitesinde tutulan nem, solma noktasında tutulan nem, toplam porozite ve agregat stabilitesi değerleri ile varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.9 ve 4.10’da verilmiştir. Yine aynı toprak derinliklerinden alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinin farklı tansiyonlarda tutukları nem değerlerinden elde edilen pF eğrileri (Şekil 4.8, Şekil 4.9, EK 1, EK 2, EK 3 ve EK 4) kullanarak belirlenmiş olan gözenek büyüklük dağılımları da Şekil 4.10, 4.11...4.17’de ve EK 5, EK 6, EK 7 ve EK 8’de verilmiştir.

0-20 cm toprak derinliğindeki deneme topraklarının kütle yoğunluğu, her iki yıl ve her iki bitki yetiştirilen alan için, atık su (A) konusunda 1,23-1,25 g/cm³, havalandırılmış atık su (B) konusunda 1,25-1,26, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 1,24-1,27 g/cm³, temiz su (D) konusunda 1,27-1,28 g/cm³ arasında değerler alırken, 20-40 cm toprak derinliğindeki deneme toprakları hacim ağırlıkları ise, atık su (A) konusunda 1,27-1,28 g/cm³, havalandırılmış atık su (B) konusunda 1,26-1,28, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 1,27-1,29 g/cm³, temiz su (D) konusunda 1,29-1,32 g/cm³ arasında değerler

almıştır. Çalışma alanındaki en düşük kütle yoğunluğu, 2010 yılında $1,23 \text{ g/cm}^3$ olarak 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusu ile sulanmış kırmızı lahana yetiştirilen alanda belirlenirken en yüksek kütle yoğunluğu, 2011 yılında $1,32 \text{ g/cm}^3$ olarak 20-40 cm derinliğinde temiz su (A) konusu ile sulanmış karnabahar yetiştirilen alanda belirlenmiştir. Çizelge 4.9'da verilen varyans analiz sonuçlarından 2010 yılında karnabahar yetiştirilen alandan elde edilen kütle yoğunluğu değerleri için deneme konuları arasında $P<0,01$ önemlilik düzeyinde bir farklılık olduğu görülmüştür. Yine aynı yıl kırmızı lahana yetiştirilen konular arasında istatistiksel açıdan bir fark gözlenmemiştir. 2011 yılı varyans analiz sonuçları incelendiğinde, karnabahar yetiştirilen alanda konular arasında $P<0,01$ önemlilik düzeyinde bir farklılık olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.10). Aynı yıl kırmızı lahana yetiştirilen alanda 0-20 cm toprak derinliğinde $P<0,01$ önemlilik düzeyinde konular arasında bir farklılık olduğu gözlenirken, 20-40 cm toprak derinliğinde istatistiksel açıdan bir fark gözlenmemiştir. Deneme konuları arasındaki farklılığı belirlemek için yapılan Duncan testi sonucunda, en büyük kütle yoğunluğu değerleri temiz su (D) konularında belirlenirken, atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında daha düşük değerler belirlenmiştir.

Genel olarak atık su (A) konusunun kütle yoğunluğu temiz su (D) konusuna göre karnabaharda 0-20 cm toprak derinliğinde %2,3; 20-40 cm toprak derinliğinde %3,4; kırmızı lahanada 0-20 cm toprak derinliğinde %3,1; 20-40 cm toprak derinliğinde %1,9 daha az olmuştur.

Deneme alanı tane yoğunlukları 2,51-2,53 arasında bulunmuştur. Her iki deneme yılı, bitki ve toprak derinliği göz önüne alındığında toprak örneklerinin tane yoğunlukları için yapılan varyans analizi sonucunda 2011 yılı karnabahar bitkisi deneme alanının 0-20 cm toprak derinliğinde konular arasında istatistikî olarak $p<0,01$ önemlilik düzeyinde bir farklılık olduğu gözlenirken, diğer konularda bir fark gözlenmemiştir.

Deneme alanında ağırlık yüzdesi olarak belirlenen tarla kapasitesi değerleri 0-20 cm toprak derinliğinde her iki deneme yılı ve her iki bitki yetiştirilen alan için %29,4-33,2 arasında, solma noktası değerleri ise %19,0-21,1 arasında belirlenmiştir (Çizelge 4.9).

En yüksek tarla kapasitesi değeri ilk deneme yılında kırmızı lâhana yetiştirilen alanda atık su (A) konusunda, en düşük tarla kapasitesi değeri ise 2011 deneme yılında, kırmızı lahana yetiştirilen alanda temiz su (D) konusunda saptanmıştır. En yüksek solma noktası 2011 deneme yılında kırmızı lâhana yetiştirilen alanda havalandırılmış atık su (B) konusunda, en düşük solma noktası ise 2010 deneme yılında, karnabahar yetiştirilen alanda temiz su (D) konusunda olmuştur. 20-40 cm toprak derinliğinde ise deneme alanında belirlenen ağırlık yüzdesi olarak tarla kapasitesi değerleri, her iki deneme yılı ve her iki bitki yetiştirilen alan için %27,2-%30,3 arasında, solma noktası değerleri ise %18,6 - 20,2 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.9) . En yüksek tarla kapasitesi değeri ilk deneme yılında karnabahar yetiştirilen alanda atık su (A) konusunda, en düşük tarla kapasitesi değeri ise 2011 deneme yılında, kırmızı lahana yetiştirilen alanda temiz su (D) konusunda gözlenmiştir. En yüksek solma noktası 2011 deneme yılında karnabahar yetiştirilen alanda atık su (A) konusunda, en düşük solma noktası ise 2010 deneme yılında, karnabahar yetiştirilen alanda temiz su (D) konusunda belirlenmiştir.

2010 yılında karnabahar yetiştirilen alandaki tarla kapasitesi değerlerinin varyans analizi sonuçları incelendiğinde deneme konuları arasında 0-20 toprak derinliğinde $P<0,01$ önemlilik düzeyinde, 20-40 cm toprak derinliğinde $P<0,05$ önemlilik düzeyinde farklılık olduğu görülmüştür. Aynı yıl kırmızı lahana yetiştirilen alanda konular arasında 0-20 cm toprak derinliğinde $P<0,01$ önemlilik düzeyinde farklılık gözlenirken, 20-40 cm toprak derinliğinde $P<0,05$ önemlilik düzeyinde fark gözlenmiştir. 2011 yılında da her iki bitki ve toprak derinliği için konular arasında $P<0,01$ önemlilik düzeyinde farklılık gözlenmiştir. 2010 yılında karnabahar yetiştirilen alandan elde edilen solma noktası değerleri incelendiğinde deneme konuları arasında her iki toprak derinliğinde $P<0,01$ önemlilik düzeyinde farklılık olduğu saptanmıştır. Aynı yıl kırmızı lahana yetiştirilen alanda konular arasında her iki toprak derinliğinde istatistiksel olarak bir fark gözlenmemiştir. 2011 yılında ise her iki bitki ve toprak derinliği için konular arasında $P<0,01$ önemlilik düzeyinde farklılık gözlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre en büyük tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında belirlenirken, temiz su (D) ve seyreltilmiş atık su (D) konularında daha düşük değerler belirlenmiştir.

Atık su (A) konusunun tarla kapasitesi iki yılın ortalama değerleri gözönüne alındığında temiz su (D) konusuna göre karnabaharda 0-20 cm toprak derinliğinde %2,3; 20-40 cm toprak derinliğinde %0,8; kırmızı lahanada 0-20 cm toprak derinliğinde %11,7; 20-40 cm toprak derinliğinde %8,0 daha yüksek olmuştur. Atık su (A) konusunun solma noktası değerleri ise temiz su (D) konusuna göre karnabaharda 0-20 cm toprak derinliğinde %4,2; 20-40 cm toprak derinliğinde %5,8; kırmızı lahanada 0-20 cm toprak derinliğinde %3,3; 20-40 cm toprak derinliğinde %3,6 daha yüksektir.

Her iki deneme yılı ve her iki bitki deneme alanı 0-20 ve 20-40 cm toprak derinliklerinde belirlenen toplam porozite değerleri, %47,6- 51,3 arasında değerler almıştır. En yüksek değer 2010 yılında kırmızı lahanaya yetiştirilen alanda 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer ise her iki deneme yılında da 20-40 cm toprak derinliğinde karnabahar yetiştirilen alanda temiz su (D) konusundan elde edilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarından 2010 ve 2011 yıllarında karnabahar yetiştirilen alandan elde edilen toplam porozite değerleri için deneme konuları arasında her iki toprak derinliğinde de $P<0,01$ önemlilik düzeyinde farklılık olduğu görülmüştür. 2010 yılı kırmızı lahanaya yetiştirilen alandan elde edilen varyans analizi sonuçlarına göre 0-20 cm toprak derinliğinde istatistiksel olarak bir fark bulunmazken, 20-40 cm toprak derinliğinde $P<0,05$ önem seviyesinde farklılık olduğu gözlenmiştir. 2011 yılında ise 0-20 cm toprak derinliğinde $P<0,01$ önemlilik düzeyinde farklılık gözlenirken 20-40 cm toprak derinliğinde fark bulunmamıştır. Duncan testi sonuçlarına göre en yüksek porozite değerleri genel olarak atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında gözlenirken temiz su (D) ve seyreltilmiş atık su (C) konularında daha düşük değerler belirlenmiştir.

Atık su (A) konusunun toplam porozitesi iki yılın ortalama değerleri dikkate alındığında temiz su (D) konusuna göre karnabaharda 0-20 cm toprak derinliğinde %2,7, 20-40 cm toprak derinliğinde %4,4, kırmızı lahanada 0-20 cm toprak derinliğinde %3,5, 20-40 cm toprak derinliğinde %2,1 daha yüksek olmuştur. Atık su (A) ve havalandırılmış atık

su (B) konularında belirlenen daha düşük kütle yoğunlukları, bu konularda daha yüksek porozite değerlerinin gözlenmesine neden olmuştur.

Islak eleme yöntemiyle belirlenen agregat stabilite değerleri, her iki deneme yılı ve her iki bitki alanı 0-20 cm toprak derinliklerinde %31,7- 60,7 arasında değerler almıştır. En yüksek değer 2011 deneme yılında karnabahar yetiştirilen alanda ve atık su (A) konusunda belirlenirken en düşük değer ise 2011 yılında kırmızı lahana yetiştirilen temiz su (D) konusunda belirlenmiştir. 20-40 cm toprak derinliklerinde belirlenen agregat stabilite değerleri ise, her iki deneme yılı ve her iki bitki deneme alanı için %31-55 arasında olmuştur. En yüksek stabilite değeri 2011 deneme yılında kırmızı lahana yetiştirilen alanda ve havalandırılmış atık su (B) konusunda belirlenirken en düşük değer yine 2011 yılında kırmızı lahana yetiştirilen alanda temiz su (D) konusunda saptanmıştır. Denemenin ikinci yılında atık su konularındaki agregat stabilite değerleri ilk yıl değerlerinden daha yüksektir. Temiz su konusunda ise ikinci yıl genel olarak bir azalma söz konusudur.

Her iki deneme yılına ilişkin agregat stabilitesi varyans analiz sonuçları incelendiğinde karnabahar yetiştirilen alanda konular arasında $P<0,01$ önem düzeyinde farklılık gözlenirken, kırmızı lahana yetiştirilen alanda denemenin ilk yılı $P<0,05$ önem düzeyinde denemenin ikinci yılında ise $P<0,01$ önem düzeyinde farklılık gözlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre agregat stabilitesi genel olarak atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında daha yüksek değerler alırken, temiz su (D) ve seyreltilmiş atık su (C) konularında daha düşük değerler belirlenmiştir.

Atık su (A) konusunun agregat stabilitesi, iki yılın ortalama değerleri göz önüne alındığında temiz su (D) konusuna göre karnabaharda 0-20 cm toprak derinliğinde %63,3; 20-40 cm toprak derinliğinde %31,4; kırmızı lâhanada 0-20 cm toprak derinliğinde %59,1; 20-40 cm toprak derinliğinde %42,4 daha yüksek olmuştur.

Elde edilen verilerden faydalanarak hesaplanan tarla kapasitesinden düşük tansiyonda tutulan nem (Porozite – TK) ve yarayıslı nem (TK-SN) değerleri açısından; 0-40 cm

toprak derinliği için düşük tansiyonda tutulan nem değerleri sulama konuları açısından incelendiğinde karnabaharda temiz su konusunda daha düşük, kırmızı lahanada ise temiz su konusundan daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Yarayışlı nem değerleri incelendiğinde ise karnabaharda temiz su konusundan daha yüksek, kırmızı lahanada ise daha düşük değerler elde edilmiştir. Her iki deneme yılı ortalama değerleri göz önüne alındığında düşük tansiyonda tutulan nem değerleri atık su (A), havalandırılmış atık su (B), seyreltilmiş atık su (C) ve temiz su (D) konularında sırasıyla karnabahar deneme alanında, 0-20 cm toprak derinliğinde %9,4, %7,6, %9,4 ve %8,1; 20-40 cm toprak derinliğinde %8,9, %9,4, %9,6 ve %6,2 olarak hesaplanmıştır. Kırmızı lahana deneme alanında ise yine sırasıyla 0-20 cm toprak derinliğinde %8,3, %7,9, %9,4 ve %9,1; 20-40 cm toprak derinliğinde %9,0, %9,7, %9,3 ve %9,7 olarak hesaplanmıştır. Yine her iki deneme yılı ortalama değerleri göz önüne alındığında yarayışlı nem değerleri atık su (A), havalandırılmış atık su (B), seyreltilmiş atık su (C) ve temiz su (D) konularında sırasıyla karnabahar, 0-20 cm toprak derinliğinde %10,8, %12,0, %11,0 ve %10,9; 20-40 cm toprak derinliğinde; %10,1, %10,0, %9,1 ve %11,0, olarak bulunmuştur. Kırmızı lahana deneme alanında ise yine sırasıyla 0-20 cm toprak derinliğinde %12,5, %12,0, %10,3 ve %9,7; 20-40 cm toprak derinliğinde %9,7, %9,6, %8,6 ve %8,2'dir.

Atık su uygulamalarının toprakların ktle yoğunluğu, tarla kapasitesinde tutulan su, yarayışlı su, porozite ve agregat stabilitesi gibi bitki yetiştiriciliği açısından önemli toprak fiziksel özellikleri üzerine etkileri pozitif olmuştur. Genel olarak atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında ktle yoğunlukları daha düşük, diğer parametreler daha yüksek bulunmuştur. Atık su uygulamalarıyla toprağa organik madde katkısı, suyun kimyasal özelliklerinden gelen katkılar (zellikle Ca) ve biyolojik unsurların bağlayıcı etkisi atık su uygulamalarında daha yüksek agregat stabilitesi değerlerine neden olmuştur. Agregatlaşmanın artması da ktle yoğunluğunu düşürüp poroziteyi ve tarla kapasitesinde tutulan su miktarını artırarak yarayışlı su tutma kapasitesini artırmıştır. Yapılan birçok çalışmada da atık su uygulamalarının toprakların fiziksel özelliklerinin geliştirdikleri belirlenmiştir. Shahalam *et al.* (1997) yaptıkları bir çalışmada atık su uygulanan alanların toplam porozitelerinin temiz suyla sulanan alanlarınkinden yaklaşık %2 daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Canpolat vd (1996)

fiziksel özellikleri bozuk olan kumlu toprağı ıslah etmek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. İslah maddesi olarak organik kökenli çiftlik gübresi ve çöp kompostu kullandıkları bu çalışmanın sonucunda organik materyal uygulamasının toprağın organik madde miktarını artırırken, kütle yoğunluğu, porozitesi ve su tutma kapasitesi gibi bazı fiziksel özellikleri üzerinde de çok önemli ($P<0.01$) bir etki ortaya çıkarttığını, buna karşılık agregat stabilitesi üzerinde etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Khaleel *et al.* (1981) bir çalışmalarında organik katı atıkların (evsel atıklar, çiftlik gübresi ve atık çamur) toprakların fiziksel özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Sonuçta söz konusu atıkların toprakların porozitesini, tarla kapasitesini ve solma noktasını artırırken, kütle yoğunluğunda bir azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bazı çalışmalarda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır (Mojiri 2011; Vogeler 2009). Atık su ile sulamanın poroziteyi azaltırken, kütle yoğunluğunu artırdığı yönünde sonuçların saptandığı bazı çalışmalar da yürütülmüştür. Aiello *et al.* (2007) artılmış atık suyu domatesin sulamasında kullanmışlar ve çalışmanın sonucunda atık suyun toprağın porozitesini düşürdüğünü vurgulamışlardır. Walker and Lin (2008) ise uzun yıllar atık su ile sulanan alanlar üzerinde yürüttükleri çalışmalarında 40 yılın sonunda atık su ile sulanan alanların toplam porozitelerinin düştüğünü, kütle yoğunluğunun ise arttığını belirlemişlerdir.

Çizelge 4.9. 2010 yılında 0-20 ve 20-40 cm toprak derinliklerinin; kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, tarla kapasitesinde tutulan nem, solma noktasında tutulan nem, toplam porozite, agregat stabilitesi değerleri ve varyans analizi sonuçları

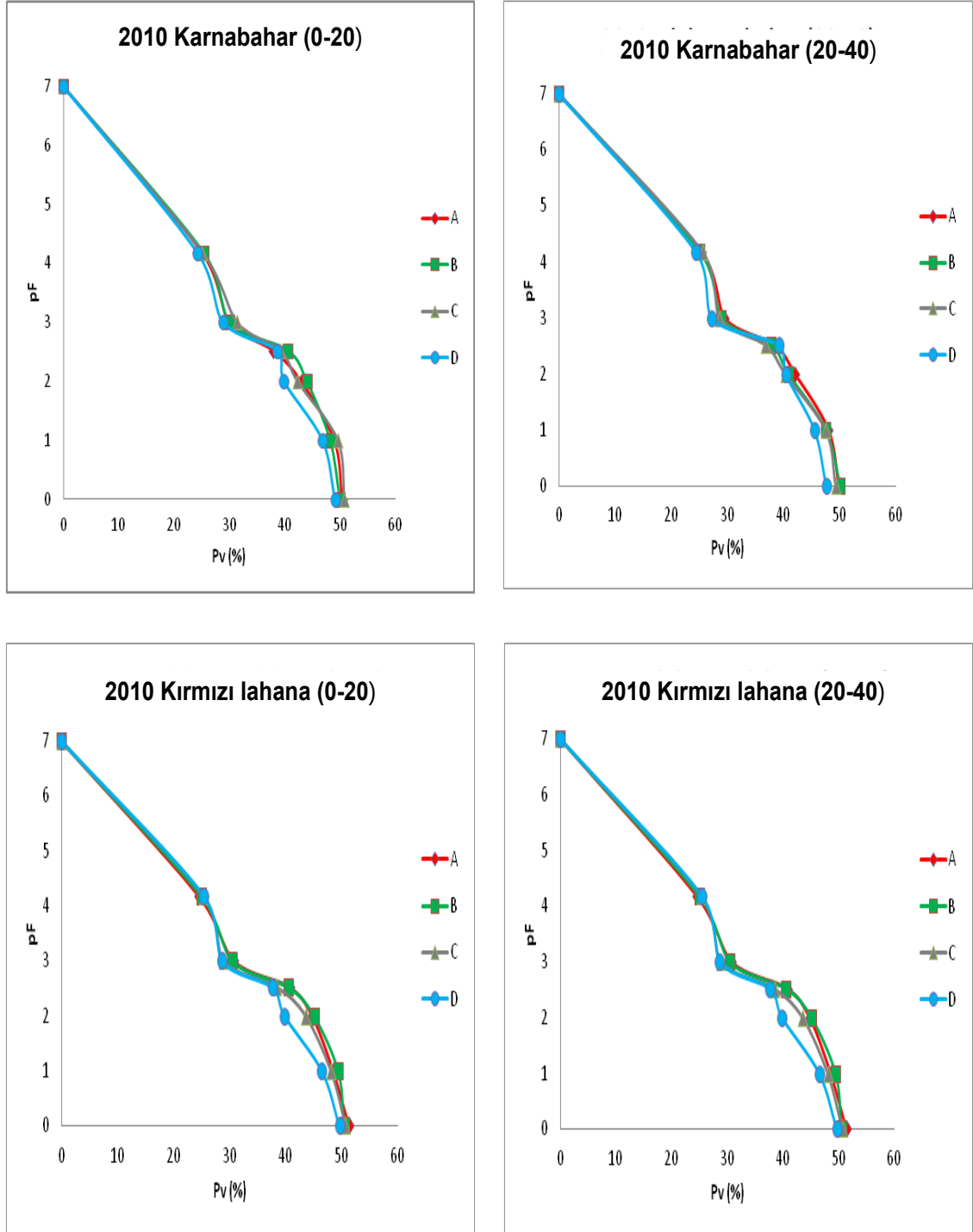
Bitkiler	Derinlik	Konular	Kütle yoğunluğu (g/cm ³)	Tane yoğunluğu	Tarla kapasitesi Pw (%)	Solma Noktası Pw (%)	Toplam Porozite (%)	Agregat stabilitesi (%)
Karnabahar	0-20	A	1,25 c	2,51	30,4 b	20,1 a	50,4 a	52,0 a
		B	1,26 b	2,52	32,2 a	20,1 a	49,9 b	43,7 b
		C	1,24 c	2,52	31,5 a	20,2 a	50,7 a	39,3 c
		D	1,28 a	2,51	30,3 b	19,0 b	49,1 c	35,3 d
		F Konu	22,545	-	18,022	12,312	34,229	40,197
		F Blok	0,273	-	4,579	0,168	1,361	0,942
		P Konu	0,001	-	0,002	0,006	0,001	0,001
		P Blok	0,770	-	0,062	0,849	0,326	0,441
	20-40	A	1,27 bc	2,52	30,3 a	20,1 a	49,8 ab	39,3 ab
		B	1,26 c	2,52	30,0 a	20,0 a	50,1 a	41,7 a
		C	1,27 b	2,51	29,0 b	20,1 a	49,3 b	37,0 bc
		D	1,31 a	2,51	29,8 a	18,6 b	47,6 c	34,7 c
		F Konu	51,308	-	6,767	34,853	47,340	15,077
		F Blok	0,692	-	2,074	1,177	0,529	0,323
		P Konu	0,001	-	0,024	0,001	0,001	0,003
		P Blok	0,536	-	0,207	0,371	0,614	0,736
Kırmızı Lahana	0-20	A	1,23	2,52	33,2 a	20,0	51,3	49,3 a
		B	1,25	2,52	32,5 a	20,0	50,5	42,0 ab
		C	1,25	2,53	30,8 b	20,3	50,7	38,3 b
		D	1,27	2,51	29,7 b	20,1	49,6	35,3 b
		F Konu	3,310	-	17,988	0,538	4,432	6,343
		F Blok	0,034	-	1,059	0,630	0,009	1,928
		P Konu	0,099	-	0,002	0,678	0,058	0,027
		P Blok	0,966	-	0,404	0,565	0,991	0,226
	20-40	A	1,28	2,52	29,3 a	20,1	49,1 a	42,3 a
		B	1,27	2,52	29,1 ab	19,8	49,7 a	43,0 a
		C	1,29	2,52	27,9 b	19,8	48,7 ab	36,0 b
		D	1,31	2,51	27,8 b	19,9	48,0 a	35,7 b
		F Konu	4,190	-	4,616	0,488	4,957	8,330
		F Blok	3,476	-	0,708	0,284	3,514	1,729
		P Konu	0,064	-	0,050	0,703	0,046	0,015
		P Blok	0,099	-	0,530	0,763	0,098	0,255

Çizelge 4.10. 2011 yılında 0-20 ve 20-40 cm toprak derinliklerinin; kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, tarla kapasitesinde tutulan nem, solma noktasında tutulan nem, toplam porozite, agregat stabilitesi değerleri ve varyans analizi sonuçları

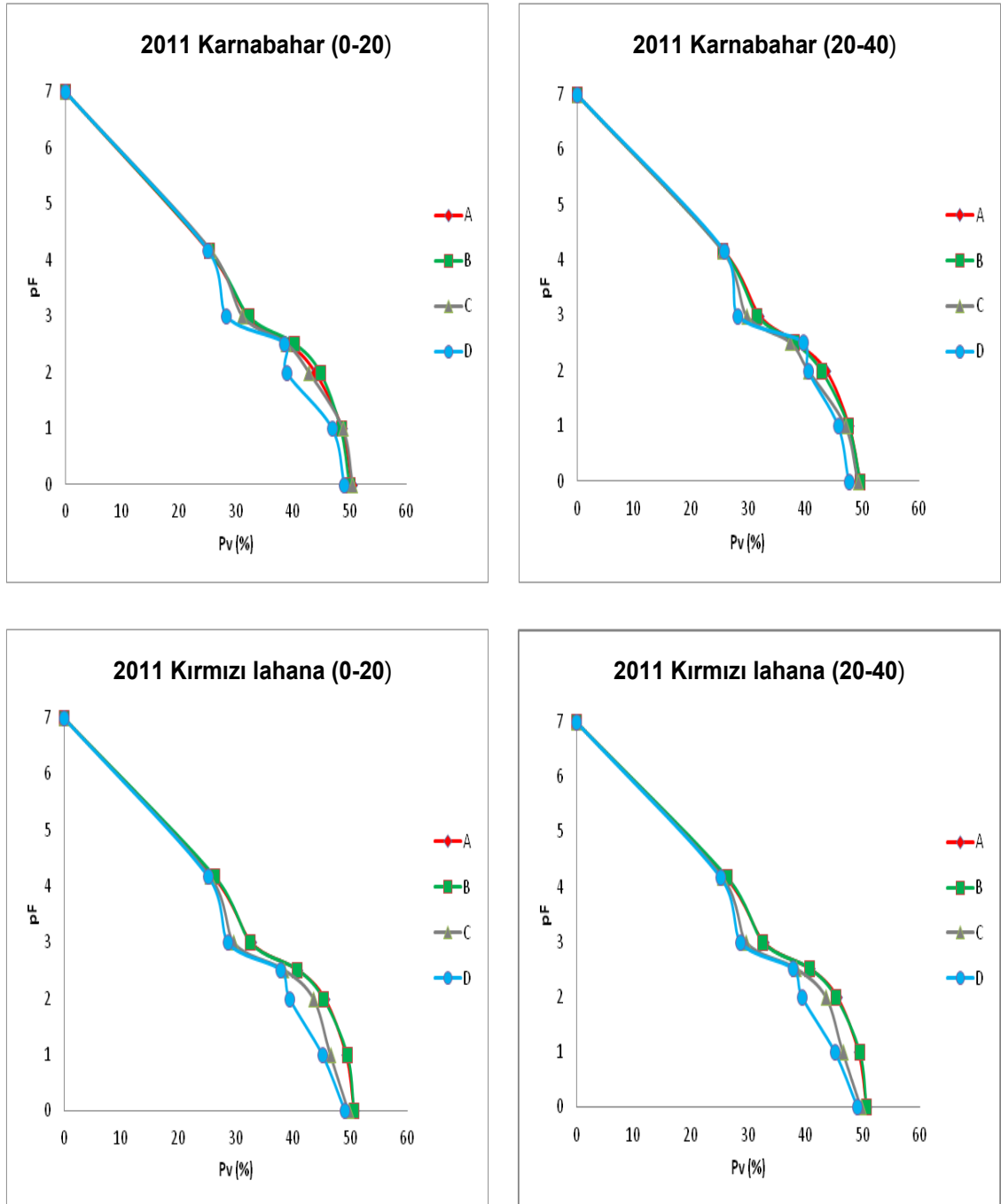
Bitkiler	Derinlik	Konular	Kütle yoğunluğu (g/cm ³)	Tane yoğunluğu	Tarla kapasitesi Pw (%)	Solma Noktası Pw (%)	Toplam Porozite (%)	Agregat stabilitesi (%)
Karnabakar	0-20	A	1,25 c	2,52	31,4 b	20,1 b	50,4 b	60,7 a
		B	1,26 b	2,52	31,9 a	20,0 b	50,0 c	53,3 ab
		C	1,25 d	2,53	31,0 b	20,4 a	50,5 a	48,3 b
		D	1,28 a	2,51	30,1 c	19,6 c	49,0 d	33,7 c
		F	Konu	608,091	-	35,581	13,015	477,352
			Blok	3,545	-	0,855	0,993	1,000
		P	Konu	0,001	-	0,001	0,005	0,001
			Blok	0,096	-	0,471	0,424	0,422
	20-40	A	1,27 c	2,52	30,1 a	20,2 a	49,6 a	54,0 a
		B	1,27 c	2,52	30,0 a	20,1 ab	49,6 a	52,0 ab
		C	1,28 b	2,52	29,1 b	19,9 b	49,2 b	45,7 b
		D	1,32 a	2,52	30,1 a	19,5 c	47,6 c	36,3 c
		F	Konu	1385,909	-	54,049	15199	27041
			Blok	0,818	-	1,648	0,795	2,333
		P	Konu	0,001	-	0,001	0,003	0,001
			Blok	0,485	-	0,269	0,494	0,178
Kırmızı Lahana	0-20	A	1,24 c	2,52	32,8 a	21,0 a	50,7 a	57,3 a
		B	1,25 c	2,52	32,6 b	21,1 a	50,5 a	54,7 a
		C	1,27 b	2,52	30,1 c	20,0 b	49,6 b	45,0 b
		D	1,28 a	2,52	29,4 d	19,6 c	49,0 c	31,7 c
		F	Konu	35,909		3085,949	85,525	41,984
			Blok	0,273		8,635	0,536	0,205
		P	Konu	0,001		0,001	0,001	0,001
			Blok	0,770		0,17	0,611	0,820
	20-40	A	1,27	2,52	30,1 a	20,0 a	49,5	52,7 a
		B	1,28	2,53	29,4 b	19,5 b	49,5	55,0 a
		C	1,29	2,52	29,0 c	20,0 a	48,7	38,0 b
		D	1,29	2,52	27,2 d	18,8 c	48,6	31,0 c
		F	Konu	2,733	-	507,111	65,453	3,388
			Blok	0,467	-	0,094	0,836	0,172
		P	Konu	0,136	-	0,001	0,001	0,095
			Blok	0,648	-	0,912	0,478	0,846

Genel olarak topraklarda, ekosisteme gaz geçişlerini ve yüksek infiltrasyon hızlarını sağlayan mikro çatlakların oluşturduğu 300 μ 'dan büyük gözenekler; drenaj gözeneklerinin meydana getirdiğı 300-30 μ arası gözenekler; toprakta suyun tutulmasını sağlayan iletim gözeneklerinin oluşturduğu 30-3 μ ve 3-0,3 μ arası gözenekler; toprağın fiziksel, mekanik ve ısısal özellikleri üzerine etkisi olmayan yarayışsız suyun tutulduğu gözeneklerin oluşturduğu 0,3-0,03 ve 0,03-0,003 μ arası gözenekler ve mikro ve makro agregatların stabilitesini sağlayan doku gözenekleri (0,003-0,0003 μ) belirlenmiştir (Jigau 2010).

Bu çerçevede Şekil 4.8 ve 4.9 ile EK 1, 2, 3 ve 4 kullanılarak belirlenmiş gözenek büyüklük dağılımı değerlendirildiğinde (Şekil 4.10, 4.11, ...4.17, EK 5, 6, 7 ve 8) her iki deneme yılında karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanında, 0-20 cm ve 20-40 cm toprak derinliğinde 300 μ dan büyük gözenekler, atık su (A) konusunda %1,05-2,82 arasında, havalandırılmış atık su (B) konusunda %1,07-2,52 arasında, seyreltilmiş atık su (C) konusunda %1,24-3,14 arasında, temiz su (D) konusunda %1,83-4,20 arasında; 300-30 μ arası gözenekler, atık su (A) konusunda %3,68-6,01 arasında, havalandırılmış atık su (B) konusunda %3,87-8,48 arasında, seyreltilmiş atık su (C) konusunda %2,94-7,25 arasında, temiz su konusunda %5,11-8,14 arasında; 30-3 μ arası gözenekler, atık su (A) konusunda %11,69-14,02 arasında, havalandırılmış atık su (B) konusunda %9,91-14,64 arasında, seyreltilmiş atık su (C) konusunda %10,76-14,68 arasında, temiz su (D) konusunda %9,68-13,18 arasında; 3-0,3 μ arası gözenekler, atık su (A) konusunda %3,49-6,54 arasında, havalandırılmış atık su (B) konusunda %2,96-6,14 arasında, seyreltilmiş atık su (C) konusunda %2,38-5,48 arasında, temiz su (D) konusunda %1,51-3,13 arasında; 0,3-0,03 μ arası gözenekler, atık su (A) konusunda %8,0-8,33 arasında, havalandırılmış atık su (B) konusunda %8,0-8,33 arasında, seyreltilmiş atık su (C) konusunda %7,69-8,06 arasında, temiz su (D) konusunda %6,98-8,0 arasında; 0,03-0,003 μ ve 0,003-0,0003 μ arası gözenekler ise tüm sulama konularında yaklaşık %9,0 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.8. 2010 yılında 0-20 ve 20-40 cm toprak derinlikleri için karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanları pF eğrileri



Şekil 4.9. 2011 yılında 0-20 ve 20-40 cm toprak derinlikleri için karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanları pF eğrileri

Denemenin ilk yılı karnabahar deneme alanında 0-20 cm toprak derinliğindeki gözeneklilik dağılımı varyans analiz sonuçları incelendiğinde; $>300 \mu$, $300-30 \mu$ ve $0,3 \mu-0,0003 \mu$ arası gözenek çapları arasında konular arasındaki farkın istatistiksel olarak

önemli olmadığı, ancak 30-3 μ arasında gözenek çapında konular arasında $P<0,05$ düzeyinde, 3-0,3 μ arası gözenek çapında ise $P<0,01$ düzeyinde farkın önemli olduğu gözlenmiştir. 20-40 cm toprak derinliğinde ise 300-30 μ ve 3-0,3 μ arasında gözenek çaplarında konular arasında $P<0,05$ düzeyinde farkın önemli olduğu, diğer çaplarda ise istatistiksel olarak bir fark olmadığı saptanmıştır. Kırmızı lahana deneme alanında 0-20 cm toprak derinliğindeki gözeneklilik dağılımı varyans analiz sonuçları incelendiğinde $> 300 \mu$ ve 30-3 μ gözenek çaplarında $P<0,01$ düzeyinde, 300-30 μ gözenek çapında ise $P<0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak fark bulunurken diğer gözenek çaplarında fark bulunmamıştır. 20-40 cm toprak derinliğinde ise 300-30 μ ve 30-3 μ gözenek çaplarında $P<0,01$ düzeyinde, $>300 \mu$ ve 0,3-0,03 μ gözenek çaplarında ise $P<0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak konular arasında fark bulunurken diğer gözenek çaplarında fark görülmemiştir.

2011 deneme yılında karnabahar deneme alanında 0-20 cm toprak derinliğindeki gözeneklilik dağılımı varyans analiz sonuçlarına bakıldığında; 300-30 μ ve 3-0,3 μ arası gözenek çaplarında konular arasında farkın istatistiksel olarak $P<0,01$ düzeyinde, 30-3 μ arasında gözenek çapında $P<0,05$ düzeyinde önemli olduğu diğer gözenek çaplarında ise farkların önemsiz olduğu gözlenmiştir. 20-40 cm toprak derinliğinde ise 3-0,3 μ gözenek çapında $P<0,05$ düzeyinde konular arasında farkın önemli olduğu diğer çaplarda ise istatistiksel olarak bir fark olmadığı belirlenmiştir. Kırmızı lahana deneme alanında 0-20 cm toprak derinliğinde $>300 \mu$, 300-30 μ ve 3-0,3 μ gözenek çaplarında $P<0,01$ düzeyinde, 30-3 μ gözenek çapında ise $P<0,05$ düzeyinde konular arasında istatistiksel olarak fark bulunurken diğer gözenek çaplarında fark bulunmamıştır. 20-40 cm toprak derinliğinde ise $> 300 \mu$ ve 3-0,3 μ gözenek çaplarında $P<0,01$ düzeyinde, 300-30 μ gözenek çapında ise $P<0,05$ düzeyinde konular arasında istatistiksel olarak fark bulunurken diğer gözenek çaplarında fark saptanmamıştır (Şekil 4.10, 4.11, ...4.17).

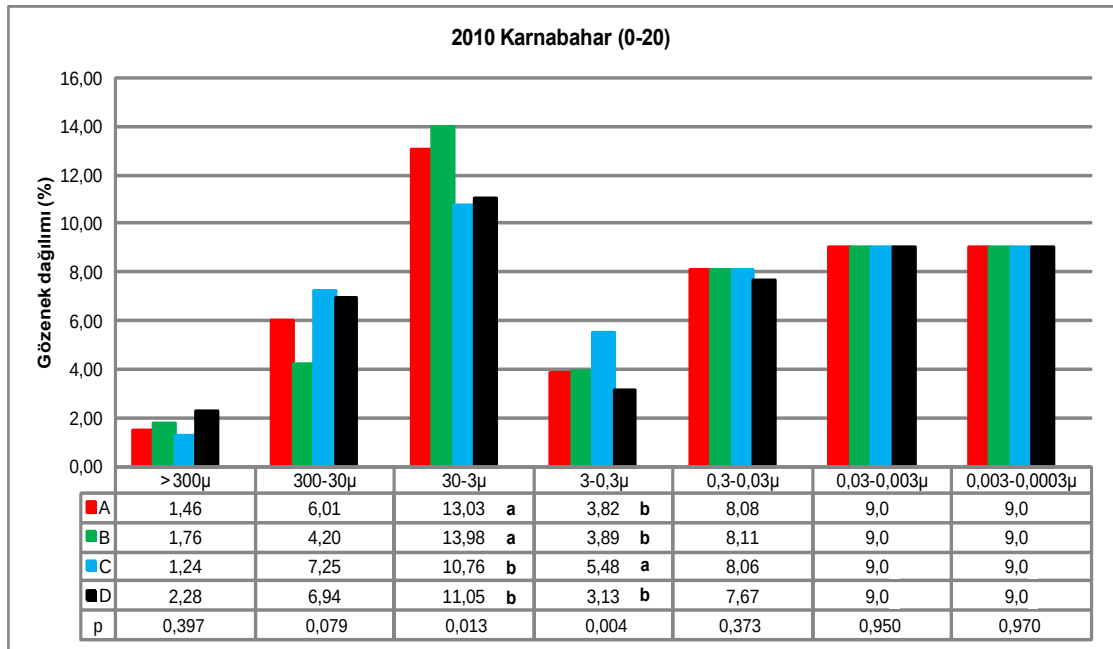
Her iki yıl, her iki bitki ve her iki toprak derinliği için Duncan çoklu karşılaştırma sonuçları incelendiğinde havalanma ve drenajı sağlayan 30 μ dan büyük gözenekler temiz su (D) ve kısmen seyreltilmiş atık su (C) konularında en yüksek değerlere sahip

olarak genelde aynı gruplarda yer alırken atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konuları daha düşük değerler alarak yine genelde aynı grupta yer almışlardır. Atık su (A) konusunun 30 μ dan büyük gözeneklerinin miktarı, iki yılın ortalama değerleri göz önüne alındığında temiz su (D) konusuna göre karnabaharda 0-20 cm toprak derinliğinde %29,5; 20-40 cm toprak derinliğinde %3,8, kırmızı lâhanada 0-20 cm toprak derinliğinde %40,1; 20-40 cm toprak derinliğinde %47,9 daha düşük bulunmuştur. Atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) uygulamalarında bu kaba gözeneklerin daha az olmasının söz konusu uygulamalarda kullanılan suların yüksek %Na ve SAR (Çizelge 4.6 ve 4.7) değerlerinin iri agregatların dispersiyona neden olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca bu suların askıda katı madde miktarlarının da fazla olması kaba gözeneklerde kısmen daralmaya yol açarak kaba gözenek miktarını da azaltabilmektedir.

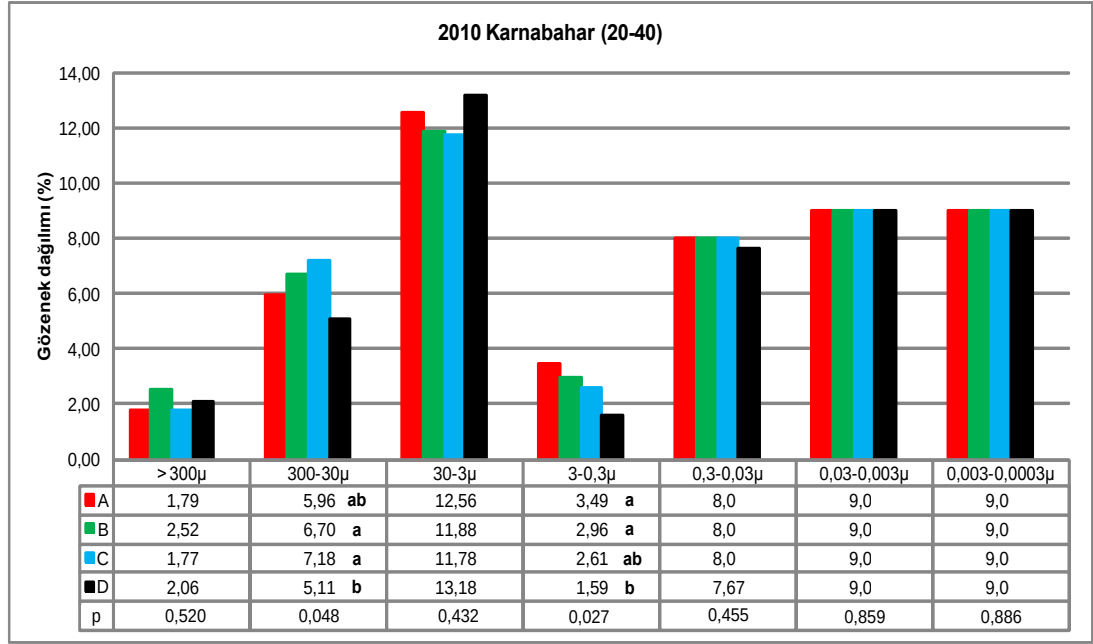
Su tutmaya yarayan 30-0,3 μ arası gözeneklerde atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konuları en yüksek oranlara sahip olarak aynı gruplarda yer alırken, temiz su (D) ve seyreltilmiş atık su (C) konuları daha düşük değerler alarak aynı grupta yer almışlardır. Atık su (A) konusunun 30-0,3 μ dan arası gözeneklerinin dağılımı, iki yılın ortalama değerleri göz önüne alındığında temiz su (D) konusuna göre karnabaharda 0-20 cm toprak derinliğinde %28,2; 20-40 cm toprak derinliğinde %12,2, kırmızı lâhanada 0-20 cm toprak derinliğinde %36,1; 20-40 cm toprak derinliğinde %40,4 daha yüksek olmuştur. Toplam porozitenin önemli bir kısmını da bitkiler için yararlı olmayan suyu tutan 0,3 μ ' dan küçük gözenekler oluşturmuştur. Ancak 0,3 μ ' dan küçük gözenekler açısından konular arasında istatistiksel bir fark bulunmamıştır.

Çizelge 4.9 ve 4.10'daki değerlerden de görülebileceği gibi yararlı su miktarı atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında temiz su (D) konularına göre daha yüksekken, havalanma ve drenajla ilgili olarak, tarla kapasitesinden daha düşük tansiyonda tutulan su miktarı temiz su (D) ve seyreltilmiş atık su (C) konularında daha yüksek olmuştur. Ayrıca atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) uygulamalarında agregat stabilitesinin artması toplam poroziteyi ve dolayısıyla su tutmaya yarayan gözeneklerin miktarını da artırmıştır.

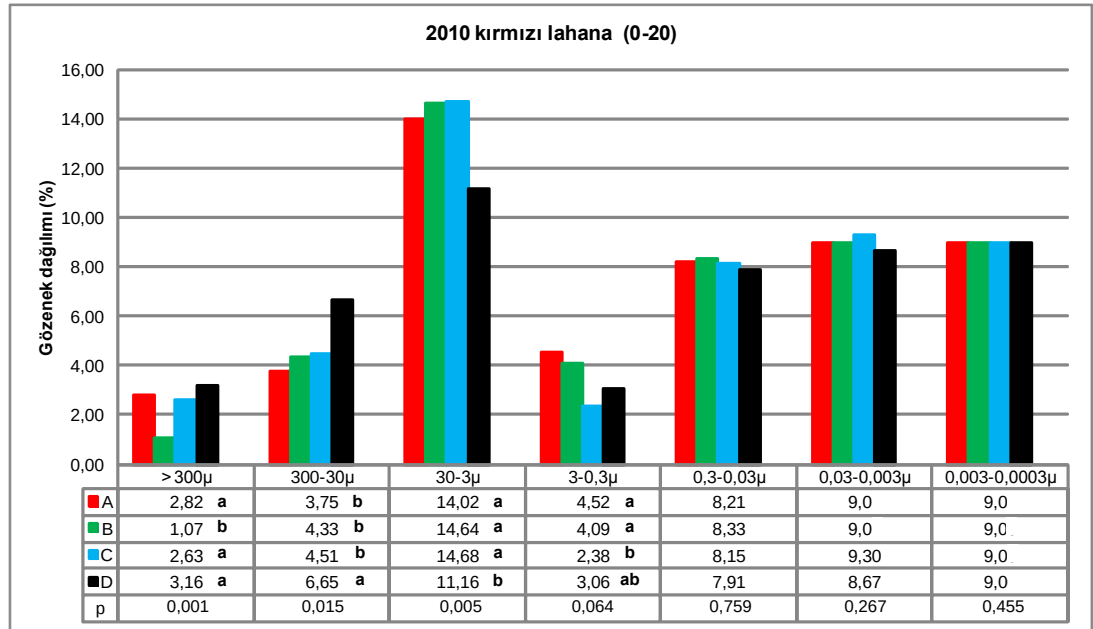
Khaleel *et al.* (1981) atık maddelerin uygulama oranlarındaki artışın, toprağın su tutma kapasitesini artırdığını bildirmiştir. Toprakların su tutma kapasitesi üzerine, toprakların gözenek miktarı ve gözenek dağılımı ile toprakların spesifik yüzey alanları etkili olan iki önemli etmendir. Atık uygulamaları toprakta agregatlaşmayı artırdığı için toprakların toplam gözenek miktarının artışına neden olmaktadır. Ayrıca kütle yoğunluğundaki azalmanın bir sonucu olarak, gözenek büyüklük dağılımı özellikle kaba tekstürlü topraklarda büyük çaplı gözenek miktarını azaltırken küçük çaplı gözeneklerin miktarını artırmaktadır (Volk and Ullery 1973; Khaleel *et al.* 1981). Fakat Gonçalves *et al.* (2010) ikinci derece arıtılmış atık su ve tuzlu su ile sulanan alanların gözenek büyüklük dağılımını inceldikleri bir çalışmada kontrol konularına göre atık su ile sulanan alanların makro gözeneklerinde ($>50 \mu$) bir miktar artış ve mikro ($0,2-50 \mu$) gözeneklerinde ise bir miktar azalış olduğunu bildirmişlerdir.



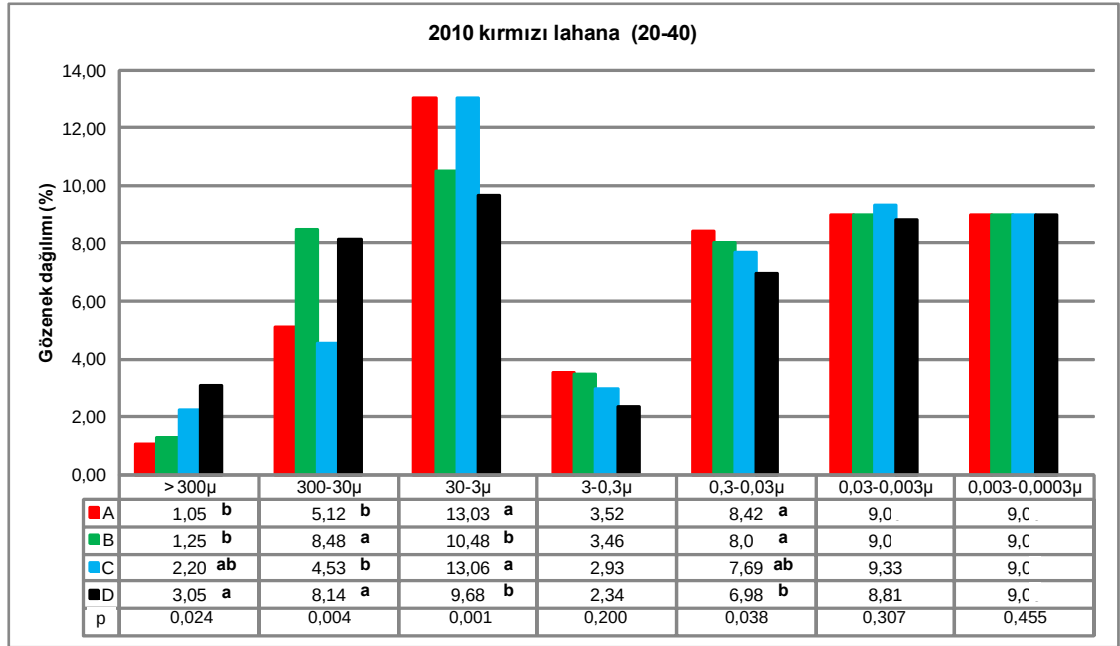
Şekil 4.10. 2010 yılında 0-20 cm toprak derinliği için karnabahar deneme alanı gözenek dağılımı grafiği



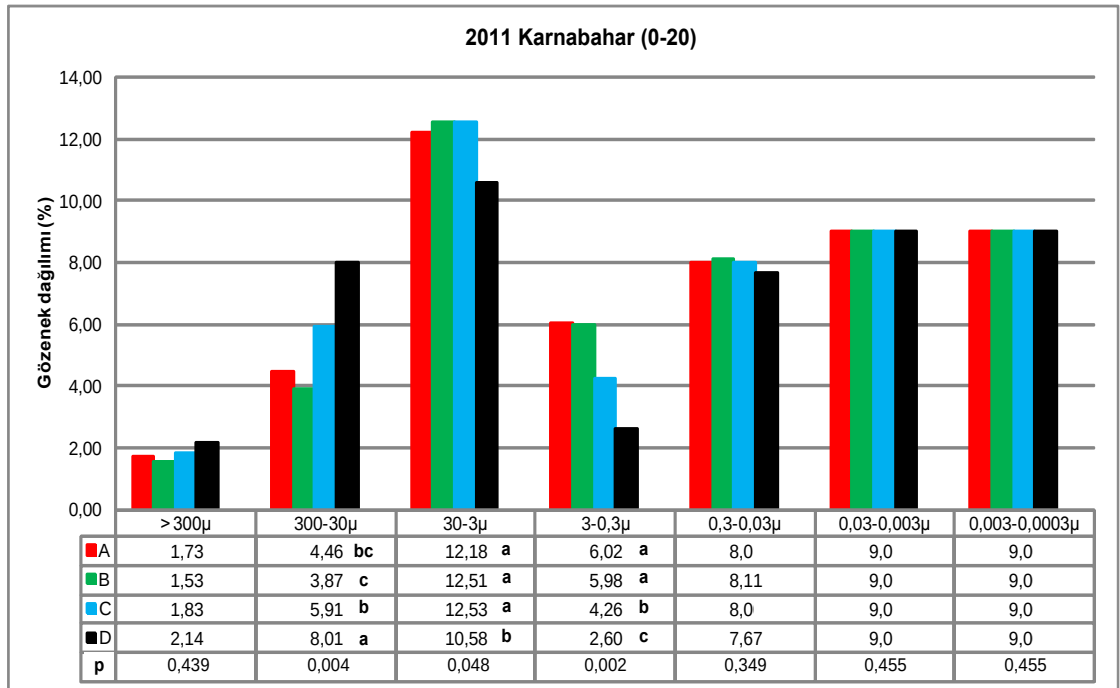
Şekil 4.11. 2010 yılında 20-40 cm toprak derinliği için karnabahar deneme alanı gözenek dağılımı grafiği



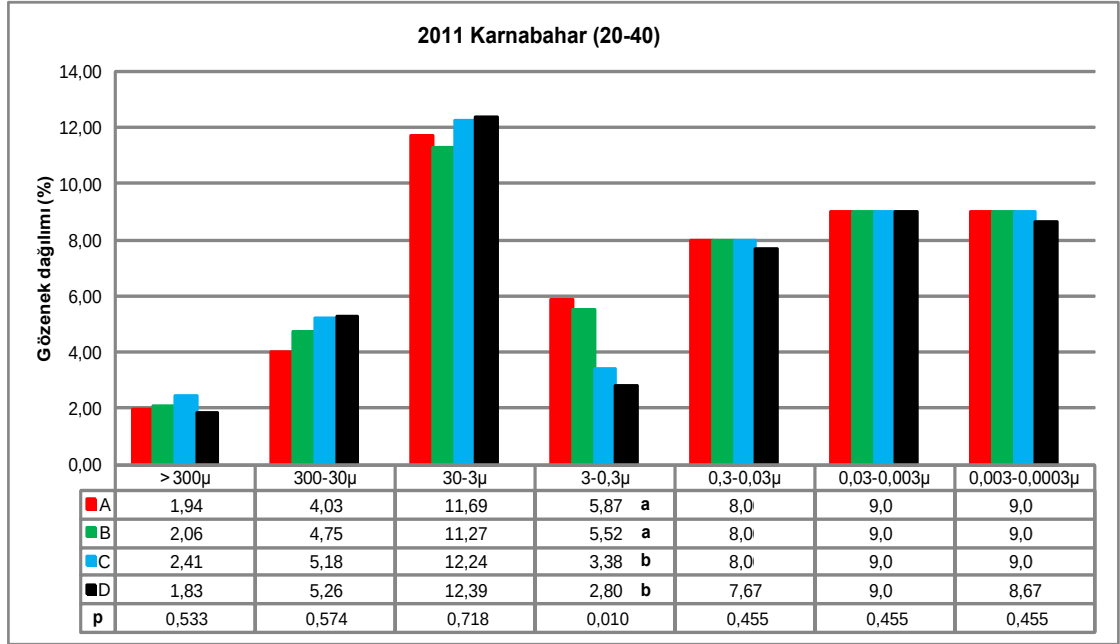
Şekil 4.12. 2010 yılında 0-20 cm toprak derinliği için kırmızı lahana deneme alanı gözenek dağılımı grafiği



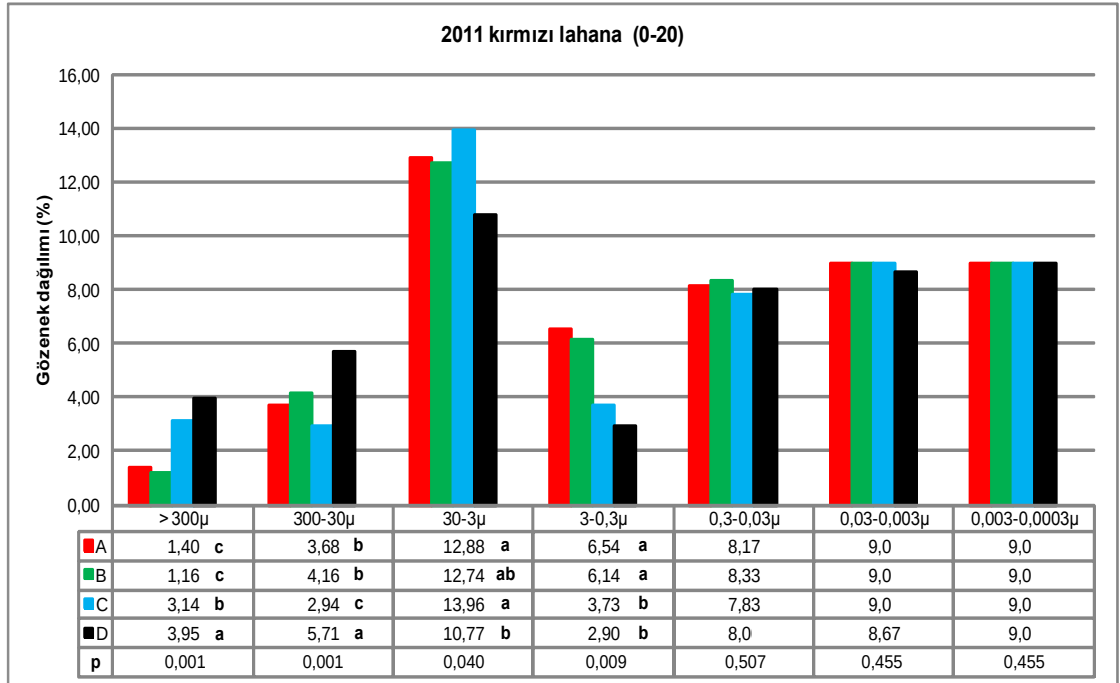
Şekil 4.13. 2010 yılında 20-40 cm toprak derinliği için kırmızı lahana deneme alanı gözenek dağılımı grafiği



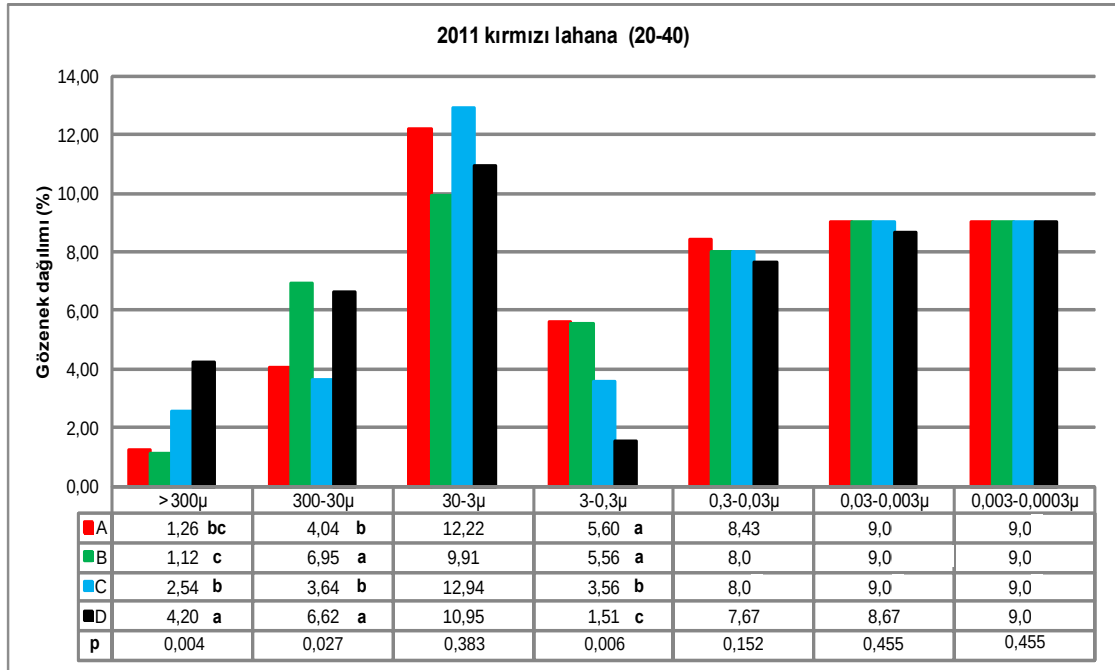
Şekil 4.14. 2011 yılında 0-20 cm toprak derinliği için karnabahar deneme alanı gözenek dağılımı grafiği



Şekil 4.15. 2011 yılında 20-40 cm toprak derinliği için karnabahar deneme alanı gözenek dağılımı grafiği



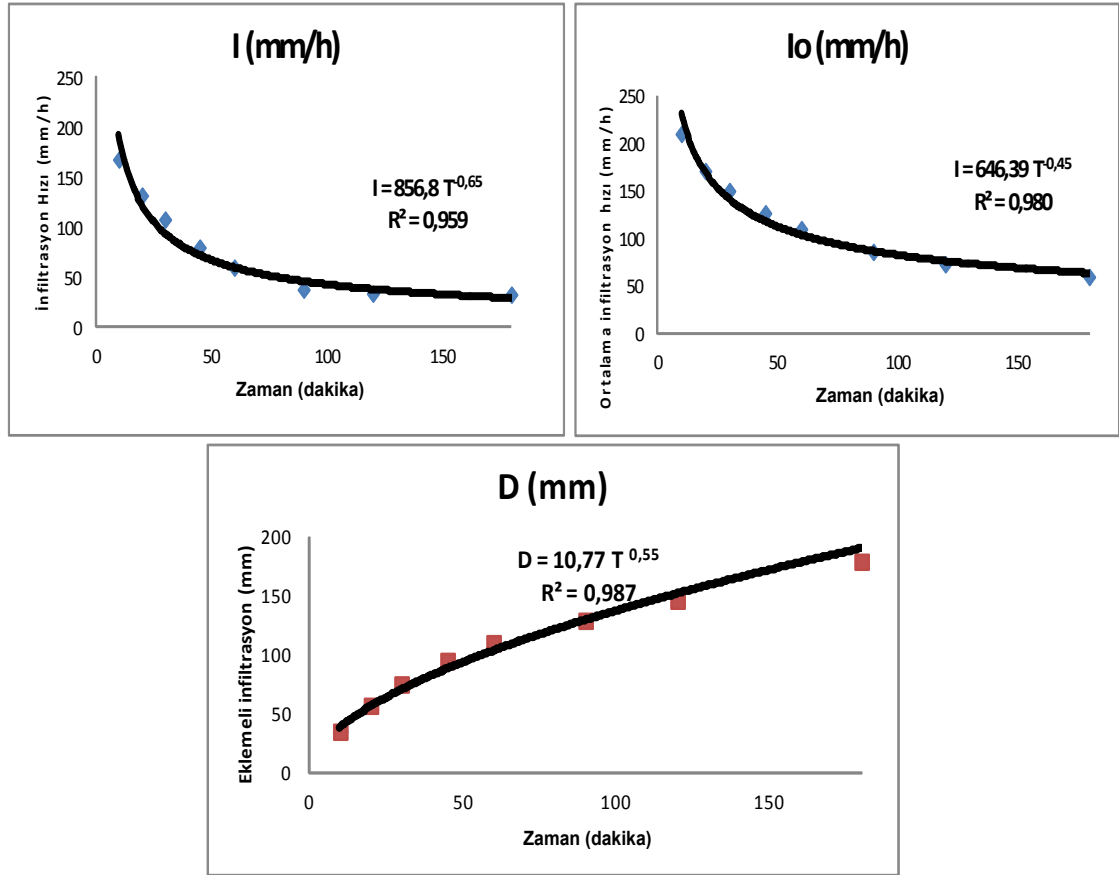
Şekil 4.16. 2011 yılında 0-20 cm toprak derinliği için kırmızı lahana deneme alanı gözenek dağılımı grafiği



Şekil 4.17. 2011 yılında 20-40 cm toprak derinliği için kırmızı lahana deneme alanı gözenek dağılımı grafiği

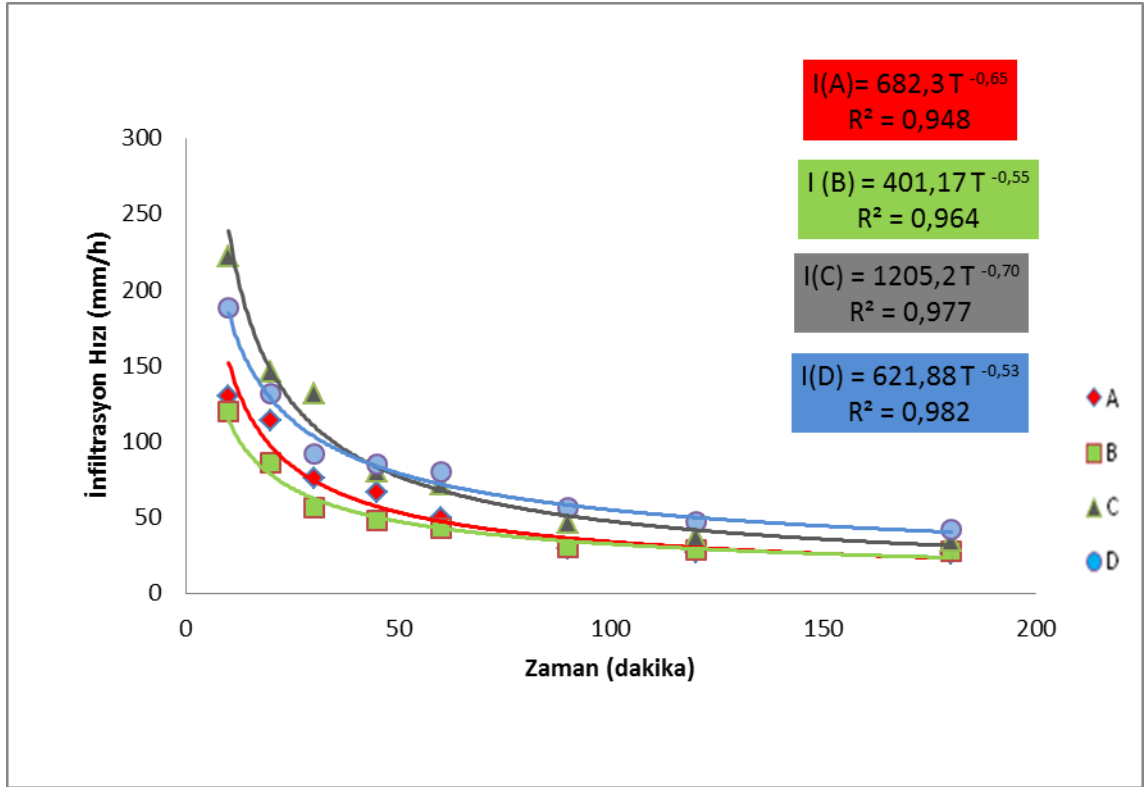
4.2.2 Toprakların infiltrasyon özellikleri

Deneme öncesinde deneme alanında ve hasatlardan yaklaşık bir ay sonra da deneme konularında çift silindirli infiltrometrelerle yapılan infiltrasyon ölçümlerinden belirlenmiş olan infiltrasyon hızları ve eklemeli infiltrasyon değerlerinin zamansal değişimleri ve değişimleri temsil eden eşitlikler Şekil 4.18, 4.19, 4.20, ...4.30 ve EK 9, EK 10,..., EK 14 de verilmiştir. Eşitliklerde; I , mm/h olarak infiltrasyon hızını, I_0 , mm/h olarak ortalama infiltrasyon hızını, D , mm olarak eklemeli infiltrasyonu ve T dakika olarak zamanı tanımlamaktadır. Ekim öncesi deneme alanından elde edilen infiltrasyon ölçümleri sonucunda hızdaki zamansal değişimin sıfıra yaklaştığı anda (180 dakika) sabit infiltrasyon hızı 30 mm/h ve ortalama infiltrasyon hızı 59,7 mm/h olarak ölçülmüştür. Sabit infiltrasyon hızına ulaştığı zaman süresince eklemeli infiltrasyon 187 mm olarak saptanmıştır. (Şekil 4.18).



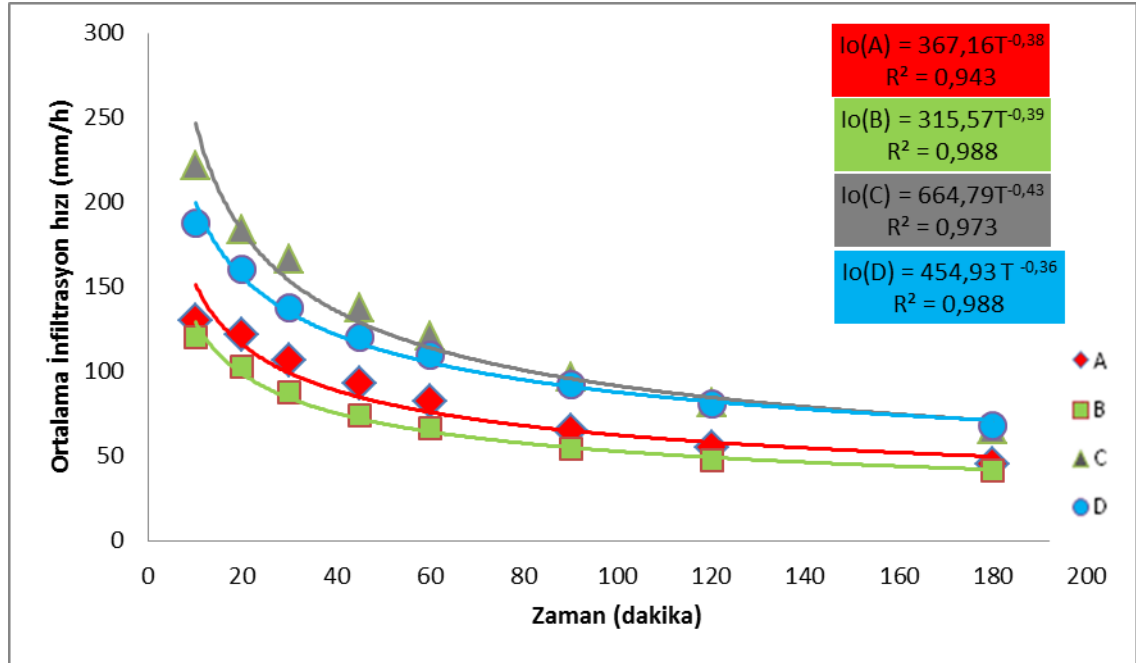
Şekil 4.18. Ekim öncesinde deneme alanı topraklarının infiltrasyon hızı, ortalama infiltrasyon hızı ve eklemeli infiltrasyonu

2010 yılı hasat sonrası karnabakar deneme alanından ölçülen sabit infiltrasyon ve ortalama infiltrasyon hızları incelendiğinde; atık su (A) konusunda 26 mm/h, havalandırılmış atık su (B) konusunda 27,7 mm/h, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 34,3 mm/h ve temiz su (D) konusunda 41,7 mm/h olarak sabit infiltrasyon hızları belirlenmiştir. Ortalama infiltrasyon hızları ise atık su (A) konusunda 45,7 mm/h, havalandırılmış atık su (B) konusunda 41,3 mm/h, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 66,0 mm/h ve temiz su (D) konusunda 67,7 mm/h olarak ölçülmüştür (Şekil 4.19 ve 4.20; Çizele 4.11).

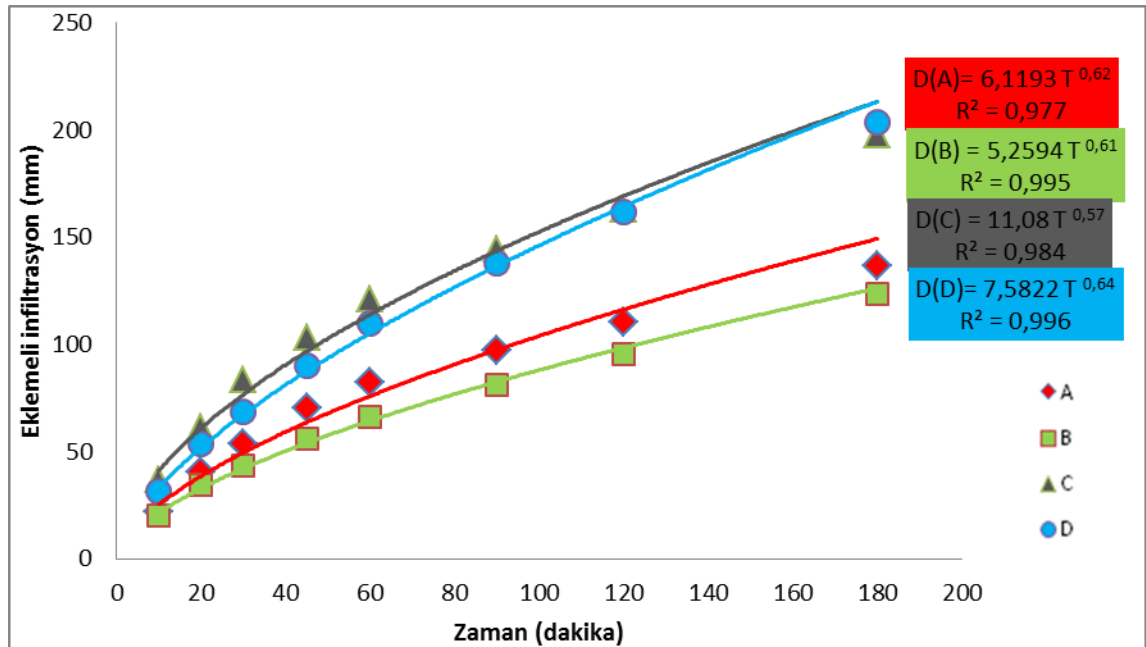


Şekil 4.19. Karnabahar bitkisi ekim alanı 2010 yılı hasat sonrası infiltrasyon hızları

İnfiltrasyon hızlarının yaklaşık sabitlendiği zaman süresince toprağa infiltre olan su derinlikleri atık su (A) konusunda 136,3 mm, havalandırılmış atık su (B) konusunda 123,3 mm, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 197,3 mm ve temiz su (D) konusunda 203,3 mm olmuştur (Şekil 4.21). Eklemeli infiltrasyon, atık su (A), havalandırılmış atık su (B) ve seyreltilmiş atık su (C) konularında temiz su (D) konusundan sırasıyla %33,0 %39,4 ve %3,0 daha düşük olmuştur.

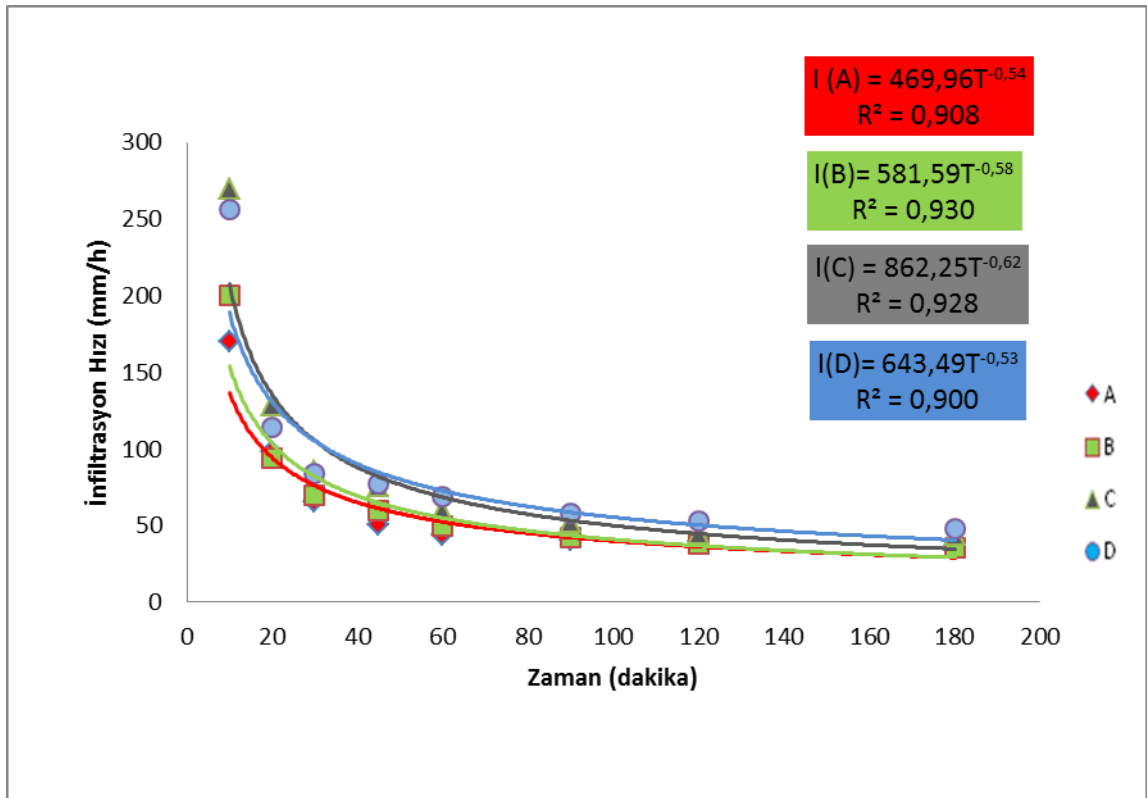


Şekil 4.20. Karnabahar bitkisi ekim alanı 2010 yılı hasat sonrası ortalama infiltrasyon hızları



Şekil 4.21. Karnabahar bitkisi ekim alanı 2010 yılı hasat sonrası eklemeli infiltrasyonlar

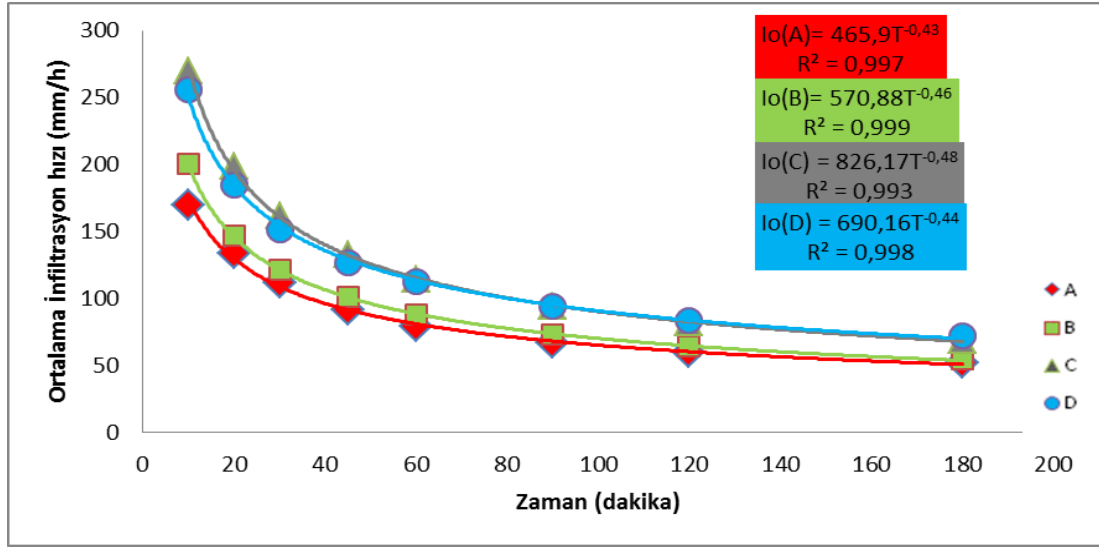
2011 yılı hasat sonrası karnabahar deneme alanından ölçülen sabit infiltrasyon ve ortalama infiltrasyon hızları incelendiğinde; atık su (A) konusunda 36,0 mm/h, havalandırılmış atık su (B) konusunda 35,7 mm/h, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 44,0 mm/h ve temiz su (D) konusunda 48,0 mm/h olarak sabit infiltrasyon hızları belirlenmiştir. Ortalama infiltrasyon hızları ise atık su (A) konusunda 51,7 mm/h, havalandırılmış atık su (B) konusunda 54,7 mm/h, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 69,0 mm/h ve temiz su (D) konusunda 71,7 mm/h olarak ölçülmüştür (Şekil 4.22 ve 4.23; Çizele 4.11).



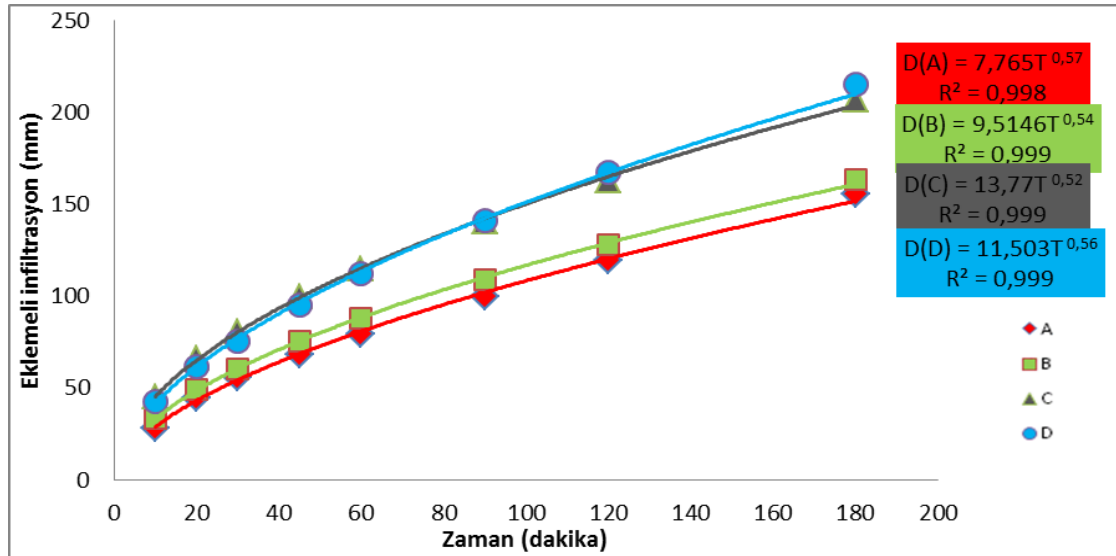
Şekil 4.22. Karnabahar bitkisi ekim alanı 2011 yılı hasat sonrası infiltrasyon hızları

Sabit infiltrasyon hızlarına yaklaşık ulaşıldığı zaman süresince toprağa infiltre olan su derinlikleri atık su (A) konusunda 155,3 mm, havalandırılmış atık su (B) konusunda 163,7 mm, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 207,0 mm ve temiz su (D) konusunda 215,7 mm olmuştur (Şekil 4.24). En yüksek değerin elde edildiği temiz su (D) konusuna göre eklemeli infiltrasyon değerleri, atık su (A), havalandırılmış atık su (B) ve

seyreltilmiş atık su (C) konularında sırasıyla %28,0 %24,1 ve %4,0 daha düşük olarak saptanmıştır. Denemenin ikinci yılında eklemeli infiltrasyon değerleri tüm uygulamalarda ilk yıldan daha fazla olmuştur. En fazla artış atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında gerçekleşmiştir (Çizelge 4.11).

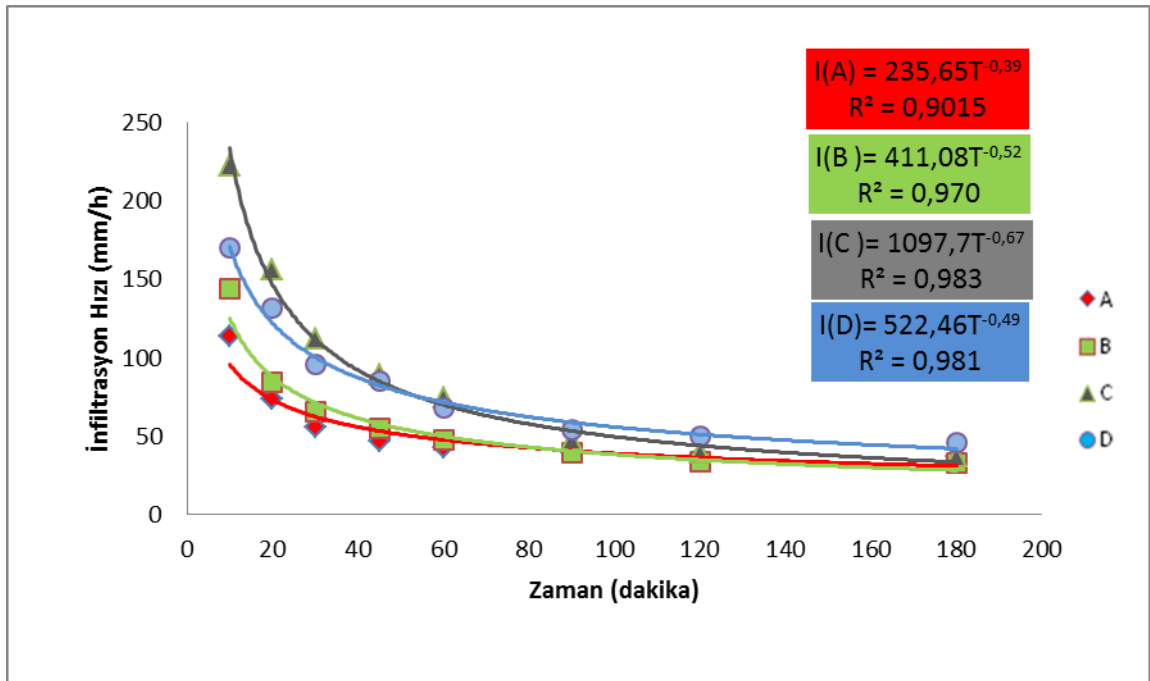


Şekil 4.23. Karnabahar bitkisi ekim alanı 2011 yılı hasat sonrası ortalama infiltrasyon hızları



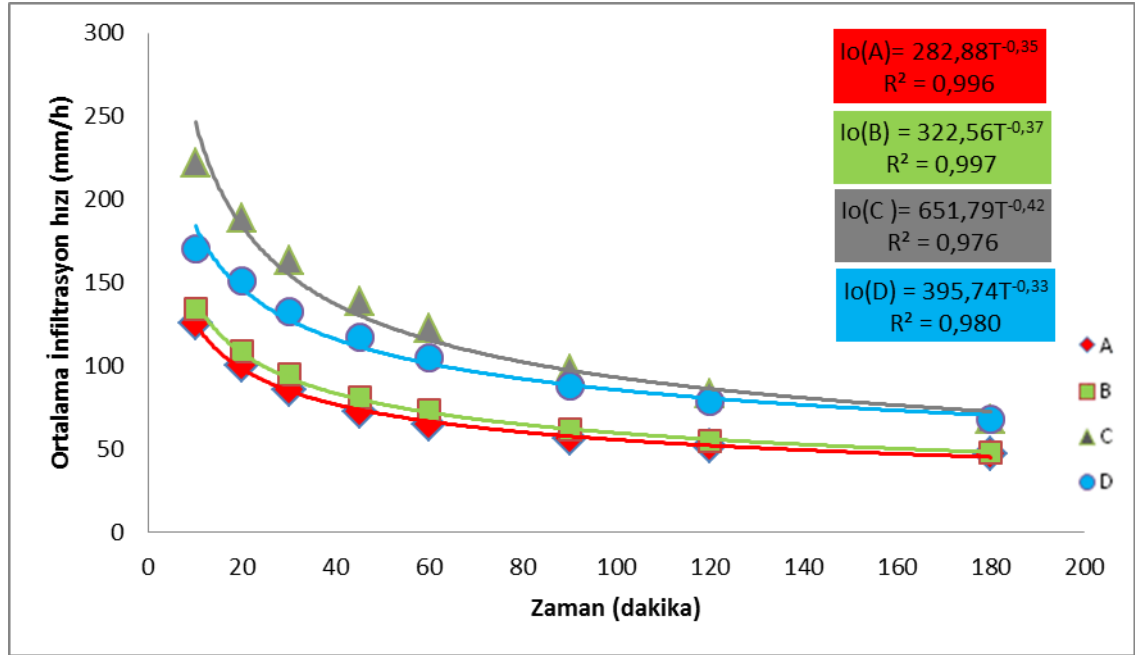
Şekil 4.24. Karnabahar bitkisi ekim alanı 2010 yılı hasat sonrası eklemeli infiltrasyonlar

2010 yılı hasat sonrası kırmızı lahana deneme alanında ölçülen sabit infiltrasyon ve ortalama infiltrasyon hızları incelendiğinde; atık su (A) konusunda 37,3 mm/h, havalandırılmış atık su (B) konusunda 32,7 mm/h, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 37,3 mm/h ve temiz su (D) konusunda 46,3 mm/h olarak sabit infiltrasyon hızları belirlenmiştir. Ortalama infiltrasyon hızları ise atık su (A) konusunda 47,0 mm/h, havalandırılmış atık su (B) konusunda 47,3 mm/h, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 68,0 mm/h ve temiz su (D) konusunda 67,7 mm/h olarak ölçülmüştür (Şekil 4.25 ve 4.26; Çizele 4.11).

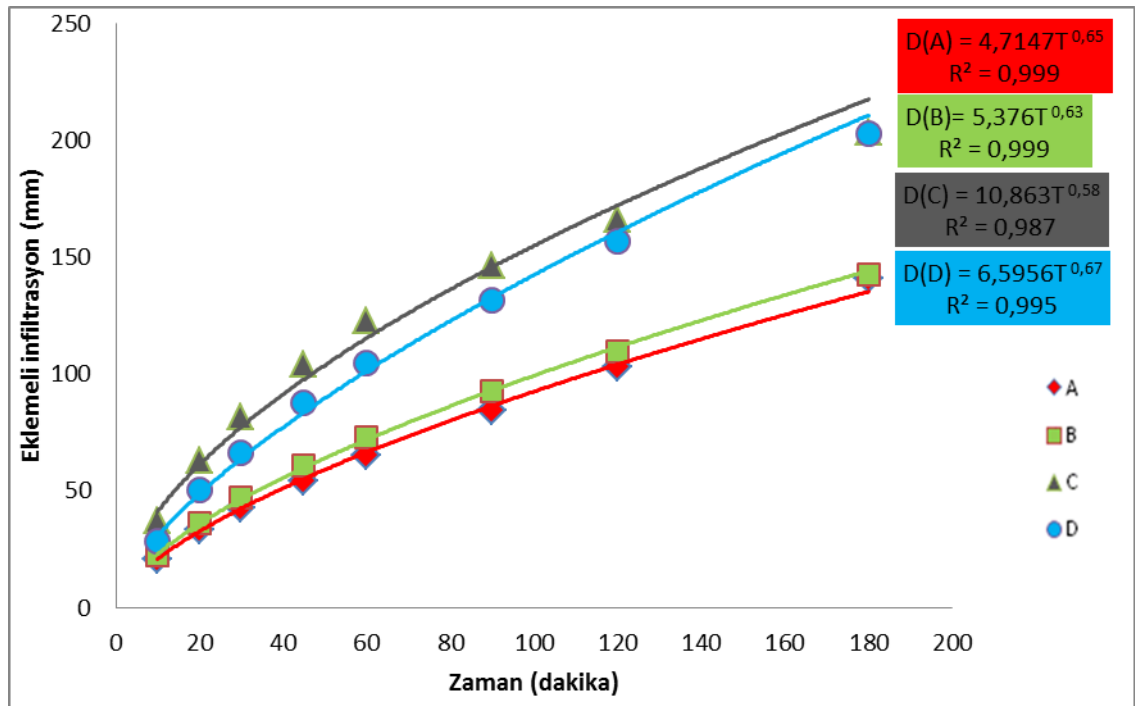


Şekil 4.25. Kırmızı lahana bitkisi ekim alanı 2010 yılı hasat sonrası infiltrasyon hızları

İnfiltrasyon hızlarının yaklaşık sabitlendiği zaman süresince toprağa infiltre olan su derinlikleri atık su (A) konusunda 140,7 mm, havalandırılmış atık su (B) konusunda 142,3 mm, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 203,3 mm ve temiz su (D) konusunda 203,0 mm olmuştur (Şekil 4.27). Eklemeli infiltrasyon, atık su (A) ve havalandırılmış atı su (B) konularında temiz su (D) konusundan %30,7 ve %29,9 daha düşük bulunurken, seyreltilmiş atı su (C) konusuyla, temiz su (D) konusunda yaklaşık aynı değerler saptanmıştır.

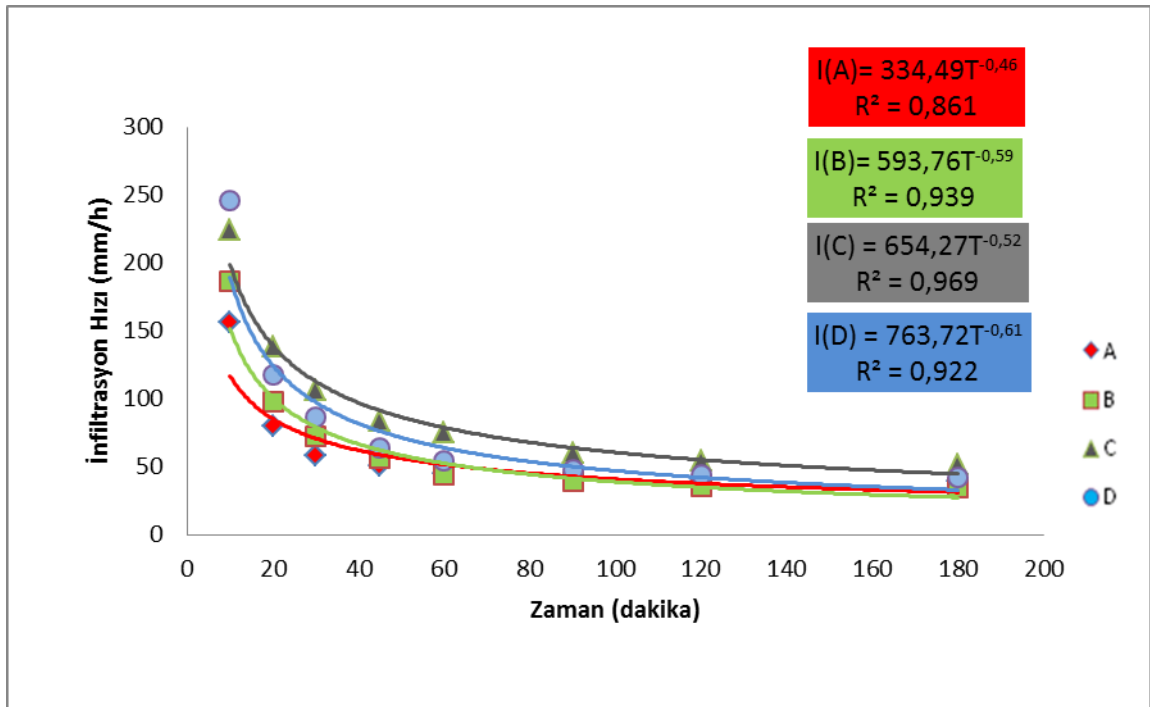


Şekil 4.26. Kırmızı lâhana bitkisi ekim alanı 2010 yılı hasat sonrası ortalama infiltrasyon hızları



Şekil 4.27. Kırmızı lâhana bitkisi ekim alanı 2010 yılı hasat sonrası eklemeli infiltrasyonlar

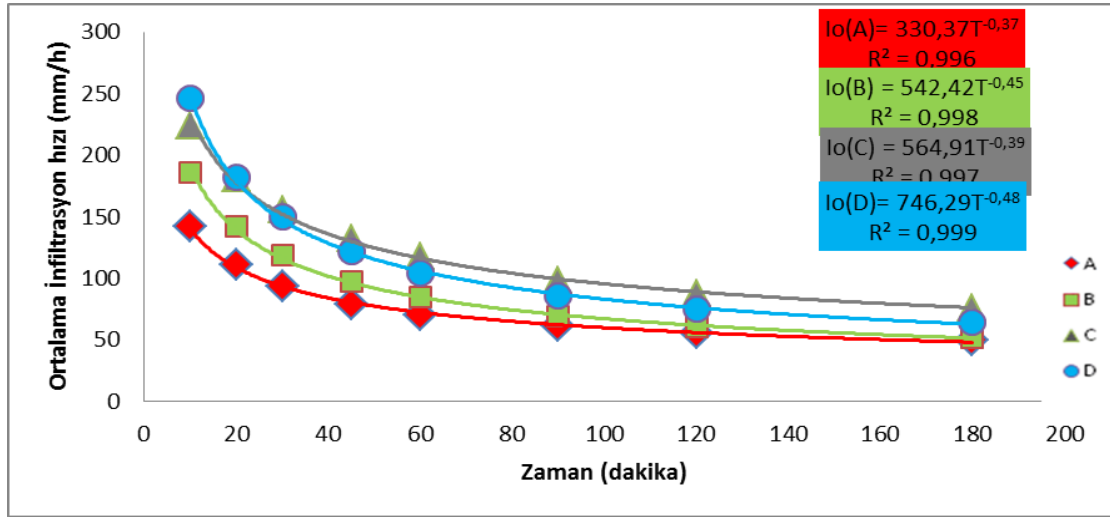
2011 yılı hasat sonrası kırmızı lahana deneme alanında ölçülen sabit infiltrasyon ve ortalama infiltrasyon hızları incelendiğinde; atık su (A) konusunda 39,0 mm/h, havalandırılmış atık su (B) konusunda 34,3 mm/h, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 52,0 mm/h ve temiz su (D) konusunda 41,7 mm/h olarak sabit infiltrasyon hızları belirlenmiştir. Ortalama infiltrasyon hızları ise atık su (A) konusunda 50,0 mm/h, havalandırılmış atık su (B) konusunda 52,0 mm/h, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 75,3 mm/h ve temiz su (D) konusunda 64,0 mm/h ölçülmüştür (Şekil 4.28 ve 4.29; Çizelge 4.11).



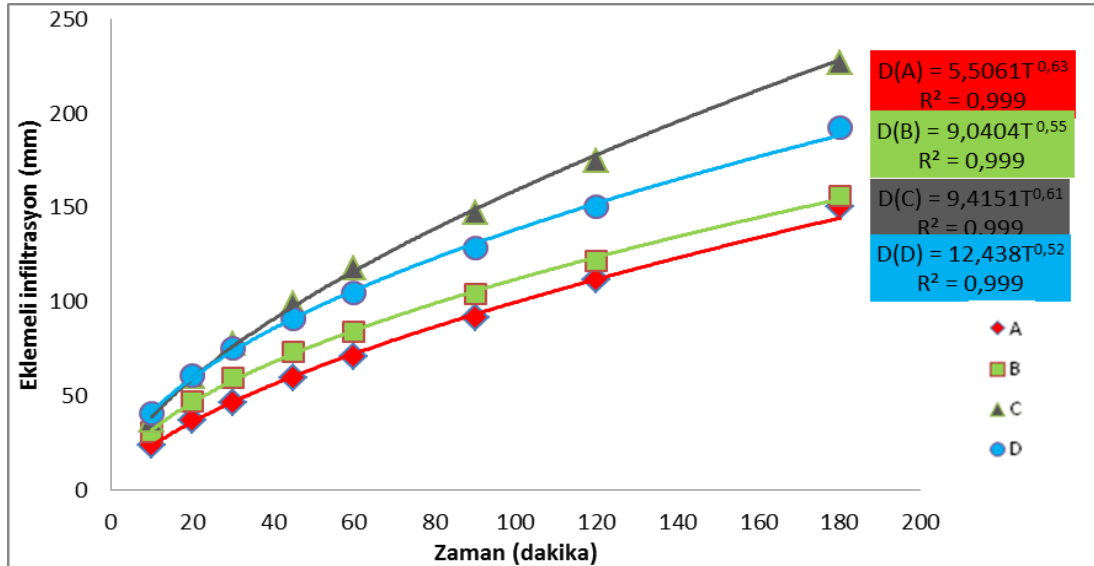
Şekil 4.28. Kırmızı lahana bitkisi ekim alanı 2011 yılı hasat sonrası infiltrasyon hızları

İnfiltrasyon hızlarının yaklaşık sabitlendiği zaman süresince toprağa infiltre olan su derinlikleri atık su (A) konusunda 150,3 mm, havalandırılmış atık su (B) konusunda 156,0 mm, seyreltilmiş atık su (C) konusunda 227,0 mm ve temiz su (D) konusunda 192,3 mm olmuştur (Şekil 4.30). Denemenin ikinci yılında temiz su (D) konusundaki eklemeli infiltrasyon ilk yıla göre düşmüş diğer uygulamalarda ise artmıştır. En fazla artış seyreltilmiş atık su (C) konusunda saptanmıştır (Çizelge 4.11).

Her iki bitkide ve her iki deneme yılında atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularındaki belirlenmiş eklemeli infiltrasyon değerleri deneme öncesi eklemeli infiltrasyon değerlerinin altındadır.



Şekil 4.29. Kırmızı lahan bitkisi ekim alanı 2011 yılı hasat sonrası ortalama infiltrasyon hızları



Şekil 4.30. Kırmızı lahan bitkisi ekim alanı 2011 yılı hasat sonrası eklemeli infiltrasyonlar

Genel olarak su konularının infiltrasyon hızlarında zamanla azalış trendi benzerlik göstermiştir. Her iki deneme yılının ve deneme alanının ortalama eklemeli infiltrasyon değerleri göz önüne alındığında; atık su (A) konusunda temiz su (D) konusuna göre ilk 60 dakika sonunda %31,1, 120 dakika sonunda %30,2 ve 180 dakika sonunda ise %28,4 daha az eklemeli infiltrasyon belirlenmiştir. Havalandırılmış atık su (B) konusundan ise yine temiz su (D) konusuna göre ilk 60 dakika sonunda %27,8, 120 dakika sonunda %28,5 ve 180 dakika sonunda ise %28,1 daha az eklemeli infiltrasyon belirlenmiştir. Seyreltilmiş atık su (C) konusunun eklemeli infiltrasyonu ise temiz su (D) konusuna göre sırasıyla %10,3 %4,8 ve %2,5 daha fazla olmuştur.

Çizelge 4.11. 2010 ve 2011 yılları karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanlarının sabit infiltrasyon ve ortalama infiltrasyon hızları ile varyans analiz sonuçları

Yıllar	Bitkiler	Konular	Sabit infiltrasyon hızı (mm/h)	Ort. infiltrasyon hızı (mm/h)
2010	Karnabahar	A	26,0 b	45,7 b
		B	27,7 b	41,3 b
		C	34,3 ab	66,0 a
		D	41,7 a	67,7 a
		F	Konu	7,294
			Blok	4,581
		P	Konu	0,020
			Blok	0,062
	Kırmızı Lahana	A	37,3 ab	47,0 b
		B	32,7 b	47,3 b
		C	37,3 ab	68,0 a
		D	46,3 a	67,7 a
		F	Konu	5,073
			Blok	6,017
		P	Konu	0,044
			Blok	0,037
2011	Karnabahar	A	36,0	51,7 b
		B	35,7	54,7 b
		C	44,0	69,0 a
		D	48,0	71,7 a
		F	Konu	1,854
			Blok	0,268
		P	Konu	0,238
			Blok	0,774
	Kırmızı Lahana	A	39,0 b	50,0 c
		B	34,3 b	52,0 c
		C	52,0 a	75,3 a
		D	41,7 b	64,0 b
		F	Konu	8,324
			Blok	0,012
		P	Konu	0,015
			Blok	0,988

Çizelge 4.11'deki 2010 ve 2011 yılları karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanı sabit infiltrasyon ve ortalama infiltrasyon hızları varyans analiz sonuçlarına göre; 2010 yılında karnabahar deneme alanının sabit ve ortalama infiltrasyon hızlarında $P < 0,05$ düzeyinde konular arasında fark önemli bulunurken, kırmızı lahana deneme alanında ise sabit infiltrasyon hızında $P < 0,05$ düzeyinde, ortalama infiltrasyon hızında ise $P < 0,01$ düzeyinde konular arasında önemli fark bulunmuştur. 2011 yılında karnabahar deneme alanında sabit infiltrasyon hızları açısından konular arasında istatistiksel olarak fark bulunmazken, ortalama infiltrasyon hızları açısından konular arasında $P < 0,05$ düzeyinde önemli fark saptanmıştır. Yine 2011 yılı kırmızı lahana deneme alanında sabit infiltrasyon hızlarında $P < 0,05$ düzeyinde, ortalama infiltrasyon hızlarından $P < 0,01$ önemlilik düzeyinde konular arasında farklılık belirlenmiştir. İnfiltrasyon hızları denemenin ikinci yılında birinci yılına göre daha yüksektir. Atık su konularında denemenin ikinci yılında daha yüksek agregat stabilitesi değerlerinin elde edilmesi (Çizelge 4.9 ve 4.10) suyla temasla agregatların dağılma riskini azaltarak 2. yılda atık su konularında daha yüksek infiltrasyon hızlarına ulaşılmasını sağlamıştır. Duncan çoklu karşılaştırma gruplarına bakıldığında atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konuları en düşük değerleri alarak aynı gruba girerken, seyreltilmiş atık su (C) ve temiz su (D) konuları daha yüksek değerlerle farklı gruplarda yer almışlardır. Atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) uygulanan parsellerde toprağa infiltre olan su miktarlarında özellikle temiz su ile sulanan parsellerle kıyaslandığında önemli düşüşler olması toprakların gözenek büyüklük dağılımıyla açıklanabilir. Gözenek büyüklük dağılımları incelendiğinde atık su konularında mikro çatlakların oluşturduğu $> 300 \mu$ ve drenaj gözeneklerinin oluşturduğu $300-30 \mu$ arasındaki gözenek çapları atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında azalmıştır (Şekil 4.10, 4.11,... 4.17) . Yapılan bir çok çalışmada atık su uygulamalarında toprak geçirgenliğinin azaldığı görülmüştür. Shahalam *et al.* (1997) atık suyun toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisini inceledikleri bir çalışmada atık su ile sulanan alanların temiz su ile sulanana alanlara göre hidrolik iletkenliklerinde yaklaşık %22 lik bir azalma olduğunu belirlemişlerdir. Vinten *et al.* (1983) bir çalışmalarında atık sulardaki askıda katı maddelerin toprakların hidrolik iletkenlikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Denemelerinde kumlu, kumlu tınlı ve siltli tınlı olmak üzere üç farklı tekstürdeki toprak örnekleri üzerinde çalışmışlar ve siltli tınlı toprak örneklerinde hidrolik iletkenliğin diğer toprak örneklerine göre bariz

şekilde azaldığını saptamışlardır. Kumlu ve kumlu tınlı toprakların hidrolik iletkenliklerinde ise fazla bir değişim gözlememişlerdir. Magesan *et al.* (1999) yaptıkları bir çalışmada benzer sonuçlara ulaşmışlar atık su ile sulamanın toprağın hidrolik iletkenliğini azatlığını belirlemişlerdir. Yapılan çalışmaların birçoğunda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır (Aiello *et al.* 2007; Walker and Lin 2007) . Fakat Vogeler (2009) bir çalışmasında uzun yıllar atık su ile sulanan alanlarda atık suyun toprak fiziksel özellikleri üzerine etkisini incelemiş ve atıksu ile sulanan alanların hidrolik iletkenliklerinde ve infiltrasyon hızlarında temiz su ile sulanan alanlara göre bir miktar artış gözlemiştir.

4.2.3. Toprakların kimyasal özellikleri

Toprak kimyasal özelliklerinden; değişebilir Ca, Mg, Na ve K ile B, Fe, Cu, Zn, Mn, Toplam azot (TN), P_2O_5 , K_2O , pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam tuz, organik madde, $CaCO_3$, katyon değişim kapasitesi (KDK) ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerleri ile varyans analiz sonuçları ve Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları 0-20, 20-40, ve 40-60 cm toprak derinlikleri için Çizelge 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 ve 4.17’de verilmiştir. 40-60 cm derinliği, etkili kök derinliği altına atık sudan kaynaklanan bir taşınım olup olmadığını belirlemek için incelenmiştir.

Çizelge 4.12. 2010 yılı hasat sonrası karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanlarında 0-20 cm toprak derinliğinde belirlenen bazı kimyasal özellikler ve varyans analizi sonuçları

	Karnabahar				P		Kırmızı Lahan				P	
Özellikler	A	B	C	D	Konu	Blok	A	B	C	D	Konu	Blok
pH	7,46	7,56	7,58	7,58	0,793	0,315	7,51c	7,46bc	7,62ab	7,68a	0,010	0,126
EC (dS/m)	2,85	2,77	2,58	2,44	0,156	0,734	2,54	2,67	2,30	2,25	0,182	0,489
Top.Tuz (%)	0,10a	0,10a	0,09a	0,08b	0,011	0,422	0,09	0,09	0,08	0,08	0,324	0,258
Org.Mad. (%)	1,93a	1,38b	1,11b	0,83b	0,013	0,426	1,73a	1,11ab	0,92b	0,83b	0,046	0,269
CaCO₃	1,51	0,48	0,87	0,98	0,337	0,480	0,67b	0,54b	1,52b	2,72a	0,014	0,201
K₂O (kg/da)	146,7a	147,7a	109,3b	97,0b	0,030	0,147	136a	138a	79b	59b	0,003	0,267
TN (%)	0,09a	0,09a	0,07b	0,06b	0,007	0,099	0,10a	0,10a	0,07b	0,06b	0,001	0,328
P₂O₅ (kg/da)	47,80a	45,27a	35,87b	32,23b	0,014	0,954	67,00	44,83	31,73	28,20	0,074	0,115
KDK (cmol/kg)	37,70a	36,87b	34,03c	32,00d	0,001	0,457	37,90a	37,03a	34,23b	32,00c	0,001	0,024
Değ. K (cmol/kg)	6,83a	6,98a	5,60b	5,23b	0,010	0,123	7,14	7,32	6,46	5,60	0,089	0,510
Değ. Ca (cmol/kg)	20,56a	19,45a	17,03b	15,61b	0,001	0,498	21,91a	19,67a	17,01b	16,54b	0,006	0,947
Değ. Mg (cmol/kg)	3,04	2,60	2,01	1,59	0,235	0,994	3,28	2,31	1,76	1,49	0,118	0,962
Değ. Na (cmol/kg)	0,74a	0,65a	0,35b	0,32b	0,001	0,270	0,68a	0,62a	0,34b	0,30b	0,001	0,496
ESP (%)	1,96a	1,76a	1,03b	1,00b	0,001	0,287	1,79a	1,67a	1,00b	0,94b	0,001	0,697
Cu (mg/kg)	1,68a	1,63a	1,22b	0,77c	0,005	0,019	2,65	2,48	2,15	0,58	0,140	0,014
Fe (mg/kg)	26,80	22,03	10,13	8,33	0,160	0,428	33,00a	27,10ab	18,10bc	13,20c	0,021	0,149
B (mg/kg)	0,97	0,92	0,58	0,53	0,185	0,001	0,38	0,22	0,16	0,13	0,261	0,528
Mn (mg/kg)	52,84a	26,90b	23,40b	18,00b	0,007	0,023	48,90a	42,90ab	22,70bc	17,30c	0,048	0,096
Zn (mg/kg)	82,9	60,4	53,4	51,5	0,115	0,090	68,97a	63,2a	41,7b	34,7b	0,005	0,225

Çizelge 4.13. 2010 yılı hasat sonrası karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanlarında 20-40 cm toprak derinliğinde belirlenen bazı kimyasal özellikler ve varyans analizi sonuçları

Özellikler	Karnabahar				P		Kırmızı Lahana				P	
	A	B	C	D	Konu	Blok	A	B	C	D	Konu	Blok
pH	7,59b	7,58b	7,66ab	7,79a	0,031	0,033	7,46	7,48	7,50	7,51	0,923	0,508
EC (dS/m)	2,58ab	2,68a	2,31bc	2,11c	0,009	0,173	2,70	2,68	2,49	2,46	0,407	0,488
Top.Tuz (%)	0,10a	0,10a	0,08b	0,07c	0,001	0,016	0,10	0,10	0,09	0,08	0,062	0,422
Org.Mad. (%)	1,11ab	1,29a	1,02b	0,83c	0,005	0,125	1,11	1,20	0,83	0,88	0,057	0,222
CaCO ₃	0,48b	1,08b	1,20b	2,61a	0,011	0,161	0,76	0,76	1,06	0,69	0,627	0,394
K ₂ O (kg/da)	122,0a	97,7ab	82,7b	53,0c	0,005	0,331	136	133	106	120	0,603	0,595
TN (%)	0,08a	0,09a	0,07b	0,06b	0,009	0,045	0,09a	0,09a	0,07b	0,06b	0,002	0,998
P ₂ O ₅ (kg/da)	44,33a	41,6a	31,5b	27,43b	0,001	0,001	44,93a	28,90b	28,73b	23,90b	0,045	0,203
KDK(cmol/kg)	37,23a	36,70a	33,57b	32,07c	0,001	0,351	37,97a	36,37b	34,50c	31,93d	0,001	0,173
Değ.K (cmol/kg)	6,00a	5,97a	5,25a	4,23b	0,009	0,045	6,64	7,21	6,66	6,91	0,804	0,267
Değ.Ca(cmol/kg)	20,23a	20,10a	16,30b	13,53c	0,001	0,082	20,64a	20,27a	17,31b	14,09c	0,001	0,973
Değ.Mg(cmol/kg)	2,97a	2,25ab	1,55b	2,35a	0,021	0,367	3,21	2,69	1,76	1,95	0,178	0,541
Değ.Na(cmol/kg)	0,68a	0,60a	0,34b	0,33b	0,001	0,242	0,72a	0,62a	0,50b	0,30c	0,001	0,020
ESP (%)	1,83a	1,63a	1,01b	1,03b	0,001	0,234	1,90a	1,70ab	1,45b	0,93c	0,001	0,015
Cu (mg/kg)	1,33	1,13	1,02	0,72	0,107	0,045	1,08a	1,03a	0,78b	0,68b	0,008	0,001
Fe (mg/kg)	19,53	21,43	11,33	8,43	0,067	0,038	29,50a	30,50a	17,60b	8,90c	0,002	0,093
B (mg/kg)	1,05	1,77	1,31	0,70	0,222	0,314	0,55	0,16	0,17	0,27	0,074	0,165
Mn (mg/kg)	39,70	39,50	29,70	19,50	0,512	0,035	33,40	26,30	24,10	11,50	0,129	0,337
Zn (mg/kg)	56,30a	61,00a	54,30a	35,30b	0,013	0,244	54,70	62,70	45,60	29,20	0,145	0,630

Çizelge 4.14. 2010 yılı hasat sonrası karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanlarında 40-60 cm toprak derinliğinde belirlenen bazı kimyasal özellikler ve varyans analizi sonuçları

Özellikler	Karnabahar				P		Kırmızı Lahana				P	
	A	B	C	D	Konu	Blok	A	B	C	D	Konu	Blok
pH	7,67	7,69	7,68	7,69	0,999	0,958	7,42	7,48	7,55	7,60	0,510	0,363
EC (dS/m)	2,42	2,20	2,07	1,94	0,093	0,793	2,58	2,66	2,50	2,13	0,124	0,370
Top.Tuz (%)	0,09a	0,08ab	0,07bc	0,07c	0,020	0,096	0,09a	0,09a	0,09a	0,07b	0,027	0,154
Org.Mad. (%)	1,11	1,01	0,88	0,64	0,133	0,249	1,48a	0,92b	1,15ab	0,74b	0,020	0,096
CaCO ₃	1,30	1,30	1,74	2,39	0,813	0,527	0,72	0,61	0,72	2,33	0,583	0,619
K ₂ O (kg/da)	106,0a	100ab	74,3bc	45c	0,009	0,243	142	154	132	95	0,292	0,089
TN (%)	0,07a	0,07a	0,06b	0,06b	0,003	0,815	0,07a	0,07a	0,06b	0,06b	0,007	0,706
P ₂ O ₅ (kg/da)	35,77a	32,80a	25,57b	21,63b	0,001	0,097	33,43	27,47	23,43	22,57	0,086	0,182
KDK(cmol/kg)	35,53a	34,83a	32,13b	31,83b	0,001	0,668	35,87a	34,30b	32,20c	32,00c	0,001	0,260
Değ.K (cmol/kg)	5,97a	5,93a	5,26a	4,23b	0,013	0,361	6,75	6,78	6,89	5,89	0,710	0,162
Değ.Ca(cmol/kg)	19,01a	18,1ab	14,8bc	16,22c	0,022	0,994	20,47a	18,88b	14,66c	14,56c	0,001	0,05
Değ.Mg(cmol/kg)	2,38	2,63	2,15	2,30	0,718	0,422	2,41	2,26	2,88	1,50	0,315	0,453
Değ.Na(cmol/kg)	0,48a	0,44a	0,32b	0,29b	0,001	0,861	0,56	0,48	0,37	0,27	0,069	0,052
ESP (%)	1,35a	1,25a	1,00b	0,91b	0,004	0,932	1,56	1,41	1,14	0,84	0,099	0,05
Cu (mg/kg)	1,00	1,10	0,92	0,67	0,157	0,169	0,73	0,73	0,60	0,40	0,103	0,661
Fe (mg/kg)	14,03	15,13	8,73	9,90	0,332	0,032	19,20a	19,00a	12,10ab	8,30b	0,030	0,035
B (mg/kg)	1,12	0,89	0,78	0,55	0,444	0,006	0,48	0,26	0,39	0,40	0,914	0,820
Mn (mg/kg)	28,30ab	39,10a	23,10b	17,77b	0,021	0,019	22,40	19,80	21,10	18,20	0,529	0,011
Zn (mg/kg)	57,43	56,0	47,9	37,9	0,077	0,276	45,60	39,10	37,80	31,5	0,089	0,003

Çizelge 4.15. 2011 yılı hasat sonrası karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanlarında 0-20 cm toprak derinliğinde belirlenen bazı kimyasal özellikler ve varyans analizi sonuçları

	Karnabahar				P		Kırmızı Lahana				P	
Özellikler	A	B	C	D	Konu	Blok	A	B	C	D	Konu	Blok
pH	7,46	7,46	7,45	7,62	0,611	0,297	7,55	7,51	7,28	7,52	0,146	0,146
EC (dS/m)	2,86a	2,81a	2,59a	2,14b	0,015	0,707	2,63a	2,74a	2,28b	2,18b	0,012	0,202
Top.Tuz (%)	0,10a	0,10a	0,09ab	0,08b	0,016	0,824	0,09ab	0,10a	0,08bc	0,08c	0,022	0,536
Org.Mad. (%)	2,78a	2,58a	1,80b	0,82c	0,001	0,021	1,74a	1,47ab	1,22b	0,80c	0,003	0,133
CaCO₃	1,39	0,94	1,05	1,67	0,441	0,257	0,69b	0,65b	1,00b	2,18a	0,003	0,716
K₂O (kg/da)	158,7a	156a	127ab	99b	0,018	0,132	152,7a	142,0a	96,3b	64,0c	0,001	0,132
TN (%)	0,12a	0,12a	0,09b	0,06c	0,001	0,071	0,11a	0,11ab	0,10b	0,06c	0,002	0,755
P₂O₅ (kg/da)	66,30a	64,00a	51,87a	30,93b	0,012	0,042	104,0a	76,7ab	49,9bc	33,2c	0,005	0,432
KDK(cmol/kg)	35,07a	34,90a	32,90b	32,07c	0,001	0,001	35,60a	34,83a	33,40b	32,53b	0,001	0,033
Değ.K (cmol/kg)	6,97a	6,31ab	4,99bc	4,68c	0,027	0,008	7,05	7,18	5,76	5,50	0,335	0,081
Değ.Ca(cmol/kg)	18,69	16,43	18,89	18,17	0,498	0,554	17,3	17,9	18,1	19,7	0,395	0,426
Değ.Mg(cmol/kg)	4,22	4,54	3,23	2,26	0,097	0,044	5,55a	4,42ab	2,89b	2,69b	0,018	0,053
Değ.Na(cmol/kg)	0,72a	0,78a	0,54b	0,45b	0,005	0,042	0,74a	0,69a	0,45b	0,33b	0,001	0,112
ESP (%)	2,05ab	2,23a	1,63bc	1,41c	0,013	0,026	2,08a	1,99a	1,35b	1,01b	0,002	0,132
Cu (mg/kg)	3,80a	3,58a	2,06b	0,94b	0,003	0,465	4,55a	4,27a	2,23b	0,83b	0,003	0,015
Fe (mg/kg)	44,60ab	45,80a	34,30b	20,90c	0,004	0,006	41,53a	41,37a	27,67b	9,10c	0,001	0,141
B (mg/kg)	0,54	0,55	0,59	0,35	0,157	0,001	0,48	0,39	0,29	0,37	0,223	0,017
Mn (mg/kg)	55,53a	48,27a	32,43b	21,77b	0,002	0,013	49,50a	52,13a	34,93b	20,20c	0,001	0,001
Zn (mg/kg)	73,27	61,27	49,23	49,87	0,359	0,225	78,57a	72,40a	44,33b	31,93b	0,002	0,018

Çizelge 4.16. 2011 yılı hasat sonrası karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanlarında 20-40 cm toprak derinliğinde belirlenen bazı kimyasal özellikler ve varyans analizi sonuçları

Özellikler	Karnabahar				P		Kırmızı Lahana				P	
	A	B	C	D	Konu	Blok	A	B	C	D	Konu	Blok
pH	7,52b	7,51b	7,62b	7,80a	0,026	0,066	7,51	7,52	7,54	7,58	0,952	0,399
EC (dS/m)	2,76a	2,75a	2,35b	2,09c	0,001	0,450	2,57	2,59	2,62	2,32	0,537	0,519
Top.Tuz (%)	0,10a	0,10a	0,08b	0,07c	0,001	0,016	0,09	0,09	0,09	0,08	0,455	0,209
Org.Mad. (%)	2,24a	2,11a	1,41b	0,83c	0,001	0,177	1,64a	1,67a	0,94b	0,79b	0,001	0,292
CaCO ₃	0,79b	1,25b	1,02b	2,15a	0,034	0,158	0,72b	0,80b	1,14ab	1,67a	0,018	0,297
K ₂ O (kg/da)	152,0a	125,3a	88,0b	56,7b	0,002	0,608	150,7	147,7	118,3	80,0	0,062	0,708
TN (%)	0,11a	0,11a	0,07b	0,06b	0,001	0,064	0,11a	0,10ab	0,08bc	0,06c	0,018	0,380
P ₂ O ₅ (kg/da)	68,13a	62,60a	37,60b	30,27b	0,017	0,031	83,8	69,0	41,8	32,6	0,051	0,104
KDK(cmol/kg)	34,93a	34,13b	32,30c	31,50d	0,001	0,314	35,63a	35,29a	33,90b	32,03c	0,001	0,550
Değ.K (cmol/kg)	6,71a	5,81ab	5,31b	3,62c	0,002	0,029	6,48ab	7,07a	6,30b	5,98b	0,045	0,001
Değ.Ca(cmol/kg)	17,48	17,73	17,42	18,69	0,395	0,210	16,53	17,00	18,81	19,03	0,054	0,114
Değ.Mg(cmol/kg)	4,17a	4,22a	2,13b	2,55b	0,021	0,047	3,12a	2,87a	2,76ab	2,30b	0,025	0,001
Değ.Na(cmol/kg)	0,79a	0,77a	0,58b	0,48b	0,007	0,060	0,74a	0,70a	0,47b	0,34c	0,001	0,064
ESP (%)	2,25a	2,25a	1,81ab	1,53b	0,026	0,074	2,09a	1,97a	1,39b	1,06b	0,002	0,061
Cu (mg/kg)	3,08	3,37	1,73	1,46	0,066	0,372	3,50a	3,41a	1,86b	0,83c	0,002	0,117
Fe (mg/kg)	38,90	41,40	34,30	22,30	0,159	0,080	41,43a	38,77a	22,90b	9,43c	0,002	0,425
B (mg/kg)	0,50	0,50	0,69	0,46	0,526	0,009	0,71	0,62	0,62	0,54	0,780	0,077
Mn (mg/kg)	54,70a	47,1ab	34,43b	15,03c	0,001	0,013	40,93a	40,33a	25,60b	17,60b	0,004	0,013
Zn (mg/kg)	63,17	56,67	49,50	35,10	0,110	0,094	75,33a	68,67a	44,17b	26,80c	0,001	0,001

Çizelge 4.17. 2011 yılı hasat sonrası karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanlarında 40-60 cm toprak derinliğinde belirlenen bazı kimyasal özellikler ve varyans analizi sonuçları

Özellikler	Karnabahar				P		Kırmızı Lahana				P	
	A	B	C	D	Konu	Blok	A	B	C	D	Konu	Blok
pH	7,53	7,63	7,73	7,81	0,347	0,304	7,45	7,56	7,44	7,69	0,233	0,135
EC (dS/m)	2,53a	2,44ab	2,10bc	1,94c	0,023	0,428	2,70a	2,73a	2,48b	2,13c	0,001	0,014
Top.Tuz (%)	0,09a	0,09a	0,08ab	0,07b	0,043	0,422	0,09a	0,10a	0,09b	0,07c	0,001	0,016
Org.Mad. (%)	1,82a	1,67a	1,01b	0,82b	0,022	0,103	1,77a	1,52a	1,34a	0,72b	0,025	0,672
CaCO ₃	1,02	1,25	1,39	1,27	0,921	0,879	0,67	0,73	1,25	2,32	0,086	0,850
K ₂ O (kg/da)	125,3a	113,0a	84,7b	56,3c	0,002	0,083	164,7a	161,7a	114,7b	80,0c	0,001	0,474
TN (%)	0,10a	0,09a	0,08ab	0,06b	0,027	0,035	0,11a	0,10a	0,10a	0,06b	0,002	0,037
P ₂ O ₅ (kg/da)	47,20a	50,27a	37,93b	23,77c	0,001	0,006	82,5a	59,8ab	36,8b	27,1b	0,027	0,049
KDK(cmol/kg)	33,90a	33,80a	31,73b	31,17b	0,005	0,160	35,23a	34,83a	33,13b	32,03c	0,001	0,091
Değ.K (cmol/kg)	5,44a	5,68a	4,36b	3,46c	0,001	0,018	6,98	7,05	6,00	5,82	0,146	0,026
Değ.Ca(cmol/kg)	18,40	17,85	16,66	18,35	0,324	0,623	15,69b	16,87b	19,32a	21,08a	0,003	0,155
Değ.Mg(cmol/kg)	3,28ab	3,48a	2,50b	1,67c	0,005	0,548	2,44	2,53	3,45	2,52	0,079	0,129
Değ.Na(cmol/kg)	0,63a	0,60a	0,53ab	0,44b	0,030	0,006	0,74a	0,61ab	0,46bc	0,33c	0,004	0,839
ESP (%)	1,87	1,77	1,67	1,40	0,172	0,023	2,10a	1,75ab	1,39bc	1,04c	0,008	0,909
Cu (mg/kg)	2,56	3,25	2,44	1,83	0,136	0,027	1,94	1,81	1,25	0,64	0,087	0,044
Fe (mg/kg)	40,57a	40,03a	31,00a	13,73b	0,010	0,016	33,30a	36,23a	18,40b	8,70b	0,004	0,527
B (mg/kg)	0,64	0,65	0,63	0,51	0,452	0,001	0,68	0,48	0,44	0,41	0,351	0,031
Mn (mg/kg)	41,23a	42,00a	32,03b	15,93c	0,001	0,004	34,13a	36,53a	28,73a	13,20b	0,020	0,100
Zn (mg/kg)	57,30	55,20	47,47	40,63	0,176	0,005	54,33a	49,30ab	40,90b	25,57c	0,006	0,002

Karnabahar deneme alanı 0-20, 20-40, 40-60 cm derinliklerden alınan toprak örneklerinde 2010 yılı için yapılan kimyasal analiz sonucunda pH 7,46-7,79 arasında değerler alırken en yüksek pH değeri temiz su (D) konusunda 20-40 cm toprak derinliğinde, en düşük değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda; Elektriksel iletkenlik (EC) 1,94-2,85 dS/m arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Toplam tuz içeriği %0,07-0,10 arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) ve 20-40 cm havalandırılmış atık su (B) konularında en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) ve seyreltilmiş atık su (C) konularında; Organik Madde içeriği %0,64-1,93 arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Kireç (CaCO_3) içeriği %0,48-2,39 arasında değerler alırken en yüksek değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda, en düşük değerler 0-20 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su (B) konusunda ve 20-40 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda; Potasyum (K_2O) içeriği 45-147,7 kg/da arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su (B) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Toplam Azot (TN) içeriği %0,06-0,09 arasında değerler alırken en yüksek değerler 0-20 ve 20-40 cm toprak derinliklerinde atık su (A) ve 20-40 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su (B) konularında ölçülürken en düşük değerler bütün derinliklerde temiz su (D) ve seyreltilmiş atık su (C) konularında; Fosfor (P_2O_5) içeriği 21,63-47,80 kg/da arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda saptanmıştır. Söz konusu toprak örneklerinin KDK değerleri 31,83-37,70 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek KDK değeri 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda belirlenirken en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda belirlenmiştir. Değişebilir katyonlardan Potasyum (K) 4,23-6,98 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su (B) konusunda ölçülürken en düşük değer 20-40 cm ve 40-60 cm toprak derinliklerinde

temiz su (D) konusunda; kalsiyum (Ca) 13,53-20,56 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer 20-40 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Magnezyum (Mg) 1,55-3,04 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer 20-40 cm toprak derinliğinde seyreltilmiş atık su (C) konusunda; Sodyum (Na) 0,29-0,74 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda olmuştur. ESP değerleri %0,91-1,96 arasında değerler alırken en yüksek ESP değeri 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda belirlenirken en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda ölçülmüştür. Toprak örneklerinde belirlenen ağır metal içerikleri incelendiğinde bakır (Cu) içeriği 0,67-1,68 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Demir (Fe) içeriği 8,33-26,80 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 0-20 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Bor (B) içeriği 0,53-1,77 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 20-40 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su konusunda (B), en düşük değer 0-20 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Mangan (Mn) içeriği 17,77-52,84 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Çinko (Zn) içeriği 35,30-82,90 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 20-40 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda görülmüştür.

Kırmızı lahana deneme alanı 0-20, 20-40, 40-60 cm derinliklerden alınan toprak örneklerinde 2010 yılı için yapılan kimyasal analiz sonucunda pH 7,42-7,68 arasında değerler alırken en yüksek pH değeri temiz su (D) konusunda 0-20 toprak derinliğinde en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda; Elektriksel iletkenlik (EC) 2,13-2,70 dS/m arasında değerler alırken en yüksek değer 20-40 cm toprak derinliğinde atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında en düşük

değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Toplam tuz içeriği %0,07-0,10 arasında değerler alırken en yüksek değer 20-40 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Organik Madde içeriği %0,74-1,73 arasında değerler alırken en yüksek 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Kireç (CaCO_3) içeriği %0,54-2,72 arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda ölçülürken en düşük değer yine 0-20 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su (B) konusunda; Potasyum (K_2O) içeriği 59-154 kg/da arasında değerler alırken en yüksek değer 40-60 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su (B) konusunda, en düşük değer 0-20 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Toplam Azot (TN) içeriği %0,06-0,010 arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında ölçülürken en düşük değerler tüm toprak derinliklerinde temiz su (D) ve 40-60 cm toprak derinliğinde seyreltilmiş atık su (C) konularında; Fosfor (P_2O_5) içeriği 22,57-67,0 kg/da arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda belirlenmiştir. Söz konusu toprak örneklerinin KDK değerleri 31,93-37,97 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek KDK değeri 20-40 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda belirlenirken en düşük değer aynı toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda belirlenmiştir. Değişebilir kationlardan Potasyum (K) 5,60-7,32 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su (B) konusunda ölçülürken en düşük değer 0-20 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; kalsiyum (Ca) 14,09-21,91 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer 20-40 cm toprak derinliklerinde temiz su (D) konusunda; Magnezyum (Mg) 1,49-3,28 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer yine 0-20 cm toprak derinliklerinde temiz su (D) konusunda; Sodyum (Na) 0,27-0,72 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 20-40 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda saptanmıştır. ESP değerleri %0,84-1,90 arasında değerler alırken en yüksek ESP değeri 20-40 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda belirlenirken en

düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda bulunmuştur. Toprak örneklerinden belirlenen ağır metal içerikleri incelendiğinde bakır (Cu) içeriği 0,40-2,65 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Demir (Fe) içeriği 8,3-33,0 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Bor (B) içeriği 0,13-0,55 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 20-40 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 0-20 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Mangan (Mn) içeriği 11,50-48,90 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 20-40 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Çinko (Zn) içeriği 29,20-68,97 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 20-40 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda görülmüştür.

Karnabahar deneme alanı 0-20, 20-40, 40-60 cm derinliklerden alınan toprak örneklerinde 2011 yılı için yapılan kimyasal analiz sonucunda pH 7,45-7,81 arasında değerler alırken en yüksek pH değeri temiz su (D) konusunda 40-60 cm toprak derinliğinde en düşük değer 0-20 cm toprak derinliğinde seyreltilmiş atık su (C) konusunda; Elektriksel iletkenlik (EC) 1,94-2,86 dS/m arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Toplam tuz içeriği %0,07-0,10 arasında değerler alırken en yüksek değerler 0-20 ve 20-40cm toprak derinliklerinde atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında, en düşük değerler 20-40 cm ve 40-60 cm toprak derinliklerinde temiz su (D) konusunda; Organik Madde içeriği %0,82-2,78 arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 0-20 ve 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konularında; Kireç (CaCO_3) içeriği %0,79-2,15 arasında değerler alırken en yüksek değer 20-40 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda en düşük değerler 20-40 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda; Potasyum (K_2O) içeriği 56,3-158,7 kg/da arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A)

konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su konusunda (D); Toplam Azot (TN) iğeriği %0,06-0,12 arasında değerler alırken en yüksek değerler 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında ölçülürken en düşük değerler her üç toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Fosfor (P_2O_5) iğeriği 23,77-68,13 kg/da arasında değerler alırken en yüksek değer 20-40 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda belirlenmiştir. Söz konusu toprak örneklerinin KDK değerleri 31,17-35,07 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek KDK değeri 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda saptanmıştır. Değişebilir katyonlardan Potasyum (K) 3,46-6,97 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer 40-60 toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Kalsiyum (Ca) 16,43-18,89 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde seyreltilmiş atık su (C) konusunda ölçülürken en düşük değer yine 0-20 cm toprak derinliklerinde havalandırılmış atık su (B) konusunda; Magnezyum (Mg) 1,67-4,54 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su (B) konusunda ölçülürken en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Sodyum (Na) 0,44-0,79 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 20-40 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değerler 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda belirlenmiştir. ESP değerleri %1,40-2,25 arasında değerler alırken en yüksek ESP 20-40 cm toprak derinliğinde atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda olmuştur. Toprak örneklerinden belirlenen ağır metal içerikleri incelendiğinde Bakır (Cu) iğeriği 0,94-3,80 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer yine aynı toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Demir (Fe) iğeriği 13,73-45,80 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su (B) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Bor (B) iğeriği 0,35-0,69 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 20-40 cm toprak derinliğinde seyreltilmiş atık su (C) konusunda, en düşük değer 0-20 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Mangan (Mn) iğeriği 15,03-55,53 mg/kg arasında değerler alırken en

yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 20-40 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Çinko (Zn) içeriği 35,10-73,27 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda en düşük değer 20-40 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda görülmüştür.

Kırmızı lahana deneme alanı 0-20, 20-40, 40-60 cm derinliklerden alınan toprak örneklerinde 2011 yılı için yapılan kimyasal analiz sonucunda pH 7,28-7,69 arasında değerler alırken en yüksek pH değeri temiz su (D) konusunda 40-60 toprak derinliğinde, en düşük değer 0-20 cm toprak derinliğinde seyreltilmiş atık su (C) konusunda; Elektriksel iletkenlik (EC) 2,13-2,74 dS/m arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su (B) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Toplam tuz içeriği %0,07-0,10 arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm ve 40-60 cm toprak derinliklerinde havalandırılmış atık su (B) konusunda en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Organik Madde içeriği %0,72-1,77 arasında değerler alırken en yüksek değer 40-60 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Kireç (CaCO_3) içeriği %0,65-2,32 arasında değerler alırken en yüksek değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda, en düşük değer 0-20 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su (B) konusunda; Potasyum (K_2O) içeriği 64-164,7 kg/da arasında değerler alırken en yüksek değer 40-60 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 0-20 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Toplam Azot (TN) içeriği %0,06-0,11 arasında değerler alırken en yüksek değerler her üç toprak derinliklerinde atık su (A) konusunda ve 0-20 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su (B) konusunda ölçülürken en düşük değerler bütün derinliklerde temiz su (D) konusunda; Fosfor (P_2O_5) içeriği 27,10-104,0 kg/da arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda saptanmıştır. Söz konusu toprak örneklerinin KDK değerleri 32,03-35,63 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek KDK değeri 20-40 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda belirlenirken en düşük

değer 20-40 ve 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konularında bulunmuştur. Değişebilir katyonlardan Potasyum (K) 5,50-7,18 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su (B) konusunda ölçülürken en düşük değer yine 0-20 toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Kalsiyum (Ca) 15,69-21,08 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda ölçülürken en düşük değer yine 40-60 cm toprak derinliklerinde atık su (A) konusunda; Magnezyum (Mg) 2,30-5,55 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer 20-40 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Sodyum (Na) 0,33-0,74 cmol/kg arasında değerler alırken en yüksek değerler her üç toprak derinliğinde atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değerler 0-20 cm ve 40-60 cm toprak derinliklerinde temiz su (D) konusunda belirlenmiştir. ESP değerleri %1,01-2,10 arasında değerler alırken en yüksek ESP 40-60 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 0-20 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda olmuştur. Toprak örneklerinden belirlenen ağır metal içerikleri incelendiğinde, Bakır (Cu) içeriği 0,64-4,55 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Demir (Fe) içeriği 8,70-41,53 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Bor (B) içeriği 0,29-0,71 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 20-40 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 0-20 cm toprak derinliğinde seyreltilmiş atık su (C) konusunda; Mangan (Mn) içeriği 13,20-52,13 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde havalandırılmış atık su (B) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda; Çinko (Zn) içeriği 25,57-78,57 mg/kg arasında değerler alırken en yüksek değer 0-20 cm toprak derinliğinde atık su (A) konusunda, en düşük değer 40-60 cm toprak derinliğinde temiz su (D) konusunda görülmüştür.

Varyans analizi sonuçlarına göre karnabahar deneme alanında her iki deneme yılında da 0-20 ve 40-60 cm toprak derinliklerinde belirlenen pH değerleri arasındaki fark önemsiz

bulunurken, 20-40 cm toprak derinliğinde $P<0,05$ düzeyinde fark önemli bulunmuştur. Kırmızı lahana deneme alanında 2010 yılı 0-20 cm toprak derinliğinde ölçülen pH değerleri için konular arasında istatistiksel olarak $P<0,01$ seviyesinde önemli bir fark olduğu gözlenirken, 2010 yılında diğer toprak derinliklerindeki ve 2011 yılı tüm toprak derinliklerindeki pH değerleri arasında istatistiksel bir fark gözlenmemiştir.

Karnabahar deneme alanında belirlenen elektriksel iletkenlik değerleri açısından konular arasında 2010 yılında 20-40 cm toprak derinliğinde $P<0,01$ düzeyinde istatistiksel fark gözlenirken, 2011 yılında 0-20 cm ve 40-60 cm toprak derinliklerinde $P<0,05$ ve 20-40 cm toprak derinliğinde $P<0,01$ düzeyinde istatistiksel fark saptanmıştır. Kırmızı lahana deneme alanında belirlenen elektriksel iletkenlik değerleri arasında 2010 yılında bütün toprak derinliklerinde istatistiksel olarak fark gözlenmezken, 2011 yılında 0-20 cm toprak derinliğinde $P<0,05$, 40-60 cm toprak derinliğinde $P<0,01$ düzeyinde istatistiksel farklar bulunmuştur.

2010 ve 2011 yıllarında karnabahar deneme alanı toplam tuz içeriği yönünden önemli farklar bulunmuş, önem düzeyi 20-40 cm toprak derinliği için $P<0,01$ olmuştur. Yine her iki deneme yılı göz önüne alındığında kırmızı lahana deneme alanı toplam tuz içeriği bakımından 2010 yılı 40-60 cm, 2011 yılı 0-20 cm toprak derinliklerinde $P<0,05$ düzeyinde, 2011 yılı 40-60 cm toprak derinliğinde $P<0,01$ düzeyinde fark önemli bulunurken, her iki deneme yılı için diğer bütün toprak derinliklerinde istatistiksel olarak önemli farklar olmamıştır.

Toprakların organik madde içeriği varyans analiz sonuçları incelendiğinde; karnabahar deneme alanında 2010 yılında 0-20 cm toprak derinliğinde $P<0,05$ düzeyinde, 20-40 cm derinliğinde $P<0,01$ düzeyinde farklar gözlenirken, 2011 yılında 0-20 ve 20-40 toprak derinliklerinde $P<0,01$ düzeyinde, 40-60 cm toprak derinliklerinde $P<0,05$ düzeyinde farklar gözlenmiştir. Kırmızı lahana deneme alanında ise belirlenen organik madde miktarları arasında 2010 yılında 0-20 cm ve 40-60 cm toprak derinliklerinde $P<0,05$ düzeyinde, 2011 yılında 0-20 ve 20-40 cm toprak derinliklerinde $P<0,01$ düzeyinde, 40-60 cm derinliğinde ise $P<0,05$ düzeyinde istatistiksel farklar gözlenmiştir.

Her iki deneme yılında karnabahar deneme alanında kireç (CaCO_3) içerikleri bakımından 2010 ve 2011 yıllarında 20-40 cm toprak derinliğinde $P<0,05$ düzeyinde, fark gözlenirken, yine her iki deneme yılında diğer toprak derinliklerinde istatistiksel olarak bir fark gözlenmemiştir. Kırmızı lahana deneme alanında ise 2010 yılında 0-20 cm ve 2011 yılında 20-40 cm toprak derinliklerinde $P<0,05$ düzeyinde, 2011 yılında 0-20 cm toprak derinliğinde de $P<0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli fark bulunurken, her iki deneme yılında diğer toprak derinlikleri için istatistiksel fark belirlenmemiştir.

2010 ve 2011 deneme yıllarında karnabahar deneme alanı K_2O içerikleri açısından 0-20 cm toprak derinliğinde $P<0,05$ düzeyinde diğer bütün toprak derinliklerinde de $P<0,01$ düzeyinde konular arasındaki farklar önemli bulunmuştur. Kırmızı lahana deneme alanında ise 2010 yılı 0-20 cm, 2011 yılı 0-20 ve 40-60 cm toprak derinliklerinde $P<0,01$ düzeyinde fark önemli bulunurken, her iki deneme yılı dikkate alındığında diğer bütün toprak derinliklerinde istatistiksel fark görülmemiştir.

Karnabahar ve kırmızı lahana deneme alanı toplam azot (TN) içeriği bakımından her iki deneme yılında ve her iki deneme alanı için, kırmızı lahana deneme alanı 2011 yılı 20-40 cm toprak derinliği dışındaki bütün toprak derinliklerinde $P<0,01$ önem düzeyinde istatistiksel olarak fark olduğu belirlenmiştir. Kırmızı lahana deneme alanı 2011 yılı 20-40 cm toprak derinliğinde konular arasında fark ise $P<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Karnabahar deneme alanında her iki deneme yılı göz önüne alındığında P_2O_5 içeriği bakımından bütün toprak derinliklerinde önemli istatistiksel farklar belirlenmiştir. Farklar 2010 yılında 20-40 cm ve 40-60 cm toprak derinliklerinde, 2011 yılında da 40-60 cm toprak derinliğinde önemli olmuştur. Kırmızı lahana deneme alanından ise 2010 yılı 20-40 toprak derinliğinde $P<0,05$ düzeyinde, 2011 yılı 0-20 cm toprak derinliğinde $P<0,01$ düzeyinde ve 40-60 cm toprak derinliğinde de $P<0,05$ düzeyinde farklar gözlenirken, her iki deneme yılında diğer toprak derinliklerinde istatistiksel olarak fark belirlenmemiştir.

2010 ve 2011 deneme yılları dikkate alındığında değişebilir katyonlardan Potasyum (K) karnabahar deneme alanında 2011 yılında 0-20 cm toprak derinliğinde $P<0,05$ düzeyinde konular arasında önemli farklar bulunurken, diğer toprak derinliklerinde $P<0,01$ düzeyinde farklar önemli saptanmıştır. Kırmızı lahanada ise 2011 yılında 20-40 cm toprak derinliğinde $P<0,05$ düzeyinde fark önemli bulunurken, diğer toprak derinliklerinde istatistiksel bir fark gözlenmemiştir.

Değişebilir katyonlardan Kalsiyum (Ca) için karnabahar deneme alanında 2010 yılında 0-20 cm ve 20-40 cm toprak derinliklerinde $P<0,01$ düzeyinde farklar önemli bulunurken, 40-60 cm toprak derinliğinde $P<0,05$ düzeyinde önemli fark bulunmuştur. 2011 yılında ise tüm toprak derinliklerinde konular arasında istatistiksel bir fark gözlenmemiştir. Kırmızı lahanada ise 2010 yılı tüm toprak derinliklerinde ve 2011 yılında da 40-60 cm toprak derinliğinde $P<0,01$ düzeyinde önemli farklar görülürken 2011 yılında diğer toprak derinliklerinde istatistiksel bir fark bulunmamıştır.

Değişebilir katyonlardan Magnezyum (Mg) için karnabahar deneme alanında 2010 ve 2011 yıllarında 20-40 cm toprak derinliğinde $P<0,05$ düzeyinde önemli farklar bulunurken, 2011 yılında 40-60 cm toprak derinliğinde $P<0,01$ düzeyinde önemli farklar saptanmıştır. Diğer toprak derinliklerinde farklar istatistiksel olarak önemsiz olmuştur. Kırmızı lahanada ise 2011 yılında 0-20 ve 20-40 cm toprak derinliklerinde $P<0,05$ düzeyinde fark önemli bulunurken, diğer toprak derinliklerinde istatistiksel bir fark görülmemiştir.

Değişebilir katyonlardan Sodyum (Na) için, 2010 yılında kırmızı lahana deneme alanı 40-60 cm toprak derinliğinde istatistiksel bir fark gözlenmezken, her iki deneme yılı ve bitkide diğer bütün toprak derinliklerinde önemli farklar bulunmuştur. Değişebilir sodyum içeriğinin düşük olması düşük ESP değerlerine sebep olmuştur. Deneme toprakları ESP varyans analiz sonuçlarına göre, 2011 yılı karnabahar 40-60 cm toprak derinliği ile 2010 yılı kırmızı lahana 40-60 cm toprak derinliği dışında her iki deneme yılı ve her iki bitki deneme alanı için bütün toprak derinliklerinde $P<0,01$ düzeyinde konular arasında önemli farklar gözlenmiştir. Ancak ESP değerleri 2010 yılında bütün

konularda %2'nin altında kalmıştır. 2011 yılında ise bazı konularda %2'nin biraz üzerinde değerlerde gözlenmiştir. Genel olarak en yüksek ESP değerleri atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında belirlenirken, seyreltilmiş atık su (C) ve temiz su (D) konularında daha düşük ESP değerleri belirlenmiştir. Bu durum toprakta sulamadan kaynaklı bir sodyum birikimi sorununun oluşmadığını göstermektedir.

Deneme topraklarının ağır metal içerikleri varyans analiz sonuçları incelendiğinde, genel olarak denemenin ilk yılında üst toprak katmanlarında istatistiksel farklar gözlenirken, denemenin ikinci tüm toprak katmanlarında önemli farklar gözlenmiştir. Her iki bitki deneme alanında mangan (Mn) açısından 2010 yılında 0-20 cm ve karnabahar deneme alanı 40-60cm toprak derinliğinde, 2011 yılında da tüm toprak derinliklerde su konuları arasında önemli farklar belirlenmiştir. Çinko (Zn) açısından ilk deneme yılında kırmızı lahana deneme alanında 0-20 cm toprak derinliği ile karnabahar 20-40 cm toprak derinliğinde istatistiksel olarak farklar gözlenirken denemenin ikinci yılında kırmızı lahana deneme alanının tüm toprak derinliklerinde önemli farklar saptanmıştır. Kırmızı lahana deneme alanında demir (Fe) içeriği açısından da her iki yılda tüm toprak derinliklerinde konular arasındaki farklar önemli olurken karnabahar deneme alanında 2011 yılında 40-60 cm toprak derinliğinde konular arasındaki fark önemli bulunmuştur. Bakır (Cu) içeriği bakımından karnabahar deneme alanında her iki deneme yılında 0-20 cm toprak derinliğinde, kırmızı lahana deneme alanında ise 2010 yılında 20-40 cm, 2011 yılında ise 0-20 ve 20-40 cm toprak derinliklerinde istatistiksel olarak farklar önemli olmuştur. Fakat Bor (B) iyonu açısından sulama konuları arasında her iki bitki deneme alanında, her iki deneme yılında ve tüm toprak derinliklerinde önemli farklar bulunmamıştır.

Toprak analizi sonuçlarının Duncan gruplarına göre genel olarak toprak pH ları temiz su (D) ve seyreltilmiş atık su (C) konularında yüksek değerlerle aynı gruplarda yer alırken atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konuları daha düşük değerlerle aynı gruplarda yer almışlardır. Toprakların içeriklerinde ise temiz su konusu en yüksek değerlerle atık su konularından farklı gruplarda yer almıştır. Ergene (1993) topraki pH'nın kireç (CaCO_3) içeriği arttıkça yükseleceğini bildirmiştir. Dolayısıyla temiz su (D) konusunun

pH sınırın diğer atık su konularının pH'larından bir miktar yüksek olmasının yüksek kireç içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sezen (1991) toprakların organik madde miktarındaki artışın toprakların katyon değişim kapasitelerini (KDK) artıracığını bildirmiştir. Bu çalışmada da benzer sonuçlar gözlenmiş atık su (A), havalandırılmış atık su (B) ve seyreltilmiş atık su (C) konularındaki organik madde miktarındaki artış KDK'lerde da gözlenmiştir. Diğer toprak kimyasal özelliklerinde ise genel olarak atık su ve havalandırılmış atık su konuları yüksek değerlerle aynı gruplarda yer alırken, temiz su konusu daha düşük değerlerle farklı gruplarda yer almıştır. Seyreltilmiş atık su (C) konusu bazı değerlerde atık su konuları ile bazılarında ise temiz su konusunda aynı gruplarda yer almıştır. Uygulanan suların niteliğine bağlı olarak toprağın kimyasal özelliklerinde önemli değişimler olması beklenen bir sonuçtur. Çünkü düşük nitelikli sulama sularının toprağa uygulanması, toprakta bitki besin maddeleri arasındaki dengenin bozulmasına, toksik iyonların birikimine, tuz miktarlarında artışlara ve toprak pH'sında düşüslere veya artışlara neden olmaktadır (Çakır vd 1997; Sağlam ve Bellitürk 2003). Atık su kullanımında üzerinde durulması gereken en önemli hususlar toprakta tuzlanma, yapının bozulması ve bitkiye toksik etki yapan ağır metal birikimleridir. Yıkama yapılmaması durumunda veya kış yağışlarının yetersiz olduğu koşullarda toprakta tuz birikimi söz konusu olacağından tuzluluğun özenle izlenmesi gerekmektedir. Genel olarak atık suyla sulamaya bağlı olarak toprakta organik madde miktarında bir artıştan bahsedilebilir. Aynı zamanda atık suyla sulanan alanlarda kirecinde düşük bulunması aktif kalsiyuma işaret etmektedir. Dolayısıyla organik madde ve Ca'a bağlı olarak agregat stabiliteside atık su ile sulanan parsellerde artmıştır. ESP değerlerinin de düşük olması agregat stabilitesi üzerine pozitif etkiyi artırmıştır. Atık su kullanımı ile agregat stabilitesinin artmasına karşılık drenajı sağlayan gözenek miktarının azalması infiltrasyonu azaltmıştır. Toksik etki açısından özellikle B iyonu sorun yaratmazken, diğer ağır metaller de toprak kirliliği kontrol yönetmeliğinde (Anonim 2005) verilen sınır değerlerin altında çıkmıştır. Fakat ağır metaller atık su ile sulanan parsellerde birikme eğilimi göstermiştir. Qian and Mecham (2005) bir çalışmada batı Amerika'nın su sıkıntısı çekilen kurak ve yarı kurak alanlarında golf sahalarının sulanmasında kullanılan geri dönüşüm sularının toprakların kimyasal özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada temiz su ile sulanan alanlara göre atık su ile sulanan alanlarda EC'de %187, SAR'da %481 daha yüksek değerler belirlenirken,

toprakların kimyasal özelliklerinden Na içeriği %89-%95, B içeriğinde %28 - %50, P içeriği %89-%117 daha yüksek değerler almıştır. Sonuçta geri dönüşüm suları ile sulanan alanlarda tuz birikimini ve sodyumun olumsuz etkisini azaltmak için toprakların ve suların düzenli gözlenmesi ve uygun bir yönetim stratejisinin geliştirilmesinin zorunlu olduğunu belirtmişlerdir. Çiçek *et al.* (2013) yaptıkları bir çalışmanın sonucunda evsel atık sularla sulanan topraklarda tuzluluğun, organik madde miktarının, değişebilir Na, K, Ca ve Mg içeriğinin, alınabilir fosfor (P_2O_5) içeriğinin ve mikro element içeriğinin artarken, pH'nın azaldığını bildirmişlerdir. Bu konuda yapılan birçok çalışmada da benzer sonuçlara ulaşılmıştır (Lado *et al.* 2012; Pereira *et al.* 2012; Zheng *et al.* 2012).

4.3. Bitki Verimleri ve Ağır Metal İçerikleri

4.3.1. Bitki verimleri

2010 ve 2011 yılı deneme sonunda karnabaharda bitki verimiyle ilgili özelliklerden; ortalama yaprak sayısı, gövde boyu, taç çapı, taç yüksekliği, minimum ve maksimum taç ağırlığı, ortalama taç ağırlığı ve dekara verim değerleri ve kırmızı lahanada da bitki verimiyle ilgili özelliklerden; açık yaprak sayısı, açık yaprak ağırlığı, baş çapı, baş yüksekliği, baş ağırlığı ve dekara verim değerleri belirlenmiş, varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ile birlikte Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre konular ortalaması göz önüne alındığında her iki deneme yılı için karnabahar bitkisi ortalama yaprak sayısı 21,53-24,80 arasında değerler alırken en düşük değer ikinci deneme yılında temiz su (D) konusunda, en yüksek değer yine ikinci deneme yılında atık su (A) konusunda; gövde boyu 16,73-18,13 cm arasında değerler alırken en düşük değerler denemenin ikinci yılında seyreltilmiş atık su (C) ve temiz su (D) konularında, en yüksek değer yine denemenin ikinci yılında atık su (A) konusunda; taç çapı 15,60-17,07 cm arasında değerler alırken en düşük değer denemenin ikinci yılında temiz su (D) konusunda, en yüksek değer ise yine denemenin ikinci yılında atık

su (A) konusunda; taç yüksekliği 11,02-12,02 cm arasında değerler alırken en düşük değer denemenin ilk yılında temiz su (D) konusunda, en yüksek değer ise denemenin ikinci yılında atık su (A) konusunda; maksimum taç ağırlığı 1072- 1544 g arasında değerler alırken en düşük değer denemenin ikinci yılında temiz su (D) konusunda, en yüksek değer ise denemenin yine ikinci yılında atık su (A) konusunda; minimum taç ağırlığı 468- 683 g arasında değerler alırken en düşük değer denemenin ilk yılında temiz su (D) konusunda, en yüksek değer ise denemenin yine ilk yılında havalandırılmış atık su (B) konusunda; ortalama taç ağırlığı 835-1221 g arasında değerler alırken en düşük değer denemenin ikinci yılında temiz su (D) konusunda, en yüksek değer ise denemenin yine ikinci yılında atık su (A) konusunda ölçülmüştür. Her iki deneme yılı için karnabahar bitkisi dekara verim değerleri konular ortalaması göz önüne alınarak incelendiğinde 3341-4884 kg/da arasında belirlenmiştir. En yüksek verim denemenin ikinci yılında atık su (A) konusunda belirlenirken en düşük verim yine denemenin ikinci yılında temiz su (D) konusunda saptanmıştır.

Çizelge 4.18. 2010 ve 2011 yıllarında karnabaharda verim özelliklerinden; ortalama yaprak sayısı, gövde boyu, taç çapı, taç yüksekliği, minimum ve maksimum taç ağırlığı, ortalama taç ağırlığı ve verim değerleri ile varyans analizi sonuçları

Yıllar	Konular	Ortalama Yaprak Sayısı	Gövde Boyu (cm)	Taç Çapı (cm)	Taç Yüksekliği (cm)	Taç Ağırlığı (g)			Verim (kg/da)
						Maks.	Min.	Ort.	
2010	A	24,27	17,65	17,05a	11,92a	1511a	642	1209a	4789a
	B	22,93	17,72	16,97a	11,80a	1495a	683	1136b	4497b
	C	22,87	16,90	16,67a	11,72a	1336ab	633	1071c	4241c
	D	22,93	17,10	15,83b	11,02b	1117b	468	891d	3528d
	F	Konu	0,335	1,481	13,160	10,817	8,281	1,667	56,784
		Blok	1,757	1,780	0,056	6,425	2,144	2,063	2,816
	P	Konu	0,801	0,311	0,005	0,008	0,015	0,272	0,001
		Blok	0,251	0,247	0,946	0,032	0,198	0,208	0,137
2011	A	24,80a	18,13a	17,07a	12,02a	1544a	530	1221a	4884a
	B	23,97a	17,22b	16,98a	11,88a	1539a	555	1196a	4783a
	C	24,60a	16,73b	16,27b	11,62b	1388a	562	1118a	4472a
	D	21,53b	16,73b	15,60c	11,33c	1072b	487	835b	3341b
	F	Konu	11,389	15,962	17,920	17,735	17,804	2,831	17,801
		Blok	0,050	0,949	2,342	9,000	0,545	0,757	3,702
	P	Konu	0,007	0,003	0,002	0,002	0,002	0,129	0,002
		Blok	0,951	0,438	0,177	0,016	0,606	0,509	0,090

Çizelge 4.18'den varyans analiz sonuçları incelendiğinde, 2010 yılında ortalama yaprak sayısı, gövde boyu ve minimum taç ağırlığı değerleri için konular arasında istatistiksel bir fark bulunmamıştır. Taç çapı, taç yüksekliği, ortalama taç ağırlığı ve verim değerlerinde konular arasında $P<0,01$ düzeyinde farklılık gözlenirken, maksimum taç ağırlığında $P<0,05$ düzeyinde bir farklılık gözlenmiştir. 2011 yılında ise minimum taç ağırlığında konular arasında istatistiksel bir fark gözlenmezken, diğer bütün değerlerde $P<0,01$ düzeyinde farklılık belirlenmiştir. Karnabaharda her iki deneme yılında da atık su (A) konusu tüm bitki özellikleri ve verim açısından en yüksek değerlerin elde edildiği konu olurken, en düşük değerler temiz su (D) konusunda belirlenmiştir. Her iki yılda da taç çapı, taç yüksekliği ve maksimum taç ağırlığı açısından atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konuları istatistiki olarak aynı grupta yer almışlardır. Ortalama taç ağırlığı ve verim değerleri açısından ise denemenin ilk yılında bütün konular farklı gruplarda yer alırken denemenin ikinci yılında aynı grupta yer alan tüm atık su konularında (A, B ve C), temiz su (D) konusuna göre istatistikî olarak daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Karnabaharda atık su (A) konusu verimi temiz su (D) konusuna göre 2010 yılında %35,7 ve 2011 yılında %46,2 artırmıştır. Temiz su (D) konusuna göre verimde artışlar havalandırılmış atık su (B) ve seyreltilmiş atık su (C) konularında da sırasıyla 2010 yılında %27,5 ve %20,2 , 2011 yılında %43,2 ve %33,9 olmuştur. Atık suyla sulanan alanlarda ikinci yılda verimler daha fazla artmıştır.

Her iki deneme yılında kırmızı lahanada konular ortalaması göz önüne alındığında, belirlenen bitki özelliklerinden açık yaprak sayısı 18,03-20,33 arasında değerler alırken en düşük değer denemenin ilk yılında atık su (A) konusunda, en yüksek değer yine denemenin ilk yılında temiz su (D) konusunda; açık yaprak ağırlığı 546,0-687,3 g arasında değerler alırken en düşük değer denemenin ilk yılında temiz su (D) konusunda en yüksek değer yine denemenin ilk yılında havalandırılmış atık su (B) konusunda; baş çapı 9,61-12,73 cm arasında değerler alırken en düşük değer denemenin ilk yılında temiz su (D) konusunda, en yüksek değer yine denemenin ilk yılında atık su (A) konusunda; baş yüksekliği 11,38-15,08 cm arasında değerler alırken en düşük değer

denemenin ikinci yılında temiz su (D) konusunda, en yüksek değer yine denemenin ikinci yılında atık su (A) konusunda; baş ağırlığı 540-1017 g arasında değerler alırken en düşük değer denemenin ilk yılında temiz su (D) konusunda, en yüksek değer denemenin ikinci yılında havalandırılmış atık su (B) konusunda ölçülmüştür. Her iki deneme yılı için kırmızı lahana bitkisi dekara verim değerleri konular ortalaması göz önüne alınarak incelendiğinde verimde 2138-4067 kg/da arasında değişen değerler belirlenmiştir. En yüksek verim denemenin ikinci yılında havalandırılmış atık su (B) konusunda belirlenirken en düşük verim denemenin ilk yılında temiz su (D) konusunda saptanmıştır.

Çizelge 4.19'a ki varyans analiz sonuçları incelendiğinde, 2010 yılında baş çapı, baş ağırlığı ve dekara verim değerleri için konular arasında istatistiksel olarak $P<0,01$ önem düzeyinde, açık yaprak ağırlığı ve baş yüksekliği değerlerinde ise konular arasında $P<0,05$ önem düzeyinde farklılık olduğu gözlenmiştir. Açık yaprak sayısı değerlerinde ise konular arasında istatistiksel bir fark gözlenmemiştir. 2011 yılında ise açık yaprak sayısı ve açık yaprak ağırlığı değerlerinde konular arasında istatistiksel olarak bir farklılık gözlenmezken, baş çapı, baş yüksekliği, baş ağırlığı ve dekara verim değerlerinde konular arasında $P<0,01$ önem düzeyinde farklılık bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre baş çapı, baş yüksekliği, baş ağırlığı ve verim değerlerinde atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konuları aynı grupta yer alırken, seyreltilmiş atık su (C) ve temiz su (D) konuları daha düşük değerlerle farklı gruplarda yer almışlardır.

Çizelge 4.19. 2010 ve 2011 yıllarında kırmızı lahanada verim özelliklerinden; açık yaprak sayısı, açık yaprak ağırlığı, baş çapı, baş yüksekliği, baş ağırlığı ve verim değerleri ile varyans analizi sonuçları

Yıllar	Konular	Açık Yaprak Sayısı	Açık Yaprak Ağırlığı (g)	Baş Çapı (cm)	Baş Yüksekliği (cm)	Baş Ağırlığı (g)	Verim (kg/da)
2010	A	18,03	676,3ab	12,73a	14,77a	979a	3878a
	B	19,10	687,3a	12,57a	14,79a	984a	3897a
	C	20,03	584,7bc	11,66b	13,50ab	724b	2867b
	D	20,33	546,0c	9,61c	12,13b	540c	2138c
	F Konu	2,800	6,687	42,158	8,461	94,843	94,651
	F Blok	0,080	0,243	2,372	0,153	1,795	1,789
	P Konu	0,131	0,024	0,001	0,014	0,001	0,001
	P Blok	0,924	0,792	0,174	0,861	0,245	0,246
	A	18,90	662,7	12,58a	15,08a	1014a	4056a
	B	18,70	665,0	12,22a	14,85a	1017a	4067a
2011	C	18,90	621,3	11,65b	13,45b	820b	3280b
	D	18,57	552,7	9,75c	11,38c	629c	2516c
	F Konu	0,190	2,010	137,980	48,799	103,338	103,338
	F Blok	5,253	0,528	11,101	1,360	0,134	0,134
	P Konu	0,899	0,214	0,001	0,001	0,001	0,001
	P Blok	0,048	0,615	0,010	0,326	0,877	0,877

Kırmızı lahanada atık su (A) konusu verimi temiz su (D) konusuna göre 2010 yılında %81,4 ve 2011 yılında %61,2 artırmıştır. Temiz su (D) konusuna göre verimde artışlar havalandırılmış atık su (B) ve seyreltilmiş atık su (C) konularında da sırasıyla 2010 yılında %82,3 ve %34,1, 2011 yılında %61,7 ve %30,4 olmuştur. Kırmızı lahanada ikinci yıl daha düşük verim alınmıştır. Ancak konulara göre verim artışları kırmızı lahanada karnabahardan daha fazla olmuştur.

Arıtılmış atık suların önemli bir tarımsal değere sahip olduğu ve toprak özelliklerini iyileştirmenin yanı sıra kültür bitkilerinin verim ve nitelikleri üzerine de olumlu etki yaptıkları bildirilmiştir (Christie *et al.* 2001, El-Naim *et al.* 2005). Yapılan bir çalışmada arıtılmış atık suyun, domates bitkisinin sulanmasında meyve boyutu ve ağırlığını arttırarak meyve niteliği üzerine olumlu etki yaptığı bildirilmiştir (Al-lahham *et al.* 2003). Yine Tayland ve Hindistan'da buğday, pamuk ve pirinç gibi tarla bitkilerinde yapılan çalışmalarda kentsel atık su kullanımının gübreleme ve normal

sulama suyuna oranla verimde daha fazla artışa neden olduğu rapor edilmiştir (Khouri *et al.* 1994). Bu bağlamda, atık su gibi arıtım sonu maddelerin geri kazanılması ve tarımsal amaçlı olarak kontrollü kullanımı ekonomik bir değer olarak görülebilir (Tuna vd 2012). Bu çalışmada da atık su uygulamalarına bağlı olarak her iki yılda ve her iki bitkide elde edilen verim artışı bu durumu desteklemektedir. Tüm bu sonuçlar kontrollü atık su uygulamalarının bitki gelişimindeki olumlu etkilerinin bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Özellikle her iki yılda da daha fazla verim alınması atık suyun verim üzerindeki etkisinin sürekli olabileceğini göstermektedir. Yine farklı bitkilere göre sonraki yıllarda etkisi daha da fazla olabilmektedir. Bu anlamda yapılan birçok çalışmada da sonraki yıllarda elde edilen verim değerlerinin ilk yıldan fazla olduğu görülmektedir (Çelebi vd 2010; Çelebi vd 2011; Yalçın vd 2011).

4.3.2. Bitki ağır metal içerikleri

2010 ve 2011 yılları hasat sonrası karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinde ağır metal alımına ilişkin; Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Ni, Cd içerikleri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 4.20 ve Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Her iki deneme yılında Karnabahar bitkisinde Fe içeriği 118,58-211,97 ppm arasında değerler alırken en yüksek değer atık su (A) konusunda ilk deneme yılında ölçülürken en düşük değer denemenin ikinci yılında temiz su (D) konusunda; Cu içeriği 3,33-10,74 ppm arasında değerler alırken en yüksek değer denemenin ilk yılında atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer yine denemenin ilk yılı temiz su (D) konusunda; Zn içeriği 36,68-48,66 ppm arasında değerler alırken en yüksek değer denemenin ilk yılında atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer denemenin ikinci yılında temiz su (D) konusunda; Mn içeriği 37,28-51,40 ppm arasında değerler alırken en yüksek değer denemenin ilk yılında atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer yine denemenin ilk yılı temiz su (D) konusunda; Pb içeriği 0,0-0,121 ppm arasında değerler alırken temiz su konularında kurşun içeriğine rastlanmazken en yüksek değer denemenin ikinci yılında atık su (A) konusunda; Ni içeriği 0,0-0,067 ppm arasında değerler alırken temiz su konularında nikel içeriğine rastlanmazken en yüksek değer

denemenin ikinci yılında atık su (A) konusunda; Cd içeriği 0,152-0,262 ppm arasında değerler alırken en yüksek değer denemenin ilk yılında atık su (A) konusunda ölçülürken en düşük değer denemenin ikinci yılı temiz su (D) konusunda ölçülmüştür.

Çizelge 4.20'den karnabahar ağır metal içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları incelendiğinde her iki deneme yılında tüm ağır metal içerikleri için konular arasında $P < 0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak fark gözlenmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma grupları incelendiğinde genelde en yüksek değerleri atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konuları olarak aynı grupta yer alırlarken, seyreltilmiş atık su (C) ve temiz su (D) konuları daha düşük değerler olarak farklı gruplar oluşturmuştur.

Çizelge 4.20. Karnabahar bitkisinde ağır metal içerikleri (ppm) ile varyans analizi sonuçları

Yıllar	Konular	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Cd
2010	A	211,97a	10,74a	48,66a	51,40a	0,109a	0,048a	0,262a
	B	182,54b	8,60b	47,80a	51,23a	0,035b	0,038b	0,233a
	C	142,25c	7,50b	44,55b	42,99b	0,006b	0,032b	0,251a
	D	125,71d	3,33c	42,56b	37,28c	0,000b	0,000c	0,170b
	F Konu	173,343	62,308	18,406	26,795	12,092	52,834	10,519
	F Blok	0,144	2,324	2,610	4,126	1,028	2,435	4,903
	P Konu	0,001	0,001	0,002	0,001	0,006	0,001	0,008
	P Blok	0,869	0,179	0,153	0,075	0,413	0,168	0,055
	A	195,90a	8,49a	44,69a	50,87a	0,121a	0,067a	0,217a
	B	188,34a	8,62a	44,37a	51,28a	0,117a	0,058ab	0,213a
2011	C	138,53b	6,66b	39,92b	42,76b	0,047b	0,040b	0,176b
	D	118,58c	4,99c	36,68c	39,82b	0,000c	0,000c	0,152b
	F Konu	194,664	13,383	43,011	26,764	56,250	21,389	9,475
	F Blok	0,233	19,528	116,565	1,452	6,048	0,439	9,517
	P Konu	0,001	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,011
	P Blok	0,799	0,002	0,001	0,306	0,036	0,664	0,014

Her iki deneme yılı birlikte değerlendirildiğinde kırmızı lahana; Demir (Fe) içeriği 117,96-189,44 ppm arasında değerler alırken en yüksek değer atık su (A) konusunda ilk deneme yılında, en düşük değer denemenin ikinci yılında temiz su (D) konusunda; Bakır (Cu) içeriği 3,08-8,05 ppm arasında değerler alırken en yüksek değer denemenin ikinci yılında havalandırılmış atık su (B) konusunda, en düşük değer denemenin ilk yılı temiz su (D) konusunda; Çinko (Zn) içeriği 31,60-44,56 ppm arasında değerler alırken

en yüksek değer denemenin ikinci yılında atık su (A) konusunda, en düşük değer denemenin ilk yılı temiz su (D) konusunda; Mangan (Mn) içeriği 31,57-48,47 ppm arasında değerler alırken en yüksek değer denemenin ikinci yılında havalandırılmış atık su (B) konusunda en düşük değer denemenin ilk yılı temiz su (D) konusunda; Kurşun (Pb) içeriği 0,00-0,103 ppm arasında değerler alırken temiz su (D) konularında kurşun içeriğine rastlanmazken en yüksek değer denemenin ikinci yılında atık su (A) konusunda; Nikel (Ni) içeriği 0,00-0,08 ppm arasında değerler alırken temiz su konularında nikel içeriğine rastlanmazken en yüksek değer denemenin ikinci yılında atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında; Kadmiyum (Cd) içeriği 0,026-0,402 ppm arasında değerler alırken en yüksek değer denemenin ilk yılında seyreltilmiş atık su (C) konusunda en düşük değer denemenin ikinci yılında temiz su (D) konusunda belirlenmiştir.

Çizelge 4.21. Kırmızı lahanada ağır metal içerikleri (ppm) ile varyans analizi sonuçları

Yıllar	Konular	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Cd
2010	A	189,44a	7,35a	41,49a	44,53a	0,049a	0,040a	0,169
	B	178,54b	7,43a	38,41ab	43,24a	0,054a	0,041a	0,139
	C	139,51c	5,62b	35,32b	37,22b	0,014ab	0,029b	0,402
	D	119,22d	3,08c	31,60c	31,57c	0,000b	0,00c	0,080
	F	Konu	568,965	113,792	17,026	58,108	5,308	80,844
		Blok	3,828	1,866	3,938	4,314	2,398	5,227
	P	Konu	0,001	0,001	0,002	0,001	0,040	0,001
		Blok	0,085	0,234	0,081	0,069	0,172	0,048
	A	185,00a	7,41ab	44,56a	47,94a	0,103a	0,080a	0,167
	B	187,14a	8,05a	42,27ab	48,47a	0,091ab	0,080a	0,162
2011	C	134,41b	5,22bc	38,88bc	40,77b	0,046bc	0,053b	0,303
	D	117,96c	3,84c	33,73c	34,70c	0,000c	0,000c	0,026
	F	Konu	1707,904	8,048	9,198	26,007	10,245	96,465
		Blok	0,504	0,685	0,250	0,725	4,790	3,356
	P	Konu	0,001	0,016	0,012	0,001	0,009	0,001
		Blok	0,628	0,540	0,787	0,522	0,057	0,105
	A	185,00a	7,41ab	44,56a	47,94a	0,103a	0,080a	0,167
	B	187,14a	8,05a	42,27ab	48,47a	0,091ab	0,080a	0,162
	C	134,41b	5,22bc	38,88bc	40,77b	0,046bc	0,053b	0,303
	D	117,96c	3,84c	33,73c	34,70c	0,000c	0,000c	0,026

Çizelge 4.21'den kırmızı lahanada ağır metal içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları incelendiğinde 2010 yılında Fe, Cu, Zn, Mn ve Ni içerikleri için konular arasında $P < 0,01$ düzeyinde, Pb içeriği için ise $P < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak fark gözlenmiştir. 2011 deneme yılında ise Fe, Mn, Pb ve Ni içerikleri için konular arasında

$P < 0,01$ düzeyinde, Cu ve Zn içerikleri içinde $P < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak fark gözlenmiştir. Her iki deneme yılında da Cd içeriğinde konular arasında istatistiksel bir fark bulunmamıştır. Duncan çoklu karşılaştırma grupları incelendiğinde Fe içeriği yönünde tüm konular farklı gruplarda yer almıştır. Atık su (A), havalandırılmış atık su (B), seyreltilmiş atık su (C) konularında temiz su (D) konusundan daha yüksek Fe içerikleri saptanmıştır. Cu, Zn, Mn, Pb ve Ni içeriği açısından atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konuları aynı grupta yer alırken, seyreltilmiş atık su (C) ve temiz su (D) konuları daha düşük değerler alarak farklı gruplar oluşturmuşlardır.

Genel olarak her iki bitkide de ağır metal alımına ilişkin yıllara arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir. Ancak atık suyla sulanan parsellerde daha fazla ağır metal alımı söz konusu olmuştur. Uygulanan suların ağır metal içerikleri (Çizelge 4.6, 4.7) dikkate alındığında atık suyla sulanan parsellerde ortama daha fazla ağır metal girişi olmuş ve toprakta bu ağır metallerin birikmiş olması (Çizelge 4.12, 4.13....4.17) bitkiler tarafından topraktan fazla ağır metal alımına neden olmuştur. Ağır metallerin alımı toprak eriyiğinin kimyasal içeriğiyle yakından ilişkilidir (Sezen 1991; Ergene 1993).

Kizilolgu *et al.* (2008) farklı arıtım işlemlerinde geçirilmiş atık suların karnabahar ve kırmızı lahananın ağır metal (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni ve Cd) içeriklerine etkisini inceledikleri bir çalışmada sulama sularındaki ağır metal içeriğindeki artışa bağlı olarak her iki bitkide de ağır metal içeriğinin arttığını bildirmişlerdir. Karatas *et al.* (2006), atık su ile sulanan 60 farklı alandan aldıkları buğday örneklerinde ağır metal alımı üzerine yaptıkları bir çalışmada, atık su ile sulamanın buğday bitkisinin tohumunda, gövdesinde ve kök bölgesinde ağır metal (Cu, Cr, Mn, Ni, Pb and Zn) içeriklerini artırdığını saptamışlardır. Bitkilerde ağır metal alımına ilişkin pek çok çalışmada da benzer sonuçlar belirlenmiştir (Liu *et al.* 2005; Khan *et al.* 2008; Arora *et al.* 2008).

4.4. Damla Sulama Sisteminin Performansı

Damlatıcı debilerinin değişimi birçok etmenden kaynaklanmaktadır. Hidrolik değişim ile damlatıcı performans değişimi bu temel etmenlerden ikisidir (Bucks *et al.*, 1979).

Hidrolik değişim, ana boru ve lateral hatlarındaki arazi eğimi, boru çapı ve uzunluğuna bağlı olarak damlatıcıların değişik basınçta çalışması sonucu ortaya çıkar. Damlatıcı performans değişimi ise, damlatıcılar arası yapımcı farklılıkları, damlatıcılardaki tıkanıklılık, su sıcaklığındaki değişmeler ve damlatıcıların yıpranmaları sonucu olur. Atık sular içerisinde bulunan katı maddeler de kapalı sistemlerde aşınma ve tıkanma etkisi yaratabilmektedir. Ayrıca suların tuzluluklarının da fazla olması damlatıcıların tıkanmasına neden olabilmektedir. Bu bağlamda her iki deneme yılında hasat sonrası ölçülen damlatıcı debilerinden istatistiksel yeknesaklık katsayısı belirlenerek damlatıcı performanslarındaki değişimler belirlenmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte sulama sularının kimyasal açıdan tıkanma üzerindeki etkisini belirleyebilmek için Langelier Saturasyon İndeksi (LSI) değerleri de ayrıca hesaplanmıştır (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22’den elde edilen varyans analiz sonuçlarına göre ilk deneme yılında debi ortalamaları için konular arasındaki fark $P<0,01$ düzeyinde önemli bulunurken, 2011 yılında $P<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma sonuçları incelendiğinde denemenin ilk yılında temiz su (D) konusu en yüksek debi değeriyle aynı grupta yer alan atık su (A, B, C) konularından ayrılmıştır. Denemenin ikinci yılında ise yine en yüksek değerle temiz su (D) konusu aynı gruptaki atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konusundan ayrılmış, seyreltilmiş atık su (C) konusu ise diğer atık su konularından daha yüksek debi değerleri ile hem temiz su (D) konusu hem de atık su (A, B) konularıyla aynı grupta yer almıştır. Arazide yapılan gözlemlerde tıkanma riskinin özellikle sezon sonunda belirginleştiiği görülmüştür.

Bralts *et al.* (1985) damla sulama sistemlerinde kabul edilen yeknesaklık katsayısı sınırlarını %90 ve yukarısı için çok iyi, %80-90 için iyi, %70-80 için orta, %60-70 için zayıf, %60 ve daha küçük değerler için kabul edilemez şeklinde belirlemişlerdir. Elde edilen yeknesaklık katsayıları incelendiğinde, denemenin ilk yılı tüm sulama konularında %90 dan daha büyük değerler elde edildiği için konular çok iyi sınıfına girmişlerdir. Denemenin ikinci yılında atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konuları %60-70 arasında değerler alarak zayıf sınıfına girerken, seyreltilmiş atık su (C)

konusu %70-80 arası değerler olarak orta sınıfına, temiz su (D) konusu ise %90 dan daha büyük değerler olarak çok iyi sınıfına girmişlerdir.

Çizelge 4.22. 2010 ve 2011 yıllarında damla sulama sisteminde ortalama debi, istatistiksel yeknesaklık katsayısı ve LSI değerleri ile ortalama debi varyans analiz sonuçları

Yıllar	Konular	Ortalama Debi (L/h)	Yeknesaklık Katsayısı (%)	LSI
2010	A	1,89±0,05 b	97,25	0,68
	B	1,88±0,05 b	97,13	0,61
	C	1,86±0,04 b	97,63	-0,01
	D	1,92±0,05 a	97,34	-0,47
	<i>F</i>	<i>Konu</i> 8,322 <i>Blok</i> 4,070		
	<i>P</i>	<i>Konu</i> 0,001 <i>Blok</i> 0,020		
	A	1,60±0,59 b	63,13	0,62
	B	1,60±0,58 b	63,75	0,61
2011	C	1,73±0,36 ab	79,19	-0,01
	D	1,93±0,07 a	96,37	-0,66
	<i>F</i>	<i>Konu</i> 3,028 <i>Blok</i> 0,072		
	<i>P</i>	<i>Konu</i> 0,033 <i>Blok</i> 0,931		

Damla sulama sistemlerinde tıkanma nedeni üç ana kategoriye ayrılır. Bunlar, askıda katı maddeden (AKM) kaynaklanan fiziksel, bakteri ve alg oluşumu nedeniyle meydana gelen biyolojik, kimyasal tepkimeler sonucunda meydana gelen kimyasal tıkanmalardır (Bucks vd 1979). Bu çalışmada parsellere uygulanan suların analiz sonuçları incelendiğinde atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularının AKM içerikleri diğer konulara göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.6, 4.7). Bunun yanında tuzluluk değerleriyle, biyolojik unsurlar da bu sularda daha yüksektir. Atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında pozitif LSI değerleri kireç çökmesine işaret etmektedir. Seyreltilmiş atık su (C) konusunda ise daha düşük AKM, tuzluluk ve biyolojik unsur saptanmıştır. Bu bağlamda tıkanma unsurlarının konsantrasyonlarına bağlı olarak tıkanma riski de en fazla atık su (A) ve havalandırılmış atık su (B) konularında olmuş, seyreltilmiş atık su (C) konusunda tıkanma daha az gerçekleşmiştir. Sulama uygulamalarında klorlama yapılması biyolojik riskleri azaltmıştır. Dolayısıyla

tıkanmanın ana unsuru öncelikle fiziksel tıkanmadır. Atık suların (A ve B) pozitif LSI değerleri de göz önüne alındığında tıkanmada kimyasal risklerin de söz konusu olduğu söylenebilir.

5. SONUÇ

Bu araştırmada değişik arıtım işlemleri uygulanmış atıksuların toprak üstü damla sulama sistemiyle sulamada kullanılabilirlik durumu, karnabahar ve kırmızı lahana bitkileri ile bu bitkilerin yetiştirildiği toprakların özelliklerine olan etkileri incelenerek belirlenmeye çalışılmıştır.

Filtre edilmiş atıksu, filtre edilmiş ve havalandırılmış atıksu, filtre edilmiş 1:1 oranında temiz suyla seyreltilmiş atıksu ve temiz su (normal sulama suyu) olmak üzere dört farklı nitelikteki su kullanılarak yürütülen bu çalışmada; özellikle atık su konularının sulamaya uygunluğu, atık suların toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisi ile karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinin verimi ve ağır metal içeriklerine etkisi araştırılmıştır. Bu bağlamda sulamada kullanılan sularının fiziksel ve kimyasal özellikleri, deneme alanı topraklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri ile su alma hızları, bitkilerin su tüketimleri, su ve sulama suyu kullanım etkinlikleri, bitki ağır metal içerikleri, verimi, büyüme parametreleri ve sistem performansına yönelik olarak elde edilen deneysel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Çizelge 4.6 ve 4.7’de verilen 2010 ve 2011 yıllarında ilişkin sulama konularından alınan su örneklerinde üç dönemde (Haziran, Temmuz ve Ağustos) belirlenen Ca, Mg, Na, K, CO₃, HCO₃, Cl, SO₄, B, Fe, Cu, Ni, Cd, Mn, Zn, Pb, pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş katılar (TDS), toplam azot (TN), toplam fosfor (TP), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), sodyum karbonat kalıntısı (RSC), yüzde sodyum (%Na), askıda katı madde (AKM), fekal koliform, BOI₅ ve KOİ değerleri incelendiğinde;

- Denemede kullanılan tüm suların pH’ları su kirliliği kontrol yönetmeliğinin (Anonim 1991) vermiş olduğu sınırlar içerisinde. FAO (1985)’ya göre sulama açısından herhangi bir sorun yaratmayacaktır. Fakat Pescod (1992) ’a göre atık su konularından pH değerlerinin damla sulama sisteminde ‘az-orta’ derecede tıkama problemine neden olabileceği görülmüştür.

- Atık su, havalandırılmış atık su ve seyreltilmiş atık sular elektriksel iletkenlik değerleri açısından SKKY'e (Anonim 1991) göre 3. Sınıf (0,75-2,00 kullanılabilir) sular sınıfına girerken, temiz su konusu 2. Sınıf (0,25-0,75 iyi) sular sınıfına girmektedir. FAO (1985)'ya göre de temiz su sorunsuz su olup, temiz su dışındaki sular ise 0,7-3,0 dS/m arasında değerler aldığından sulama suyu olarak kullanılması durumunda gelecekte bazı sorunlara neden olabileceği belirtilmektedir.

- Sudaki askıda katı madde (AKM) konsantrasyonu, yağmurlama sulamada başlık memelerinin ve damla sulamada damlatıcıların tıkanması açısından önemlidir (Ayyıldız, 1990; Karataş vd 2005). Aynı zamanda suyun yüzey sulamayla uygulandığı killi topraklarda geçirgenliği önemli ölçüde düşürmektedir. Su kirliliği kontrol yönetmeliğine (Anonim 1991) göre atık su ve havalandırılmış atık suyun AKM değerleri 100 mg/L den büyük olduğu için V. Sınıf "zararlı" su olarak kabul edilmektedir. Seyreltilmiş atık su konusu ise III. Sınıf "kullanılabilir" su sınıfına girmektedir. Askıda katı madde içermeyen temiz su ise nitelikli su (I. sınıf) sınıfındadır.

- Dünyanın birçok yerinde azot kaynaklı kirlilik su kalitesini etkileyen ana etken olup, sudaki yüksek nitrat konsantrasyonu çevre ve sağlık açısından risk oluşturmaktadır (Andraski and Bundy 2002). Son yıllarda tüm dünya çapında kıyı kesimlerde yaygın olarak görülen, suda oksijenin az olması (hipoksia) veya hiç olmaması (anoksia) yönünde, doğal yaşam alanlarında bozunma, besin ağında değişiklik, biyolojik çeşitliliğin kaybı ve zararlı alglerin çok sık görülmesi ve bu alglerin bulunduğu bölgenin genişliğinin, bulunma süreçlerinin artması kıyıdaki ötrofikasyonun arttığına göstergesidir (Boesch 2002). Kıyılarda çoğunlukla ötrofikasyonun artışına her ne kadar fosfor kirlenmesinin katkısı olsa da ötrofikasyon daha çok N girdisinin artmasından kaynaklanmaktadır (Howarth vd 2005; Howarth and Marino 2006). Denemede kullanılan atık su, havalandırılmış atık su, seyreltilmiş atık su konularında belirlenen toplam azot içerikleri 5,98- 14,90 mg/L arasında değerler almaktadır. Bütün atık su konuları sınır değeri olan 5 mg/L'yi geçmiş ve dolayısıyla bu sular kullanılamaz sular sınıfında iken sadece temiz su konusu toplam azot içermediğinden kullanılabilir sular sınıfındadır.

- Toplam fosfor değerleri, atık su, havalandırılmış atık su ve seyreltilmiş atık su konularında 4,98- 9,98 mg/L arasında değerler almaktadır. Değerler 10 mg/L

değerinden düşük konsantrasyonlarda olduğundan; sular SKKY'e (Anonim 1991) göre sulama suyu olarak kullanılabilir sınıfındadır.

- Denemede kullanılan bütün suların bor miktarları 0,5 mg/L den düşüktür ve SKKY'ne (Anonim 1991) göre I. Sınıf "çok iyi" sular sınıfına girmektedir. Genellikle bitkilerin B zararından etkilenmemesi için maksimum izin verilebilir B miktarı tüm topraklar üzerinde sürekli olarak kullanılacak sular için EPA (Environmental Protection Agency) limitlerine göre de 0,75 mg/L'dir. Dolayısıyla EPA değerlendirilmesi göz önüne alındığında uzun süreli kullanımlarda da sular sorun yaratmayacaktır (USEPA 1992).

- FAO (1985) sulama suyu sınıflama rehberinde Cl içeriği 4 me/L den düşük sular toksik etki açısından sorunsuz sular olarak belirtilmiştir. Denemede kullanılan suların tamamı 4 me/L den düşük Cl içeriğine sahip olduğundan sorunsuz sular sınıfına girmektedir.

- SKKY'ne (Anonim 1991) göre atık su ve havalandırılmış atık su 4-7 me/L SO_4 konsantrasyonuna sahip II. Sınıf yani "iyi su" sınıfında iken, seyreltilmiş atık su ve temiz su ise 4 me/L'den düşük SO_4 konsantrasyonu ile I. Sınıf "çok iyi su" sınıfına girmektedir.

- Düşük SAR değerlerine sahip temiz su dışında diğer tüm sular 3-9 arasında SAR değerlerine sahiptir. Bu suların yüzey ve yağmurlama sulama yöntemleriyle uygulanması durumunda sorunlar yaşanabilir. Su örneklerinin %Na değerleri göz önüne alındığında da temiz su dışındaki atık suların tamamının SKKY'ne (Anonim 1991) göre III. sınıf (40-60) "kullanılabilir" sular sınıfına girdiği, temiz suyunda 5,23-9,4 arasında değerler alarak I. sınıf su sınıfına girdiği görülmektedir.

- Sulama sularında yüksek Artık Sodyum Karbonat (RSC) içeriği, toprakların fiziksel özelliklerini bozmakta ve siyah alkali diye tanımlanan sodyumlu toprakların oluşmasına neden olmaktadır (Kanber ve Ünlü 2010). Sulama sularında izin verilebilir en yüksek RSC değeri 2,5 me/L'dir (Eaton 1950). Çalışmada atık sular için 1,25-2,5 me/L arasında RSC değerleri hesaplandığından Eaton'a (1950) göre bu sular uygun işletme koşullarında iyileştiricilerle birlikte kullanılması gereken sular sınıfına girmektedir.

- Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOI_5) veya kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) değerleri yüksek olan sular, topraktaki oksijeni azaltıp indirgenme koşulları yaratabilirler (Munsuz ve Ünver, 1995). Her iki yılda sulama suyu örneklerinde belirlenen KOI değerleri atık su, havalandırılmış atık su ve seyreltilmiş atık sularda 111-553 mg/L

arasında olup, sınır değerlerin oldukça üstündedir. Yine aynı sularda belirlenen BOI_5 değerleri de 143-456 mg/L arasındadır. BOI_5 değerleri göz önüne alındığında atık su ve havalandırılmış atık su SKKY (Anonim 1991) kriterlerine göre V. Sınıf “zararlı” sular sınıfına girerken, seyreltilmiş atık su IV. Sınıf “ihtiyatla kullanılması gereken” sular sınıfına girmektedir.

- Mikrobiyolojik analiz sonuçlarına göre, atık sularda fekal koliform 489-2453 cfu/100 ml arasındadır. Atık ve havalandırılmış atık sular SKKY’ne (Anonim 1991) göre V. Sınıf “kullanılması sakıncalı” sular sınıfına, seyreltilmiş atık sular ise IV. Sınıf “ihtiyatla kullanılması gereken” sular sınıfına girmektedir. Temiz suda ise fekal koliform bulunmamıştır.

Genel olarak atık sularda Ca, Mg ve HCO_3 iyonlarının konsantrasyonları temiz su konusundan daha yüksek belirlenmiştir. Söz konusu iyonların yüksek konsantrasyonları, yüksek pH ve sıcaklık ile birlikte damla sulama sistemlerinde kimyasal tıkanmaya neden olmaktadır. Bu çalışmada sulama sisteminde damlatıcılardaki tıkanmaların bir nedeninin de söz konusu iyonların fazlalığından olduğu düşünülmektedir. Sistem üzerine olumsuz etkisine karşın bu iyonlardan özellikle Ca’un agregat stabilitesi üzerine de olumlu etkileri gözlenmiştir.

Denemelerde kullanılan suların ağır metal içerikleri incelendiğinde, Pb 0,02-0,07 mg/L, Zn 0,11-0,28 mg/L, Ni 0,03-0,09 ve Fe 1,29-4,31 mg/L arasında değerler almışlardır. Bu değerler SKKY (Anonim 1991) sınır değerlerinin altındadır. Mn 0,13-0,39 mg/L, Cd 0,03-0,12 mg/L ve Cu’nun 0,10-0,23 mg/L arasındaki konsantrasyonları ile pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığı durumlar için verilen yönetmelik sınır değerlerini aşmamaktadır.

Suların nitelik analiz sonuçları, toprak, bitki ve sulama sistemleri açısından tuzluluk, askıda katı madde içerikleri, ağır metal içerikleri ve sodyum miktarlarında arıtım düzeyindeki azalışa bağlı olarak bir artışı göstermektedir.

2010 ve 2011 yılları yetiştirme sezonunda karnabahar ve kırmızı lahanada bitkilerinin su bütçesi yöntemine göre hesaplanmış su tüketim değerleri ve su tüketimi varyans analizi sonuçlarına göre her iki deneme yılı ve her iki bitki için konular arasında ki fark %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Genel olarak her iki bitkide de atık su konularında, temiz su konusundan daha düşük değerler belirlenmiştir. İki yılın ortalama bitki su tüketimleri atıksu, havalandırılmış atık su, seyreltilmiş atık su ve temiz su konularında sırasıyla karnabaharda 450,5 mm, 455,60 mm, 490,55 mm ve 500,30 mm, kırmızı lahanada 474,20 mm, 489,35 mm, 546,75 mm, ve 548,40 mm olmuştur. Yine iki yıllık ortalama su tüketimi (ET) değerleri göz önüne alındığında temiz su konuları su tüketimleri, atık su, havalandırılmış atık su ve seyreltilmiş atık su konularından karnabaharda sırasıyla %11,1, %9,8 ve %2,0, kırmızı lahanada %15,7, %12,1 ve %0,3 daha yüksek olmuştur.

Sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) ve su kullanım etkinliği (WUE) değerleri incelendiğinde, denemenin her iki yılında da ve her iki bitkide de en yüksek IWUE ve WUE değerleri atık su konularından, en düşük IWUE ve WUE değerleri temiz su konularından elde edilmiştir. İki yılın ortalama IWUE değerleri atıksu, havalandırılmış atık su, seyreltilmiş atık su ve temiz su konularında sırasıyla karnabaharda 11,6 kg/m³, 11,1 kg/m³, 10,4 kg/m³ ve 8,3 kg/m³, kırmızı lahanada 8,6 kg/m³, 8,6 kg/m³, 6,7 kg/m³ ve 5 kg/m³ olmuştur. Yine iki yıllık ortalama WUE değerleri de atıksu, havalandırılmış atık su, seyreltilmiş atık su ve temiz su konularında sırasıyla karnabaharda 10,8 kg/m³, 10,2 kg/m³, 8,9 kg/m³ ve 6,9 kg/m³, kırmızı lahanada 8,4 kg/m³, 8,1 kg/m³, 5,6 kg/m³ ve 4,2 kg/m³ olmuştur. Her iki yılda ve her iki bitkide konular arasındaki IWUE ve WUE değerleri için istatistiksel fark P<0,01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Karnabahar bitkisinde iki yılın ortalama değerlerine göre en yüksek değerin elde edildiği atık su konusunda, havalandırılmış atık su konusundan %5,3, seyreltilmiş atık su konusundan %21,3 ve temiz su konusundan %57,3 daha yüksek WUE değerleri saptanırken yine havalandırılmış atık su konusundan %4,3, seyreltilmiş atık su konusundan %11,1 ve temiz su konusundan %40,5 daha yüksek IWUE değerleri saptanmıştır. Kırmızı lahanada içinde her iki yılın ortalama değerleri göz önüne alındığında en yüksek WUE değerinin elde edildiği atık su konusu, havalandırılmış atık su konusundan %2,8, seyreltilmiş atık

su konusundan %48,3 ve temiz su konusundan %99,9 daha yüksek değerler almıştır. Atık su konusu ve havalandırılmış atık su konusunun IWUE değerleri birbirlerine eşıtken, bu konular seyreltilmiş atık su konusundan %29,3 ve temiz su konusundan %71,0 daha yüksek değerler almışlardır.

Çizelge 4.9 ve 4.10 de verilmiş olan toprak fiziksel özelliklerden; kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, tarla kapasitesinde tutulan nem, solma noktasında tutulan nem, toplam porozite ve agregat stabilitesi değerleri incelendiğinde;

- Temiz su konularında kütle yoğunluğu değerleri daha yüksekken, atık su ve havalandırılmış atık su konularında daha düşük değerler belirlenmiştir.
- Toprak örneklerinin tane yoğunlukları için konular arasında fark gözlenmemiştir.
- En yüksek tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri atık su ve havalandırılmış atık su konularında belirlenirken temiz su ve seyreltilmiş atık su konularında ise daha düşük değerler belirlenmiştir. Tarla kapasitesinden daha düşük tansiyonda tutulan nem (Porozite – TK) ve yarayışlı nem (TK-SN) değerleri incelendiğinde; düşük tansiyonda tutulan nem temiz suda karnabaharda daha düşük, kırmızı lahanada daha yüksek değerler alırken yarayışlı nem temiz suda karnabaharda daha yüksek, kırmızı lahanada daha düşük değerler almıştır. Her iki deneme yılı ve her iki bitki alanı ortalama değerleri göz önüne alındığında düşük tansiyonda tutulan nem değerleri atık su, havalandırılmış atık su, seyreltilmiş atık su ve temiz su konularında 0-40 cm toprak derinliğinde sırasıyla; %8,9, %8,6, %9,4 ve %8,3 olarak hesaplanmıştır. Yarayışlı nem değerleri ise atık su, havalandırılmış atık su, seyreltilmiş atık su ve temiz su konularında 0-40 cm toprak derinliğinde sırasıyla; %10,8, %10,9, %9,7 ve %9,9 olarak saptanmıştır.
- En yüksek porozite değerleri genel olarak atık su ve havalandırılmış atık su konularından belirlenirken, temiz su ve seyreltilmiş atık su konularından daha düşük değerler belirlenmiştir.
- Genel olarak atık su ve havalandırılmış atık su konularında daha yüksek agregat stabilite değerleri, temiz su ve seyreltilmiş atık su konularında daha düşük agregat stabilite değerleri bulunmuştur.

Deneme topraklarının pF eğrilerinden faydalanarak elde edilen gözenek büyüklük dağılımları incelediğinde (Şekil 4.10., 4.11., ...4.17.); toprakta drenaj ve havalanmayı sağlayan 30 μ dan büyük gözenekler temiz su ve seyreltilmiş atık su konularında daha yüksek, atık su ve havalandırılmış atık su konularında ise daha düşüktür. Bitki için yararlı olan suyu tutabilen 30-0,3 μ arası gözenekler ise atık su ve havalandırılmış atık su konularında daha yüksektir. Atık su ve havalandırılmış atık su makro gözenekleri azaltırken su tutmaya yarayan gözeneklerin miktarını artırmıştır. Bitkiler tarafından alınamayacak formda su tutabilen 0,3 μ dan küçük gözeneklerde ise konular arasında fark bulunmamıştır.

Karnabahar ve kırmızı lahana deneme parsellerinde her iki yılda hasat sonrası çift silindirli infiltrometrelerle yapılan ölçümlerle belirlenmiş olan infiltrasyon hızları incelendiğinde; en yüksek sabit ve ortalama infiltrasyon hızları temiz su konusunda olmuş, atık su ve havalandırılmış atık su konularında infiltrasyon hızları önemli derecede azalmıştır. Atık su ve havalandırılmış atık su konularında makro gözeneklerin azalması infiltrasyon hızını da azaltmıştır. Her iki yıl ve her iki bitki deneme alanından elde edilen ortalama değerler göz önüne alındığında temiz su konusuna göre sabit infiltrasyon hızındaki azalış oranları atık su konusunda %22,1, havalandırılmış atık su konusunda %26,6, seyreltilmiş atık su konusunda %5,6 olmuştur.

Deneme alanı topraklarının pH ve CaCO_3 içerikleri temiz su konusunda yüksek, atık su ve havalandırılmış atık su ve seyreltilmiş atık su konularında düşük bulunmuştur. EC, organik madde, K_2O , Toplam N, P_2O_5 , KDK, değişebilir K, değişebilir Ca, değişebilir Mg, değişebilir Na, ESP, Cu, Fe, B, Mn ve Zn ise genel olarak atık su ile sulanan parsellerde daha yüksek, temiz su ile sulanan parsellerde daha düşük belirlenmiştir. Her iki bitki ve deneme yılı göz önüne alındığında etkili kök derinliğinde (40 cm) atık su, havalandırılmış atık su, seyreltilmiş atık su ve temiz su konularının ortalama değerleri pH için 7,51, 7,51, 7,53 ve 7,63, EC için; 2,69, 2,71, 2,44 ve 2,26 dS/m, ESP için %1,99, %1,90, %1,33 ve %1,11, CaCO_3 içerikleri için; %0,88, %0,81, %1,11 ve %1,83 ve organik madde miktarları için; %1,79, %1,60, %1,16 ve %0,83 olmuştur. Temiz su konusuna göre atık su, havalandırılmış atık su ve seyreltilmiş atık su konularının

sırasıyla pH'ları; %1,7 %1,6 ve %1,4, CaCO_3 içerikleri; %52,2 %55,7 ve %39,6 daha düşük bulunmuştur. Yine temiz su konusuna göre atık su, havalandırılmış atık su ve seyreltilmiş atık su konularının sırasıyla EC'leri; %18,9, %20,0 ve %8,0, ESP'leri; %78,6, %70,5 ve %19,5 ve organik madde miktarları; %116,3, %93,8 ve %40,1 daha yüksek saptanmıştır.

Deneme uygulamalarının bitkisel verim parametreleri üzerine etkisi incelendiğinde genel olarak atık su konularının her iki bitkide de verimi olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinde en yüksek verim atık su ve havalandırılmış atık su ile sulanan parsellerde en düşük verim ise temiz su ile sulanan parsellerde belirlenmiştir. Karnabahar için iki yıllık dekara verim ortalamaları atıksu, havalandırılmış atık su, seyreltilmiş atık su ve temiz su konuları için sırasıyla 4837, 4640, 4357, 3435 kg/da olurken, atıksu konusunun verimi, havalandırılmış atık su konusundan %4,3 seyreltilmiş atık su konusundan %11,0 ve temiz su konusundan %40,8 daha yüksek olmuştur. Kırmızı lahanada ise yine iki yıllık dekara verim ortalamaları atıksu, havalandırılmış atık su, seyreltilmiş atık su ve temiz su konuları için sırasıyla 3967, 3982, 3074, 2327 kg/da'dır. Atıksu konusunun verimi, havalandırılmış atık su konusuyla yaklaşık aynı olurken, seyreltilmiş atık su konusundan %29,1 ve temiz su konusundan %70,5 daha yüksek verim elde edilmiştir.

Bitki gelişimi için mutlak gerekli element olsun veya olmasın ağır metallerin doku ve organlardaki aşırı birikimi bitkilerin vejetatif ve generatif organlarının gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir (Gür vd 2004). Ayrıca topraktan aldıkları ağır metalleri dokularında biriktiren bitkiler, gıda zinciri içerisinde doğrudan tüketilmesiyle ya da dolaylı olarak hayvanların besin zincirine girerek hayvan etine ve sütüne de geçerek hayvansal gıdalarla insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olmaktadır. Çizelge 4.20 ve Çizelge 4.21 deki 2010 ve 2011 yılları hasat sonrası karnabahar ve kırmızı lahana bitkilerinde ağır metal içerikleri ve istatistiksel analizlerin sonuçları incelendiğinde atık su ve havalandırılmış atık su konularında daha yüksek içerikler belirlenirken, seyreltilmiş atık su konusunda diğer atık su konularından daha düşük ağır metal içeriği belirlenmiştir. Bu çalışmada hem bitkiler hem de insan sağlığı için risk oluşturabilecek

Pb, Ni ve Cd gibi ağır metaller, düşük konsantrasyonlarda bile olsa, bütün atık su konularında saptanmıştır. Bu durum bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemese de insan sağlığı üzerine olumsuz etkiler doğurabilecektir.

Sulama sisteminde damlatıcıların performansını belirlemeye yönelik her iki deneme yılında hasat sonrası damlatıcı debileri belirlenerek varyans analizi ile konular arasındaki farklılıklar gözlenmiş ve istatistiksel yeknesaklık katsayısı hesaplanarak damlatıcı debilerindeki değişim belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre denemenin ilk yılı damlatıcı debilerinde ve yeknesaklığında çok büyük farklılıklar gözlenmezken denemenin ikinci yılında atık su konularında damlatıcı debilerinde ve yeknesaklık katsayılarında sistem performansını etkileyecek düzeyde olumsuz sonuçlar belirlenmiştir. Bu da atık suyun damla sulama yöntemiyle verilmesi durumunda sistem performansının düşebileceğini göstermektedir. Bu durumda 2-3 yıl gibi kısa periyotlarda damla sulama sistemi lateral hatlarının değiştirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Atık su ile yapılacak sulamalarda bu suların tuzluluk, sodyumluluk ve ağır metaller yönünden uzun dönemde toprağa ve bitkiye yapacağı olumlu ya da olumsuz etkiler göz önüne alınmalıdır. Atık suların hem verim hem de ürün niteliğini artıracak ve toprağa zarar vermeyecek şekilde kullanımı önemlidir. Çakmak ve Kendirli (2001) tarafından atık su ile sulamanın alternatif bir su kaynağı olarak, su artırımı sağlayarak, atık suların çevreye zararlı olmalarını önleyerek, yüzey su kaynaklarının kirliliklerini azaltarak ve bitki besin maddesi gereksiniminin bir kısmını karşılayarak yararlı olabileceği vurgulamışlardır. Buna karşın Kanber ve Ünlü (2010) yeraltı sularında nitrat kirliliğine, toprakta ağır metal birikimine ve sulama kanallarında ötrifikasyona sebep olarak zararlı olabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca askıda katı maddenin sulama sistemlerinin performansını etkileyebileceği de göz önüne alınmalıdır.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre atık suyun sulamada kullanılması koşulunda damla sulama sistemi, bitki ve toprak açısından alınması gereken bazı önlemler aşağıda sıralanmıştır.

- Atık sular sulamada kullanılırken mutlaka arıtılması gerekmektedir. Herhangi bir arıtım işlemi uygulanmamış su basınçlı sulama sistemlerinde aşınma ve tıkanmalara neden olacaktır. Özellikle damla sulama yöntemi ile sulama yapılacak ise en az birinci derece bir arıtım uygulanması gerekmektedir.
- Damla sulama sisteminde erken bir tıkanma problemi yaşamamak için atık su en az 80 mesh (177 μ) çapında bir elek filtreden geçirilmeli ve akış yolu daha geniş damlatıcılar seçilmelidir.
- Atık su uygulamasının yapıldığı lateral hatlarının damlatıcı performanslarının basit debi ölçümleriyle izlenerek, üniformiteyi etkileyecek bir tıkanma düzeyinden sonra lateral hatlarının yenilenmesi yoluna gidilmelidir.
- Toprakta bitkiye toksik etkisi olan iyonların konsantrasyonunun ve genel tuzluluğun izlenerek, gerektikçe yıkama yapılabilmesi için tarla içi drenaj koşullarının sağlandığı arazilerde atık su ile sulama yapılması uygun olacaktır.
- Atık su ile sulama toprağın infiltrasyon hızını düşürdüğü ve kök bölgesinin havalanmasını olumsuz yönde etkileyebileceği için ağır bünyeli toprakların sulanmasından kaçınılmalı, bu sular daha çok kumlu ya da orta bünyeli toprakların sulanmasında kullanılmalıdır.
- Sürekli atık su uygulaması yerine belirli periyotlarla atık su - temiz su döngüsünün uygulanması ile suların daha etkin kullanımı sağlanmalı ya da atık su ile temiz su karıştırılarak uygulanmalıdır.

Sonuç olarak özellikle su kıtlığının yaşandığı kurak ve yarı kurak bölgelerde sulama suyu gereksinimini karşılamak amacıyla uzun vadede yaratacağı sorunları da göz önüne alarak ve uygulamada temiz suyla kıyaslandığında yüksek IWUE ve WUE elde edilmesinden dolayı, temiz suya talebi azaltan bir su kaynağı olan atık suyun kullanılması düşünülebilir. Bu çalışmada da görüldüğü gibi atık su ile yapılan sulamalar toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde göz önüne alınması gereken değişimlere yol açmaktadır. Ayrıca yetiştirilen bitkilerin verimini artırırken özellikle bünyelerinde ki ağır metal içeriklerini de bir miktar artırmıştır. Bu yüzden atık su ile sulama yapılırken, sulama yapılacak alanın ve sulama suyunun özelliklerinin önceden bilinmesi alınacak etkin önlemlerle atık sudan sağlanabilecek faydaları artıracaktır.

KAYNAKLAR

- Abedi, J.K., Afyuni, M., Mostafazadeh, B. and Bagheri, M.R., 2001. Influence of Treated Wastewater and Irrigation Systems on Soil Physical Properties in Isfahan Province. *Icid, International Workshop on Wastewater Reuse Management*. 19-20 September 2001. Seul, Kore.
- Aboukhaled, A. 1992. Wastewater for Crop Production The Near East. *Water Resources Development*, 8(3): 204-214.
- Adin, A. and Sacks, M., 1987. Water Quality and Emitter Clogging Relationship in Wastewater Irrigation. *Proc Water Reuse Sym. IV, Am. Water Work Ass., Res. Found., Denver CO*, P517
- Agrafioti, E. and Diamadopoulos E., 2012. A Strategic Plan for Reuse of Treated Municipal Wastewater for Crop Irrigation on The Island of Crete. *Agricultural Water Management* 105:57– 64.
- Aiello, R., Cirelli, G. L. and Consoli S., 2007. Effects of Reclaimed Wastewater Irrigation on Soil and Tomato Fruits: A Case Study In Sicily (Italy) *Agricultural Water Management* 93:65-72.
- Al-Jamala, M.S., Sammis, T.W., Mexala, J.G., Picchioni, G.A. and Zachritz, W.H. 2002. A Growth-Irrigation Scheduling Model for Wastewater Use in Forest Production. *Agricultural Water Management* 56 : 57–79.
- Al-Lahham, O., El Assib N.M. and Fayyad M., 2003. Impact of Treated Wastewater Irrigation on Quality Attributes and Contamination of Tomato Fruit. *Agricultural Water Management* 61: 51-62.
- Allen R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO 56, Rome
- Andraski, T. W., and Bundy, L.G., 2002. Using The Presidedress Soil Nitrate Test and Organic Nitrogen Crediting to Improve Corn Nitrogen Recommendations. *Agron. J.* 94: 1411-1418.
- Anonim, 1984. Erzurum İli Verimlilik Envanteri ve Gübre İhtiyaç Raporu. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları No: 775, Ankara.
- Anonim, 1991. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete, sayı: 20747, Ankara.
- Anonim, 1996. Mikrobiyoloji Koliform Grubu Bakterilerinin Sayımı İçin Genel Kurallar En Muhtemel Sayı Tekniği. TS 7725 ISO 4831. 19.
- Anonim, 2004. Avrupa Komisyonu, MEDAWARE Projesi.
- Anonim, 2005. Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete, sayı: 25831 Ankara.
- Anonim, 2007. Çevre ve Orman Bakanlığı Türkiye Çevre Durum Raporu. Yayın No:5, Ankara,
- Anonim, 2012. Erzurum İli İçin Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Bazı Ortalama İklim Değerleri (1970 - 2011). <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ERZURUM#sfB>
- Anonymous, 1954. US Soil Salinity Lab. Staff . *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*.
- APHA, 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Analysis*. 19th ed., New York.

- Arora M., Kiran, B., Rani, S., Rani, A., Kaur, B., and Mittal, N., 2008. Heavy Metal Accumulation in Vegetables Irrigated with Water From Different Sources. *Food Chemistry* 111: 811–815
- Aslan, V., 2007. Türkiye’de Su Potansiyeli ve Atıksuların Geri Kullanımı. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi, Ankara.
- Aşık, B.B. ve Katkat, A.V., 2005. Gıda Sanayii Arıtma Tesisi Atık Suyu’nun Sulama Suyu Olarak Kullanım Olanğı. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2): 23-31, Bursa.
- Ata, S., 2006. Erzurum Ovası Toprak Gruplarının Fosfor Adsorpsiyonu Üzerine Toprak Özelliklerinin Etkisi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilimdalı, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Atalay, İ., 1978. Erzurum Ovası ve Çevresinin Jeolojisi ve Jeomorfolojisi Atatürk Üniversitesi Yayınları, Yayın No:543, Erzurum.
- Avner, A. and Sacks, M., 1991. Dripper-Clogging Factors in Wastewater Irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 117(6): 813–826.
- Ayyıldız M., 1990. Sulama Suyu kalitesi ve Tuzluluk Problemleri. Ankara Üniversitesi Yayınları:1116, Ders kitabı: 344, Ankara.
- Bahri, A., 1998. Fertilizing value and polluting load of reclaimed water in Tunisia. *Wat. Rcy.* 32: 3484-3489.
- Başkan, T., 2006. Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımda Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Berktaş, A., 1996. Konya Kenti Atık Sularının Ana Tahliye Kanalı Üzerine Etkisinin Araştırılması. Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu Doğal Kaynakların Sürdürebilir Kullanımı. 13-15 Mayıs 1996, Mersin.
- Boesch, D.F., 2002. Challenges and Opportunities for Science in Reducing Nutrient Over-Enrichment of Coastal Ecosystems. *Estuaries* 25, 744-758.
- Bouwer, H. and E. Idelovitch. 1987. Quality Requirements for Irrigation with Sewage Water. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 113(4):516-535.
- Bozkurt S. ve Ödemiş, B., 2007. Geri Dönüşüm Sularının Damla Sulamada Kullanım Olanakları. 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Yaşam Çevre Teknoloji, 24-27 Ekim 2007, İzmir.
- Bralts, V.F. and Kesner, C.D., 1983. Drip Irrigation Field Uniformity Estimation. *Transaction of The ASAE* 26(5):1369-1374.
- Bralts, V.F., Edwards, D. M. and Kesner, C.D., 1985. Field Evaluation of Drip/Trickle Irrigation Submain Units. In: *Drip/Trickle Irrigation in Action: Proceedings of the Third International Drip/Trickle Irrigation Congress*. November 18-21 Center Plaza Holiday Inn Fresno, California USA pp 274-280.
- Bucks, D.A., Nakayama, F.S. and Gilbert, R.G., 1979. Trickle Irrigation Water Quality and Preventive Maintenance. *Agricultural Water Management*, 2:149-162.
- Canpolat, M.Y., Hanay, A. ve Anapalı, Ö., 1996. Aralık İlçesi Rüzgar Erozyon Alanı Sorunlu Topraklarına Organik Atık Materyal Uygulamasının Etkileri. *Atatürk Ü. Ziraat Fak. Der.* 27 (3), 448-460.
- Carrow, R. N. and Duncan R. R., 2000. Wastewater and Seawater use for Turf grasses: Potential Problems and Solutions. *Irrigation Association of Australia 2000 Conference Proceeding*. 23–25 May 2000, Melbourne, pp. 678–683.

- Chavez, A., Rodas, K., Prado, B., Thompson, R. and Jimenez, B., 2012. An Evaluation of The Effects of Changing Wastewater Irrigation Regime for The Production of Alfalfa (*Medicago Sativa*). *Agricultural Water Management* 113:76– 84.
- Christie, P.D., Easson D.L. and Picton J.R., 2001. Agronomic Value of Alkaline-Stabilized Sewage Biosolids for Spring Barley. *Agronomy Journal* 93 (1): 144-151.
- Cicek, A., Karaman, M.R, Turan, M., Gunes, A. and Cigdem, A., 2013. Yield and Nutrient Status of Wheat Plant (*T. Aestivum*) Influenced By Municipal Wastewater Irrigation. *Journal of Food Agriculture & Environment* 11 (1): 733-737.
- Çakır, R., Gidirişlioğlu, A., Tok, H.H., Avşar, F., Ekinci, H. ve Yüksel, O., 1997. Kirli Nehir Sularının Entisol Ordosuna Ait Toprağın Bazı Özelliklerine ve Ayçiçeği Bitkisinin Gelişmesine Etkileri. I. Trakya Toprak ve Gübre Sempozyumu, Tekirdağ, s183-190
- Çakmak, B., ve Kendirli, B., 2001. Tarımda Atık Su Kullanımı. *Ziraat Mühendisliği Dergisi, Ziraat Yüksek Mühendisleri Birliği Yayını. Sayı:332, s. 31-37, Ankara.*
- Çakmakçı, T., 2011. Atık Su Uygulamalarında Ağır Metal Akümülatörü Olarak Kanola'nın (*Brassica Napus L.*) Etkinliği. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.
- Çelebi, H. ve Kara, E.E., 2008. Niğde İli Bor İlçesi Tabakhanelerinden Çıkan Atıksuların Tarım Topraklarının Kirliliğine Olan Etkilerinin Araştırılması. http://www.ukidek.org/bildiri_Detay.php?bildiri_id=16
- Çelebi, Ş.Z., Arvas, Ö., Çelebi, R. ve Yılmaz, İ. H., 2010. Atıksu Arıtma Çamuru ile Tesis Edilen Yeşil Alanda İngiliz Çimi (*Lolium perenne L.*)'nin Performansının Belirlenmesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 7(3)111-118.
- Çelebi, Ş. Z., Arvas, Ö., Şahar, A.K., ve Yılmaz İ.H., 2011. Atıksu Arıtma Çamurunun Yeşil Alanlarda Tesis Gübresi Olarak Kullanılması. Hr. Ü. Z .F. Dergisi, 15(3): 1-8.
- Dehghanisani, H., Yamamoto, T. and Rasiah, V., 2003 Control of Clogging in Micro Irrigation Using Wastewater in Tohoku, Japan, ASAE Meeting Paper, No. 032027.
- Demirörs, B., 2006. Çukurova Bölgesinde Yapay Sulak Alan Teknolojisinin Kırsal Alanda Kullanımının Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Diker, R. ve Aydın, F., 2000. Fosseptik atıklar ile sulanan marullarda (*LactucasativaL. var. longifoliaLam.*) ağır metal miktarları üzerinde bir çalışma. ÇEVKOR. 9 (36) : 15-17.
- Eaton, F.M., 1950. Significance of Carbonates in Irrigation Waters. *Soil Science*, 69: 123-133.
- Eckner, K.F., 1998. Comparison of Membran Filtration and Multiple-Tupe Fermentation By The Coli- and Enterolert Methods For Detection of Waterborne Coliform Bacteria and Bathing Water Quality Monitoring in Southern Sweden. *Applied and Environmental Microbiology*. 64 (8): 3079-3083.
- El-Naim M., A., El-Housseini M. and Naeem M., H., 2005. Safety Use of Sewage Sludge as Soil Conditioner, *Journal of Environmental Science And Health, Part A* 39 (2): 435-444.

- Ergene, A., 1993. Toprak Biliminin Esasları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:267, Seri No:42, Erzurum.
- FAO, 1985. Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. FAO, Rome. 174 p.
- Feidler, H. J.(Herausg). 1990. Bodennutzung und Bodenschutz. Birkhauser Verlag, Basel-Boston-Berlin, pp.268.
- Ghawi I, Shatanawi M R, Sharaiheh R. 1989. Water Consumption of Cauliflower and Watermelon in The Jordan Valley. *Dirasat*, 16, 7-22.
- Gonçalves, R.A.B., Gloaguen, T.V., Folegatti M.V., Libardi, P.L., Lucas, Y. and Montes C.R 2010. Pore Size Distribution In Soils Irrigated with Sodic Water And Wastewater. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:701-707.
- Gutierrez, R., Sebe, C., Sommer, I., 1995. Effects of Land Application of Waste Water From Mexico City on Soil Fertility and Heavy Metal Accumulation. *Environmental Reviews*. 3(3- 4): 318-330.
- Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö ve Çobanoğlu, D., 2004. Ağır Metal İyonlarının (Cu^{+2} , Pb^{+2} , Hg^{+2} , Cd^{+2}) *Clivia* sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri. *F.Ü. Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 177-182.
- Haman, D.Z., Smajstrla, A.G. and Zazueta, F.S., 1989. Settling Basins for Trickle Irrigation in Florida. Florida Coop. Extension Service Fact Sheet AE-65.
- Hassanlı, A.M., Ahmadirad, S. and Beecham S., 2010. Evaluation of The Influence of Irrigation Methods and Water Quality on Sugar Beet Yield and Water Use Efficiency. *Agricultural Water Management* 97: 357–362.
- Hatcher, J.T. and Wilcox, L.V., 1950. Colorimetric determination of boron using carmine. *Anal.Chem.* 22 :567
- Heidarpour, M., Mostafazadeh-Fard, B., Koupai, j. A., Malekian, R., 2007. The Effect of Treated Wastewater on Soil Chemical Properties Using Subsurface Irrigation Methods. *Agricultural Water Management*, 90:87-94
- Howarth, R.W., Ramakrishna, K., Choi, E., Elmgren, R., Martinelli, L., Mendoza, A., Moomaw, W., Palm, C., Roy, R., Scholes, M., Zhu, Z.-L., 2005. Nutrient Management, Responses Assessment. *Ecosystems and Human Well-Being, Policy Responses, The Millennium Ecosystem Assessment*, Vol. 3. Island Press, Washington, Dc, Chapter 9, pp. 295-311.
- Howarth, R.W., Marino, R. M., 2006. Nitrogen As The Limiting Nutrient for Eutrophication in Coastal Marine Ecosystems: Evolving Views Over 3 Decades. *Limnol. Oceanogr.* 51, 364-376.
- Howell, T. A., Cuenca, H. A. and Solomon, K. H., 1990. Crop Yield Response. *Management of Farm Irrigation Systems. Transactions of ASAE. Monograph Chap S. USA.*
- Imtiyaz, M., Mgadla, N.P., Chepete, B. and Manase, S.K., 2000. Response of Six Vegetable Crops to Irrigation Schedules. *Agricultural Water Management*, 45, 331-342.
- Jang, T.I., Kim H.K., Seong, C.H., Lee, E.J. and Park, S.W., 2011. Assessing Nutrient Losses of Reclaimed Wastewater Irrigation in Paddy Fields for Sustainable Agriculture. *Agricultural Water Management* 104: 235– 243
- Jigau, G., 2010. Processes and Factors of Porosity Evolution. *Factori și Procese Pedogenetice din Zona Temperată*, 9 (2010): 1-12

- Kanber, R. ve Ünlü M., 2010. Tarımda Su ve Toprak Tuzluluğu. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Genel Yayın No:281, Kitap Yayın No:A-87, Adana.
- Karataş, B.S., Akkuzu E. ve Aşık Ş., 2005. İzmir Kentsel Arıtılmış Atık Sularının Sulamada Kullanım Olanaklarının İncelenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 42(3):111-122
- Karatas M., Dursun S., Guler E., Ozdemir C. and Argun, M. E., 2006. Heavy Metal Accumulation in Wheat Plants Irrigated by Waste Water. Cellulose Chem. Technol., 40 (7), 575-579
- Katkat, A. V., Özgümüş, A., Tümsavaş, Z., Çil, N., Korkmaz, C. ve Başar, H. 1996. Gemlik Gübre Sanayi A.Ş. Atık Sularının Tarımda Kullanılma Olanakları, TÜBİTAK Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi, 20: 507-514, Ankara.
- Khaleel, R., Reddy, K.R. and Overcash, M.R., 1981. Changes in Soil Physical Properties Application: A Review. J. Environ. Qual., 10: 133-141.
- Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y. M., Huang, Y. Z., and Zhu, Y. G., 2008. Health Risks of Heavy Metals in Contaminated Soils and Food Crops Irrigated with Wastewater in Beijing, China. Environment Pollution, 152(3):686-692.
- Khouri N., Kalbermattten J.,M. and Bartone C., R., 1994. The Reuse of Wastewater in Agriculture: A Guide for Planners. United Nations Development Program, Washington DC.
- Kiziloglu, F. M., Turan, M., Sahin U., Angin, İ., Anapalı, O. and Okuroglu, M., 2007. Effect of Wastewater Irrigation on Soil And Cabbage-Plant (Brassica Oleracea Var. Capitata Cv. Yalova-1) Chemical Properties. J.Plant Nutr. Soil Sci., 170,166-172
- Kiziloglu, F. M., Turan, M., Sahin U., Kuslu, Y. ve Dursun, A., 2008. Effects of Untreated and Treated Wastewater Irrigation on Some Chemical Properties of Cauliflower (Brassica Oleracea L. Var. Botrytis) and Red Cabbage (Brassica Oleracea L. Var. Ruba) Grown on Calcareous Soil in Turkey. Agricultural Water Management 95: 716-724.
- Klute, A., 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods Second Edition. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin USA.
- Lado, M., Bar-Tal, A., Azenkot, A., Assouline, S., Ravina, I., Erner, Y., Fine, P., Dasberg, S. and Ben-Hur, M., 2012. Changes in Chemical Properties of Semiarid Soils under Long-Term Secondary Treated Wastewater Irrigation. Soil Science Society Of America Journal, 76 (4): 1358-1369.
- Lesikar, B.J. and Converse, J.C., 2005. Subsurface Drip Dispersal Text. in (M.A. Gross and N.E.Deal, eds.) University Curriculum Development for Decentralized Wastewater Management. National Decentralized Water Resources Capacity Development Project. University of Arkansas, Fayetteville, AR.
- Liu, W.H., Zhao, J.Z., Ouyang, Z.Y., Soderlund, L. and Liu, G.H., 2005. Impacts of sewage irrigation on heavy metals distribution and contamination. Environment International, 31(6): 805–812.
- Magesan, G.N., Williamson, J.C., Sparling, G.P., Schipper, L.A. and Lloyd-Jones, A.R., 1999. Hydraulic Conductivity in Soils Irrigated with Wastewaters of Differing Strengths: Field and Laboratory Studies. Australian Journal of Soil Research 37, 391–402.

- Malek E., Bingham G.E., 1993. Comparison of the Bowen Ratio-Energy Balance and The Water Balance Methods for The Measurement of Evapotranspiration. *J Hydrol* 146: 209–220
- Malla, R., Tanaka, Y., Mori, K. and Totawat, K.L., 2007. Short-term Effect of Sewage Irrigation on Chemical Build Up in Soils and Vegetables. *The Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript LW 07 006 Vol. IX. August.
- Minareci, O., Öztürk, M. ve Minareci, E., 2004. Manisa Belediyesi Evsel Atık Su Arıtma Tesisinin, Gediz Nehrinin Ağır Metal Kirliliğine Olan Etkilerinin Belirlenmesi. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 5(2): 135-139.
- Mojiri, A., 2011. Effects of Municipal Wastewater on Physical and Chemical Properties of Saline Soil. *J. Biol. Environ. Sci.*, 5(14), 71-76.
- Munsuz, N. ve Ünver, I., 1995. Su Kalitesi. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayın No: 1389, Ders Kitabı No: 403, Ankara.
- Najafi, P., 2006. Effects of Using Subsurface Drip Irrigation and Treated Municipal Waste Water in Irrigation of Tomato. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 9(14): 2672-2676
- Qian, Y.L. and Mecham, B., 2005. Long-Term Effects of Recycled Wastewater Irrigation on Soil Chemical Properties on Golf Course Fairways. *Agronomy Journal*, 97 (3): 717-721.
- Qingsong, W., Yusheng, S., Gang, L., Wenchu D. and Shuhuai, H., 2006. Study of Hydraulic Performance of The Eddy Channel For Drip Emitters Irrig. and Drain. 55: 61–72.
- Qian, Y.L. and Mecham, B., 2005. Long-Term Effects of Recycled Wastewater Irrigation on Soil Chemical Properties on Golf Course Fairways. *Agronomy Journal* 97: 717–721
- Özdemir, C., 1998. Konya Ana Tahliye Kanalında Kirlilik Araştırması ve Klorlu Alifatiklerin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Page, A.L., Miller, R. H. and Keeney, D.R., 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties* Second Edition. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin USA.
- Pakfiliz, Y., Özcan, S. ve Öztürk M., 1995. Arıtma Tesisi Sularının Bitki Sulamasında Kullanımı. *Ekoloji Dergisi* 4 (15) : 9-13.
- Palacios-Diaz, M.P., Mendoza-Grimon V., Fernandez-Ver, J.R., Rodriguez Rodriguez, F., Tejedor-Junco M.T. and Hernandez-Moreno J.M., 2009. Subsurface Drip Irrigation and Reclaimed Water Quality Effects on Phosphorus and Salinity Distribution and Forage Production. *Agricultural Water Management* 96: 1659–1666.
- Patterson, R.A., 1996. Soil Hydraulic Conductivity and Domestic Wastewater. Australian and New Zealand National Soils Conference University of Melbourne 1-4 July, 1996.
- Pereira, B.F.F., He, Z.L., Stoffella, P.J., Montes, C.R., Melfi, A.J. and Baligar, V.C., 2012. Nutrients and Nonessential Elements in Soil after 11 Years of Wastewater Irrigation. *Journal of Environmental Quality*, 41 (3): 920-927.

- Pescod, M. B., 1992 Wastewater Treatment And Use in Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 47, Rome.
- Postel, S., 2001. Daha Az Suyla Daha Fazla Ürün. (Çeviren: A.Yiğit). Tubitak Bilim ve Teknik Dergisi. 401:44-45.
- Puig-Bargues, J., Barragán, J. and Ramirez De Cartagena, F., 2005. Filtration of Effluents for Microirrigation Systems. Transactions of ASAE. Volume 48, Issue 3, P:969-978.
- Prabhakar M., Srinivas K., 1995. Growth, Dry-Matter Production, Yield and Water-Use of Cauliflower (*Brassica-Oleraceae* Var *Botrytis* Subvar *Cauliflora*) in Relation to Irrigation and Nitrogen-Fertilization. *Indian Journal of Agricultural Science*, 65, 570-573.
- Rana G. and Katerji N., 2000. Measurement and Estimation of Actual Evapotranspiration in The Field Under Mediterranean Climate: A Review. *Eur J Agron* 13:125–153
- Ravina, I., Paz, E., Sofer, Z., Marcu, A., Shisha, A. and Sagi, G., 1992. Control of Emitter Clogging In Drip Irrigation With Reclaimed Wastewater. *Irrig. Sci.*, 13:129-139.
- Rubens, D.C. and Ronaldo, S.R., 2001. Biological Clogging of Netfim Drippers and Recovering Process Through Chlorination Impact Treatment. ASAE Meeting Paper, No. 012231. ASAE, St Joseph, Mich.
- Sagi, G., Paz, E., Ravina, I., Schischa, A., Marcu, A. and Yechiely, Z., 1995. Clogging of Drip Irrigation Systems By Colonial Protozoa And Sulfur Bacteria. In *Proceedings of the 5th International Microirrigation Congress*, Vol. 4, Orlando: Florida. ASAE Pub.: 250–259
- Sağlam, M.T. ve Adiloğlu, A., 1997. Su Kalitesi (genişletilmiş 2. baskı). Trakya Üniv. Tekirdağ Ziraat Fak.Yayın no: 230, Ders Kitabı No: 27, Tekirdağ.
- Sağlam, M.T., ve Bellitürk, K., 2003. Su kirliliği ve toprak üzerine etkisi. *Alatarım*, ISSN 1304-2653, 2 (1): 46-49.
- Sezen, Y., 1991. Torak Kimyası. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:127, Erzurum.
- Shahalam, A., Abu Zahra, B., M. and Jaradat A., 1997. Wastewater Irrigation Effect on Soil, Crop and Environment: A Pilot Scale Study At Irbid, Jordan. *Water, Air and Soil Pollution* 106: 425-445.
- Shuval, H., Adien, A. Fattal, B. Rawitz E. and Yekutial. P., 1986. Wastewater Irrigation in Devolving Countries. World Bank Technical Paper Num. 51, Washington, D.C. 322 p.
- Singh, P.K., Deshbhratar, P.B. and Ramteke, D.S., 2012. Effects of Sewage Wastewater Irrigation on Soil Properties, Crop Yield and Environment. *Agricultural Water Management* 103 (2012) 100– 104.
- Sönmez, N. ve Ayyıldız, M. 1964. Tuzlu ve Sodyumlu Toprakların Teşhis ve Islahları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:229, Yardımcı ders kitabı 73. Ankara.
- Sahin, U., Kuslu, Y., Tunc, T., and Kiziloglu, F.M., 2009. Determining Crop and Pan Coefficients for Cauliflower and Red Cabbage Crops Under Cool Season Semiarid Climatic Conditions. *Agricultural Sciences in China* 8(2): 167-171.
- Şahin, Ü., Anapalı, Ö. ve Hanay., A., 1998. Erzurum İli Tortum ve Uzundere Seralarında Sulamada Kullanılan Suların Toprak, Bitki ve Damla Sulama

- Yönünden Değerlendirilmesi. Doğu Anadolu Tarım Kongresi Bildiri Kitabı, 1492–1503. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Erzurum.
- Tekinel, O., Kanber, R. and Diker, K., 2002. The Potential Use of Drip Irrigation Systems For Sustainable Agriculture Under Saline Water and Soil Conditions. KSU J. Science and Engineering 5(1):1-18.
- Thomas, L.T., Thomas, A.D. and Godin, R.E., 2000. Nitrogen and Water Interactions in Subsurface Drip-Irrigated Cauliflower: I. Plant Response. Soil Science Society of America Journal, 64: 406-411.
- Tiwari, K.N., Singh, A. and Mal, P.K., 2003. Effect of drip irrigation on yield of cabbage (*Brassica oleraceae* L. var. capitata) under mulch and non-mulch conditions. Agricultural Water Management, 58: 19-28.
- Trooien, T., P., Lamm, F. R., Stone, L. R., Alam, M., Rogers, D. H., Clark, G.A. and Schlegel, A.J., 2000. Subsurface Drip Irrigation Using Livestock Wastewater: Dripline Flow Rates. Applied Engineering in Agriculture 16(5):505-508
- Tuik 2012. Belediye 2010 Atık Su İstatistikleri. [http:// www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=10752](http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=10752)
- Tuna, A., L., Burun, B. ve Yokas, İ., 2012. Kireçle İşlem Görmüş Kentsel Atık Suların Toprağın pH, EC ve Elementel Kapsamı ile Mısır Bitkisinin (*Zea mays*) Beslenme Durumu, Bazı Fizyolojik Özellikleri ve Verimi, Üzerine Etkileri. Ekoloji 21, 84, 66-73.
- Tuna A.L. ve Burun B. 2003. Mısırdaki Mineral Beslenme ve Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Kentsel Atık Suların Etkisi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Sayı:4.
- Tüzel, İ. Anaç, H, S. 1991. Damla Sulama Sistemlerinde Damlatıcı Tıkanması ve Koruma Uygulamaları. E.Ü.Z.F. Dergisi, 28/1, 239 – 254. Bornova, İzmir.
- USEPA, 1992. Manual Guidelines for Water Reuse. U. S. Environmental Protection Agency, EPA/625R-92/004.
- Uyanöz, R. 1998. Konya’da Sulama Suyu Olarak Kullanılan Atık Suların Tarım Topraklarının Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özelliklerine Etkileri. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı Doktora Tezi, Konya.
- Vinten, A.J.A., Mingelgrin, U. and Yaron, B., 1983. The Effect of Suspended Solids in Wastewater on Soil Hydraulic Conductivity: II. Vertical Distribution of Suspended Solids. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:408-412.
- Vogeler, I., 2009. Effect of Long-term Wastewater Application on Physical Soil Properties. Water Air Soil Pollut 196:385–392.
- Volk V.V. and Ullery, C.H., 1973. Disposal of municipal wastes on sandy soils. Report to the Boeing Company. Dep. of Soil Sci., Oregon State Univ., Corvallis.
- Walker, C. and Lin, H.S., 2008. Soil Property Changes After Four Decades of Wastewater Irrigation: A Landscape Perspective. Catena 73:63–74.
- Yalçın G., Yavuz, R., Yılmaz, M., Taşpınar, K. ve Ateş Ö., 2011. Arıtma Çamurlarının Tarım Alanlarında Değerlendirilmesi. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 3, 156-164.
- Yu, H.M., Li, Z.Z., Gong, Y.S., Mack, U., Feger K.H. and Stahr, K., 2006. Water Drainage and Nitrate Leaching under Traditional and Improved Management of Vegetable-Cropping Systems in The North China Plain. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 169, 47-51.

Zheng, S.A., Zheng, X.Q., Zhang, T.L., Liu, S.T. and Li, X.C., 2012. Distribution and Fractionation of Heavy Metals in Soil Profiles Irrigated with Wastewater For Different Periods of Time. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(10): 2881-2890.

ÖZGEÇMİŞ

1977 tarihinde Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum’da tamamladı. 1997 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü’nden 2001 yılında mezun oldu. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2003 yılında Araştırma Görevlisi kadrosuna atandı. 2005 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Doktora eğitimine başladı. 2011 yılında Erzurum Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü’ne kurumlar arası geçiş yaptı. Halen bu kurumda çalışma hayatını sürdürmektedir.